สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... (1)

Abstract ..... (2)

กิตติกรรมประกาศ..... (3)

สารบัญ ..... (4)

สารบัญตาราง..... (10)

สารบัญภาพประกอบ ..... (12)

บทที่

1. บทนำ 1
    1.1 ที่มาและความสำคัญ 1
    1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ 3
    1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3
    1.4 ระเบียบวิธีวิจัย..... 4
    1.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 4
    1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ 6
    1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 7
    1.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต..... 7

2. พัฒนาการของวัสดุผสม (Composites Material) 12
    2.1 ประวัติของวัสดุผสม..... 12
        2.1.1 วัสดุหลัก 13
        2.1.2 วัสดุเสริมแรง 15

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

2.2 คุณสมบัติอื่นๆ ของวัสดุผสม..... 21

2.2.1 ความยาวและความโตของเส้นใย..... 21

2.2.2 ปริมาณของเส้นใย 22

2.2.3 การจัดเรียงตัวของเส้นใย..... 22

2.3 วิธีการทำวัสดุผสม 25

2.3.1 วิธีการผลิตด้วยมือ 25

2.3.2 วิธีการพ่น..... 26

2.3.3 วิธีการพัน..... 26

2.3.4 วิธีการอัดขึ้นรูป (Compression molding)..... 28

2.3.5 Autoclaves..... 29

2.4 การเปรียบเทียบวัสดุผสมกับโลหะอะลูมิเนียม..... 30

2.5 ที่มาและความสำคัญที่เกี่ยวข้องกับวัสดุผสม 33

3. ทฤษฎีของแสงและโฟโตอีลาสติกซิตี้ 35

3.1 ธรรมชาติของแสง (The nature of light)..... 35

3.2 ทฤษฎีคลื่นแสง (Wave theory of light) 36

3.3 คุณสมบัติต่าง ๆ ของคลื่นแสง..... 39

3.3.1 การสะท้อนแสง (Reflection) และการหักเหของแสง (Refraction).... 39

3.2.2 การแทรกสอด (Interference) และการเลี้ยวเบน (Diffraction) 41

3.4 โพลาไรเซชั่นของแสง (Polarization of light)…… 43

3.4.1 ประโยชน์ของแสงโพลาไรซ์..... 46

3.5 เครื่องมือวัดทางแสงโพลาริสโคบ (Polariscope)…….. 46

3.5.1 แผ่นโพลาไรซ์เซอร์แบบระนาบหรือเชิงเส้น (Plane or Linear Polarizer) 46

3.5.2 แผ่นคลื่น (Wave plate)…… 48

3.5.3 โพลาริสโคบแบบระนาบ (Plane Polariscope) 49

3.5.4 โพลาริสโคบแบบวงกลม (Circular Polariscope) 49

สารบัญ(ต่อ)

บทที่		หน้า
	3.6 ทฤษฎีโฟโตอีลาสติกซิตี้	51
	3.6.1 กฎของความเค้นและแสง (Stress- optic law)	51
	3.6.2 กฎของความเค้นและแสงในรูปแบบของการหน่วงช้าสัมพัทธ์	52
4.	ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับปัญหาของแข็งที่ยืดหยุ่น	56
	4.1 สมการเชิงอนุพันธ์ของของแข็งในสองมิติ	56
	4.2 สมการเงื่อนไขขอบเขต	58
	4.2.1. กำหนดค่าเคลื่อนตัว (Displacements)	58
	4.2.2. กำหนดแรงกระทำที่ขอบนอก (Applied forces)	58
	4.3 ขั้นตอนทั่วไปของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	59
	4.3.1. การแบ่งขอบเขตรูปร่างลักษณะของปัญหาที่ต้องการ	59
	4.3.2. การเลือกฟังก์ชันประมาณในเอลิเมนต์ (Element Interpolation Function)	60
	4.3.3. การสร้างสมการของเอลิเมนต์ (Element equation)	61
	4.3.4. การรวมสมการแต่ละเอลิเมนต์	62
	4.3.5. การประยุกต์เงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition)	62
	4.3.6. การคำนวณค่าต่างๆ ที่แต่ละจุดต่อ	62
5.	ความเค้นและตัวประกอบความเข้มของความเค้น	63
	5.1 กลศาสตร์การแตกหักยืดหยุ่นเชิงเส้น	63
	5.1.1. ลักษณะของภาระที่กระทำต่อรอยร้าว	64
	5.1.2. ความเค้นระนาบและความเครียดระนาบ	66
	5.1.3. ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้น	68
	5.1.4. ความแข็งแกร่งหรือความต้านทานการแตกหัก (Fracture toughness)	70
	5.2 เทคนิคโฟโตอีลาสติกซิตี้	70

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

5.3 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ 74

5.3.1 ระเบียบวิธีปรับขนาดเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติ 77

6. ผลการทดสอบหาค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นด้วยเทคนิคโฟโตอีลาสติกซิตี้ 80

6.1 รายละเอียดของชิ้นทดสอบ 80

6.2 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ 80

6.2.1 ชุดอุปกรณ์โพลาริสโคบ 80

6.2.2 ชุดอุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบ 81

6.3 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ 82

6.4 วิธีการทดสอบ 82

6.4.1 การขึ้นรูปชิ้นทดสอบแบบไม่มี Inclusion (Hole) 83

6.4.2 การขึ้นรูปชิ้นทดสอบที่มี Inclusion 83

6.4.3 การติดตั้งชิ้นทดสอบรับภาระที่คงที่ 83

6.5 วิธีการเก็บข้อมูล 84

6.5.1 ขนาดของภาระที่ใช้ (N) 84

6.5.2 การภาพถ่ายจากการทดสอบ 85

6.6 ผลการทดสอบ 85

6.6.1 ปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวข้างเดียวภายใต้แรงดึง 85

6.6.2 ปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมมีรอยร้าวเฉียงมุม 30° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง 90

6.6.3 ปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมมีรอยร้าวเฉียงมุม 45° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง 95

7. ผลการทดสอบหาค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ 101

7.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประยุกต์การปรับขนาดเอลิเมนต์ 101

7.1.1 โปรแกรม BUILT 101

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

7.1.2 โปรแกรม CRACK2D 102
7.1.3 โปรแกรม SPACE 102
7.1.4 ลำดับขั้นตอนในการประยุกต์เทคนิคการปรับขนาดของเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติ..... 102
7.2 ผลการคำนวณ..... 104
7.2.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการคำนวณ 104
7.2.2 ปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวข้างเดียวภายใต้แรงดึง..... 104
7.2.3 ปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมมีรอยร้าวเฉียงมุม 30° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง 108
7.2.4 ปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมมีรอยร้าวเฉียงมุม 45° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง 113

8. บทสรุป ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ 120
8.1 บทสรุป..... 120
8.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ 122
8.2.1 การขึ้นรูปชิ้นทดสอบด้วยเทคนิคโฟโตอีลาสติกซิตี้..... 122
8.2.2 ความเค้นตกค้าง (Residual stress) 122
8.2.3 เทคนิคการถ่ายภาพ..... 123
8.2.4 ปัญหาที่เกิดจากโปรแกรม BUILT (สร้าง) 123
8.2.5 ปัญหาที่เกิดจากโปรแกรม CRACK2D 124
8.2.6 ปัญหาที่เกิดจากโปรแกรม SPACE_CRACK2D กับโปรแกรม BUILT (Remeshing)..... 125
8.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 127
8.3.1 ความสัมพันธ์ของความยาวรอยร้าวกับระยะห่างระหว่างปลายรอยร้าวกับวัสดุ Inclusion..... 127

บรรณานุกรม 138

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก	129
ก การหล่อและขึ้นแผ่นเคลือบวัดความเค้นสำหรับประสานชิ้นทดสอบ	129
ข รายละเอียดโปรแกรม CRACK2D	137
ประวัติการศึกษา	140