ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247094

การวิเคราะห์การขึ้นรูปชิ้นงานอลูมิเนียมผสมด้วยความแข็งแรงสูงชนิดเนื้อหนา ด้วยกระบวนวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

นางสาวจันทร สมใส

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2553

b 00275 2033

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247094

การวิเคราะห์การขึ้นรูปชิ้นงานจากวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ชนิดเชื่อมพ่วงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

นางสาววลัยกร สมใส (วศ.บ.เครื่องมือ)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2553

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(รศ.ดร.เดช พุทธเจริญทอง)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผศ.ดร. เสนีย์ ศิริไชย)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผศ. จุลศิริ ศรีงามผ่อง)

..... กรรมการ
(ผศ.ดร. จุฬาลักษณ์ ค้าไม้)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์การขึ้นรูปชิ้นงานจากวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ชนิดเชื่อมพ่วงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นางสาววลัยกร สมใส
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. เสนีย์ ศิริไชย
	ผศ. จุลศิริ ศรีงามผ่อง
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2553

247094

บทคัดย่อ

แผ่นเชื่อมพ่วง (Tailor-welded blanks) คือแผ่นโลหะซึ่งมีความหนาหรือชนิดแตกต่างกัน ตั้งแต่ 2 แผ่นขึ้นไปที่ถูกนำมาเชื่อมต่อชนกัน เพื่อนำไปใช้เป็นแผ่นชิ้นงานเริ่มต้นในการนำไปขึ้นรูปเป็นชิ้นงานต่างๆ เทคนิคนี้ทำให้สามารถกำหนดสมบัติทางกลที่ดีในตำแหน่งที่เหมาะสมบนชิ้นงานและยังสามารถลดน้ำหนักของชิ้นงานนั้นๆ ลงได้อีกด้วย ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้และความสามารถในการขึ้นรูปของแผ่นเชื่อมพ่วงวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง SPFC 440 ที่มีความหนา 1.2 และ 1.4 มิลลิเมตร เชื่อมต่อชนกัน ชิ้นงานที่นำมาทำการจำลองคือ Hoodledge ซึ่งเป็นชิ้นส่วนของรถยนต์ จากการทดสอบหาสมบัติของวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง SPFC 440 ทั้งที่ไม่ได้เชื่อมพ่วงและเชื่อมพ่วงพบว่า วัสดุที่แนวทำมุม 0 องศากับแนวการรีดมีความสามารถในการขึ้นรูปได้ดีกว่าแนว 45 องศา และ 90 องศา และวัสดุเชื่อมพ่วงที่มีแนวเชื่อมทำมุม0 องศา กับแนวการรีดมีความแข็งแรงมากกว่าวัสดุเชื่อมพ่วงที่มีแนวการรีด 45 องศา และ 90 องศา ถึง 15.1911% และ 17.071% ตามลำดับ เมื่อนำไปทำการจำลองการขึ้นรูปโดยอาศัยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลที่ได้พบว่าแผ่นเชื่อมพ่วงเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง SPFC440 ที่แนวการเชื่อมทำมุม 0 องศากับแนวการรีดสามารถทำการขึ้นรูปชิ้นงานได้จริง โดยที่ผลเฉลยไม่เกิดการขาด ภายหลังได้ดำเนินการสร้างแม่พิมพ์ตามผลที่ได้จากการจำลองและทำการปั๊มขึ้นรูปชิ้นงานจริง พบว่าผลที่ได้จากการปั๊มขึ้นรูปจริงนั้นสอดคล้องกับผลที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูป และสามารถลดน้ำหนักชิ้นงานลงจากเดิมได้ถึง 9.01%

คำสำคัญ : โลหะเชื่อมพ่วง / ขึ้นรูปโลหะ / วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Thesis Title	A Finite Element Analysis of Stamping of SPFC440 Steel Tailor-Welded Blanks
Thesis Credits	12
Candidate	Ms. Walaigorn Somsai
Thesis Advisors	Asst. Prof. Dr. Seney Sirichai Asst. Prof. Chulsiri Srinhamphong
Program	Master of Engineering
Field of Study	Metal Forming Technology
Department	Tool and Materials Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2553

247094

Abstract

Tailor Welded Blanks (TWBs) are comprised of two or more metal sheets having different thickness and/or different material properties, that are bonded together by laser welding. These blanks can be used to better design mechanical properties in particular spots on stamped automotive parts, as well as decrease overall part weight. The purpose of this study is to examine the sheet metal forming process of TWBs made from SPFC 440 steel. The TWB is composed of two SPFC440 sheets with a thickness of 1.2 and 1.4 millimeters welded together. The stamping process of a hood ledge was simulated using commercially available finite element (FE) software. It was found that both welded and non-welded blanks of SPFC440 has higher strength in the longitudinally welded rolling direction (0 degrees) than either 45 or 90 degrees by 15.2% and 17.1%, respectively. Additionally, the FE simulations showed that TWBs of SPFC440 could be successfully formed. A stamping tool was constructed and tested following the optimum design and forming conditions identified in the FE study. The experimental results of the stamping process are consistent with those found in the FE simulation. The overall weight of the hood ledge was reduced by 9.0%

Keywords : Tailor-Welded Blanks / Forming / Finite Element Method

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีนั้น ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้ควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.เสนีย์ ศิริไชย และผศ.จุลศิริ ศรีงามผ่อง ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำตลอดจนความช่วยเหลือในการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.เดช พุทธเจริญทอง คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำที่ดี ขอขอบพระคุณ คุณยงยุทธ ธนอัญญาพร และ คุณธีร-วุฒิ เรืองเกียรติกุล ที่ให้การช่วยเหลือในด้านการดำเนินงานและให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณ คุณปิยะ ทองงาม ที่ให้การช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์

ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณบริษัท ซี เอช ออโต้พาร์ท จำกัด และพนักงานทุกท่านที่กรุณาให้ความช่วยเหลือด้านชิ้นงานตัวอย่างตลอดจนข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ขอขอบพระคุณ บริษัท ไทยซัมมิท ออโต้พาร์ท อินทัสทรี จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย รวมไปถึงพนักงานทุกท่านของบริษัทที่กรุณาให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี และขอขอบพระคุณ บริษัท ซี.เมลเชอร์ส แอน โก. (ประเทศไทย) จำกัด ที่อนุเคราะห์และสนับสนุนโปรแกรม Autoform เพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงใครขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ค
กิตติกรรมประกาศ		ง
สารบัญ		จ
รายการตาราง		ช
รายการรูปประกอบ		ซ
รายการสัญลักษณ์		ญ
บทที่		
1. บทนำ		**1**
1.1	ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3	ประโยชน์ที่คาดว่าได้รับจากงานวิจัย	2
1.4	ขอบเขตงานวิจัย	2
1.5	ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		**3**
2.1	ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์	3
2.2	การลากขึ้นรูป	15
2.3	ค่าความต้านทานของโลหะแผ่นต่อความยาว	20
2.4	ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	22
2.5	การเชื่อมเลเซอร์	30
2.6	แผ่นเชื่อมพ่วง	36
2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40
3. วิธีการทดลอง		41
3.1	ขั้นตอนการทดสอบและเก็บข้อมูลของวัสดุ	44
3.2	การศึกษาการสร้างแบบจำลองของโปรแกรม Auto Form	46

3.3 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลในคอมพิวเตอร์และจำลองการขึ้นรูป 46

3.4 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานจริง 50

3.5 ขั้นตอนการเปรียบเทียบผลจำลองกับชิ้นงานสำเร็จ 51

4. ผลการทดลองและอภิปรายผล 52

4.1 ผลการทดสอบการดึงของวัสดุ 52

4.2 ผลการจำลองการขึ้นรูป 53

4.3 ผลการขึ้นรูปชิ้นงานจริง 56

4.4 ผลการเปรียบเทียบผลเฉลยสุดท้ายกับชิ้นงานสำเร็จ 58

4.5 ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักชิ้นงานก่อนการปรับปรุงและภายหลังปรับปรุง 61

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ 62

5.1 สรุปผลการทดลอง 62

5.2 ข้อเสนอแนะ 63

เอกสารอ้างอิง 64

ภาคผนวก

ก การทดสอบการดึงเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง SPFC440 และ เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง SPFC 440 ชนิดเชื่อมพ่วง 66

ข ตารางข้อมูลการเปรียบเทียบความหนาในแนวตัดขวาง 70

ค การจำลองการขึ้นรูปของแม่พิมพ์แต่ละแบบ 73

ประวัติผู้วิจัย 80

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	เลเซอร์สำหรับเชื่อม	33
3.1	ส่วนประกอบทางเคมีของวัสดุSPFC440 หนา1.2 มม. และ SPFC440หนา1.4 มม.	44
3.2	ขนาดของชิ้นงานทดสอบตามข้อกำหนดเฉพาะของASTM E8	45
4.1	สมบัติทางกลของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง 440 ที่ทิศทางการรีด 0 องศา	52
4.2	สมบัติทางกลของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง HSS440 ชนิดเชื่อมพ่วง	52
ก.1	ผลการทดสอบการดึงเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง HSS440 ความหนา 1.2 มิลลิเมตร	67
ก.2	ผลการทดสอบการดึงเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง HSS440 ความหนา 1.4 มิลลิเมตร	67
ก.3	ผลการทดสอบการดึงของเหล็กความแข็งแรงสูง SPFC 440 ชนิดเชื่อมพ่วง (ระหว่างความหนา 1.2มิลลิเมตร และ 1.4มิลลิเมตร) โดยที่แรงดึงทำมุม 0 องศา ตามลำดับ กับแนวเชื่อม	68
ก.4	ผลการทดสอบการดึงของเหล็กความแข็งแรงสูง SPFC 440 ชนิดเชื่อมพ่วง (ระหว่างความหนา 1.2มิลลิเมตร และ 1.4มิลลิเมตร) โดยที่แรงดึงทำมุม 45 องศา ตามลำดับ กับแนวเชื่อม	69
ก.5	ผลการทดสอบการดึงของเหล็กความแข็งแรงสูง SPFC 440 ชนิดเชื่อมพ่วง (ระหว่างความหนา 1.2มิลลิเมตร และ 1.4มิลลิเมตร) โดยที่แรงดึงทำมุม 90 องศา ตามลำดับ กับแนวเชื่อม	69
ข.1	ผลการเปรียบเทียบความหนาในแนวตัดขวาง	71

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	พฤติกรรมการเปลี่ยนรูปของวัสดุ	3
2.2	สภาวะของความเค้น 3 มิติ	4
2.3	วัสดุที่ถูกความเค้นกระทำใน 3 ทิศทางที่ตั้งฉากกัน	5
2.4	แบบจำลองพฤติกรรมระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุ	8
2.5	เปรียบเทียบกรอบการแตกหัก	11
2.6	พฤติกรรมความเครียดแข็งของวัสดุ	13
2.7	การจำลองแผ่นโลหะด้วยเอลิเมนต์เพื่อการวิเคราะห์	22
2.8	การแบ่งรูปร่างของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ขนาดต่างๆกัน	23
2.9	เอลิเมนต์สามเหลี่ยมที่ประกอบด้วย 3 จุดต่อโดยมีตัวไม่รู้ค่าอยู่ที่ตำแหน่งของจุดต่อ	23
2.10	แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานโดยวิธีไฟไนเอลิเมนต์	26
2.11	การไหลเวียนแก๊สของระบบเลเซอร์ (a) Axial flow (b) Cross	34
2.12	Sealed-tube ของระบบเลเซอร์	35
2.13	ตัวอย่างงาน และชิ้นส่วนที่นิยมทำแผ่นเชื่อมพ่วง	36
2.14	ตัวอย่างการใช้งาน TWB ในชิ้นส่วนต่างๆ ของรถยนต์	37
2.15	การเชื่อมแบบ Laser beam butt welding	38
2.16	การเชื่อมแบบ Resistance mash seam welding	38
2.17	การเชื่อมแบบ High-frequency induction	39
2.18	การเชื่อมแบบ Electron beam welding	39
3.1	รูปแบบของชิ้นงาน Hoodledge	41
3.2	ตำแหน่ง Hoodledgeในรถยนต์	42
3.3	แผนผังการดำเนินงาน	43
3.4	ชิ้นงานแผ่นเชื่อมพ่วงโดยแบ่งตามแนวการเชื่อม	45
3.5	ขนาดของชิ้นงานเริ่มต้น	47
3.6	ชิ้นงานที่ได้จากการ blank ก่อนจำลองการขึ้นรูปชิ้นงาน	47
3.7	แม่พิมพ์การจำลองในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์	48
3.8	เครื่องปั๊มขนาด 200 ตัน	50
3.9	ชิ้นงานก่อนทำการขึ้นรูป	51
4.1	แม่พิมพ์ตัวล่างในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์	54

4.2	แม่พิมพ์จำลองในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์	55
4.3	ผลการจำลองของชิ้นงานเชื่อมพ่วงจากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์	55
4.4	ผลเฉลยแผนภาพขีดจากัดในการขึ้นรูป	56
4.5	แบบแม่พิมพ์ตัวบน (upper Die)	57
4.6	แบบแม่พิมพ์ตัวล่าง (Lower Die)	58
4.7	แม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปจริง	58
4.8	ผลเฉลยสุดท้ายจากการจำลองชิ้นงานเชื่อมพ่วงในคอมพิวเตอร์	59
4.9	ชิ้นงานเชื่อมพ่วงที่ได้จากการขึ้นรูปจริง	60
4.10	ความหนาที่เกิดขึ้นในภาพจำลองโปรแกรม	61
4.11	เปรียบเทียบความหนาของชิ้นงานจริงและชิ้นงานที่ได้จากการจำลองจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์	61
4.12	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความหนาชิ้นงานในแนวตัดขวาง	62
ค.1	แบบจำลองแม่พิมพ์แบบที่ 1	74
ค.2	แบบจำลองแม่พิมพ์แบบที่ 1 และชิ้นงาน	75
ค.3	ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์จำลองแบบที่ 1	76
ค.4	แบบจำลองแม่พิมพ์แบบที่ 2	77
ค.5	แบบจำลองแม่พิมพ์แบบที่ 2 และชิ้นงาน	78
ค.5	ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์จำลองแบบที่ 2	79

รายการสัญลักษณ์

A_i	=	พื้นที่หน้าตัดใดๆ
A_0	=	พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น
d	=	ส่วนต่างย่อย
d_i	=	เส้นผ่านศูนย์กลางใดๆ
d_0	=	เส้นผ่านศูนย์กลางเริ่มต้น
D	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุ
E	=	ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น
F_i	=	แรงดึงหรือโหลด
G	=	โมดูลัสเฉือน
l	=	ความยาวสุดท้าย
l_0	=	ความยาวเริ่มต้น
L_0	=	ความยาวของชิ้นงานเริ่มต้น
L_i	=	ความยาวขณะใดขณะหนึ่ง
J_2	=	ลำดับที่สองของความเค้นเบี่ยงเบน
J_3	=	ลำดับที่สามของความเค้นเบี่ยงเบน
k	=	ความเค้นเฉือนสูงสุด
K	=	สัมประสิทธิ์ความแข็งของวัสดุ
n	=	เลขยกกำลังของความเครียดแข็ง
r	=	Plastic Strain Ratio
r_m	=	ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานของโลหะแผ่นต่อความยาว
r_0	=	ค่าต้านทานของโลหะแผ่นต่อความยาวที่มุม 0 องศา
r_{45}	=	ค่าต้านทานของโลหะแผ่นต่อความยาวที่มุม 45 องศา
r_{90}	=	ค่าต้านทานของโลหะแผ่นต่อความยาวที่มุม 90 องศา
t	=	ความหนาของวัสดุ
t_0	=	ความหนาเริ่มต้น
w	=	ความกว้างสุดท้าย
w_0	=	ความกว้างเริ่มต้น
x, y, z	=	การกระจัดในทิศทาง x, y และz ตามลำดับ
σ	=	ความเค้น
σ_{ij}	=	เทนเซอร์ความเค้น

σ_m	=	ความเค้นเฉลี่ย
σ_N	=	ความเค้นที่กระทำในทิศทางตั้งฉากกับชิ้นงาน
σ'_{ij}	=	ความเค้นเบี่ยงเบน
ε	=	ค่าความเครียด
ε_{ij}	=	เทนเซอร์ความเครียด
ε_m	=	ความเครียดเฉลี่ย
ε_w	=	ความเครียดของความกว้างจริง
ε_t	=	ความเครียดของความหนาจริง
ε'_{ij}	=	ความเครียดเบี่ยงเบน
τ	=	ความเค้นเฉือน
τ_f	=	ความเค้นเสียดทาน
ν	=	อัตราส่วนปัวซอง
γ	=	ความเครียดเฉือน
δ_{ij}	=	โครแนกแคร์เดลต้า
Δ	=	ผลต่าง
$\{f\}$	=	เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียด
(σ_0)	=	ความเค้นดราก
Φ	=	ตัวไม่รู้ค่าที่ อยู่ภายในเอลิเมนต์
$\widetilde{\sigma}$	=	ความเค้นจริง
$\widetilde{\varepsilon}$	=	ความเครียดจริง
$[K]$	=	สทิฟเนสเมทริกซ์ของเอลิเมนต์
$[\mathrm{N}]$	=	เมตริกซ์แถวนอน