

การวิเคราะห์การลากขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



นาย ชีรวัฒน์ สุวังบุตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974-634-337-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ANALYSIS OF SHEET METAL DRAWING BY THE FINITE ELEMENT METHOD

Mr. Teerawat Suwangbutr

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduated School

Chulalongkorn University

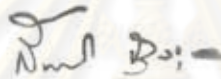
1996

ISBN 974-634-337-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์การลากขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
โดย นาย ธีรวัฒน์ สุวังบุตร
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ เดชะอำไพ



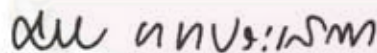
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ดุงสุวรรณ)


คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

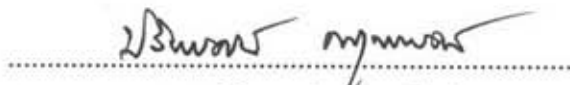


.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ)

ประธานกรรมการ


.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ เดชะอำไพ)

อาจารย์ที่ปรึกษา


.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีทรรณ พันธ์รณรงค์)

กรรมการ

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



ธีรวัฒน์ สุวังบุตร : การวิเคราะห์การลากชั้นรูปโลหะแผ่นโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
(ANALYSIS OF SHEET METAL DRAWING BY THE FINITE ELEMENT METHOD)
อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ปราโมทย์ เฉชะอำไพ, 117 หน้า. ISBN 974-634-337-8

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการประดิษฐ์ไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การลากชั้นรูปโลหะแผ่น โดยการขึ้นรูปเป็นแบบรูปด้วยทรงกลมและทรงสี่เหลี่ยม และทำการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมกับผลการทดลองที่ผู้ทำไว้แล้ว

ผลการใช้โปรแกรมในการแก้ปัญหา 3 กรณีคือ 1.การยึดชั้นรูปด้วยทรงกลม 2.การลากชั้นรูปด้วยทรงกลม 3.การลากชั้นรูปด้วยทรงสี่เหลี่ยม พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีแนวโน้มใกล้เคียงกับผลการทดลอง และส่วนที่แตกต่างกันมีผลมาจากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

การเพิ่มประสิทธิภาพของผลลัพธ์โดยการใช้วิธีการปรับเอลิเมนต์แบบอัตโนมัติทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องมากขึ้นแต่ในขณะเดียวกันก็ใช้หน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ลดลง โปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้สามารถนำไปใช้แก้ปัญหารูปร่างใดๆ ได้โดยการปรับปรุงในส่วนเงื่อนไขที่ขอบเขตให้เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา เครื่องกล
ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต ธีรวัฒน์ สุวังบุตร
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ปราโมทย์ เฉชะอำไพ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C516098 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

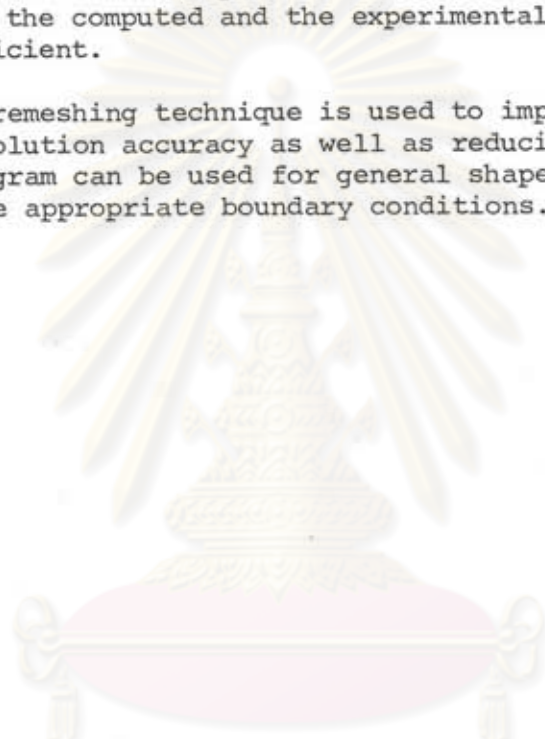
KEY WORD: SHEET METAL / DEEP DRAWING / FINITE ELEMENT

TEERAWAT SUWANGBUTR : ANALYSIS OF SHEET METAL DRAWING BY THE FINITE ELEMENT METHOD. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. PRAMOTE DECHAUMPHAI, Ph.D. 117 pp. ISBN 974-634-337-8

The objective of this thesis is the development of a finite element computer program for analyzing hemispherical and square cup drawings. The results obtained are compared with the existing experiments.

The program has been tested by three cases of problem, stretching of a hemispherical cup, drawing of a hemispherical cup and drawing of a square cup. The results are compared closely with the experiments. The difference between the computed and the experimental results is caused by the friction coefficient.

Adaptive remeshing technique is used to improve the analysis results by improving the solution accuracy as well as reducing the computer memory required. The program can be used for general shape of sheet metal drawing by implementing the appropriate boundary conditions.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

สาขาวิชา เครื่องกล

ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต ธีรวัฒน์ ธีรกุล

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ปรมินทร์ เดชาอัมไพ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของบุคคลหลายท่าน ดังนี้ รศ.ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้เสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด รศ. ดร. มานิจ ทองประเสริฐ ประธานกรรมการ รวมทั้ง รศ. ดร. ปรีทรรศน์ พันธบุรุษรงค์ กรรมการ ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการขึ้นรูปโลหะ และ คุณ วิโรจน์ แซ่ลิ้ม ซึ่งให้คำแนะนำในการพิมพ์วิทยานิพนธ์ จึงขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ ที่นี้ด้วย ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้การสนับสนุนและกำลังใจมาโดยตลอด จนทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญภาพ	ฅ
อธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	1
ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	2
ประโยชน์ที่ได้รับ	2
ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
บทนำ	4
การเสียรูปแบบจำกัด (finite deformation)	5
เงื่อนไขการคลาก (yield criteria)	11
ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดเชิงพลาสติก	14
สมการความสมดุล (equilibrium equation)	20
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด	22
บทที่ 3 วิธีการประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์.....	27
บทนำ	27
การสร้างสมการอินทิกรัล (integral equation)	28
การสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์	29
การแก้สมการ	39
การเพิ่มประสิทธิภาพวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยการจัดเอลิเมนต์โดย	

	หน้า
อัตโนมัติ	42
บทที่ 4 การประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์	44
บทนำ	44
ผังการทำงาน (flow chart)	44
ผังโปรแกรม (program flowchart)	47
บทที่ 5 ผลการใช้โปรแกรมกับปัญหากรณีต่างๆ	50
การยืดขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยหัวกดรูปครึ่งทรงกลม	50
1 ข้อมูลที่จำเป็น	51
2 การกำหนดเงื่อนไขที่ขอบเขต	51
3 ผลการวิเคราะห์	57
การลากขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยหัวกดรูปครึ่งทรงกลม	60
1 ข้อมูลที่จำเป็น	60
2 การกำหนดเงื่อนไขที่ขอบเขต	61
3 ผลการวิเคราะห์	63
การลากขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยหัวกดรูปทรงสี่เหลี่ยม	66
1 ข้อมูลที่จำเป็น	66
2 การกำหนดเงื่อนไขที่ขอบเขต	67
3 ผลการวิเคราะห์	78
บทที่ 6 ข้อสรุป และ ข้อเสนอแนะ	81
รายการอ้างอิง	86
ภาคผนวก	89
ประวัติผู้วิจัย	117

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
รูปที่ 2.1	แสดงเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด	4
รูปที่ 2.2	แสดงจุดใดๆในวัสดุก่อนและหลังการเสียรูป	6
รูปที่ 2.3	แสดงแกนหลักของโลหะแผ่น	12
รูปที่ 2.4	แสดงความสมดุลของแรงนอก	21
รูปที่ 2.5	แสดงเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด	23
รูปที่ 2.6	แสดงความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดบริเวณเชิงเกร็ง	26
รูปที่ 3.1	แสดงค่าเคลื่อนตัวของจุดต่อในแต่ละเอเลเมนต์	30
รูปที่ 3.2	แสดงแกนอ้างอิงของแต่ละเอเลเมนต์และแกนอ้างอิงของระบบรวม ..	36
รูปที่ 4.1	ผังการทำงานของโปรแกรม	45
รูปที่ 4.2	ผังโปรแกรม	48
รูปที่ 4.3	ผังการทำงานของโปรแกรมหลัก	49
รูปที่ 5.1	แสดงการยึดขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยหัวกดรูปครึ่งทรงกลม	50
รูปที่ 5.2	แสดงการเคลื่อนตัวของจุดต่อบริเวณที่สัมผัสกับหัวกด	52
รูปที่ 5.3	รูปแสดงเงื่อนไขทางรูปร่างและทางแรง	53
รูปที่ 5.4	รูปแสดงทิศทางของแรงกระทำ	54
รูปที่ 5.5	แสดงส่วนของโลหะแผ่นที่ใช้ในการวิเคราะห์	57
รูปที่ 5.6	แสดงการกระจายความเครียดแนวความหนา	57
รูปที่ 5.7	แสดงการกระจายความเค้นวอนมิส	58
รูปที่ 5.8	เปรียบเทียบลักษณะการกระจายความเครียดระหว่างการใช้ เอเลเมนต์ขนาดเล็กและขนาดใหญ่	58
รูปที่ 5.9	แสดงลักษณะการเสียรูป	59
รูปที่ 5.10	แสดงการลากขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยหัวกดรูปครึ่งทรงกลม	60
รูปที่ 5.11	รูปแสดงเงื่อนไขทางรูปร่างและทางแรง	63
รูปที่ 5.12	แสดงส่วนของโลหะแผ่นที่ใช้ในการวิเคราะห์	63
รูปที่ 5.13	แสดงการกระจายความเครียดแนวความหนา	64
รูปที่ 5.14	แสดงการกระจายความเค้นวอนมิส	64
รูปที่ 5.15	เปรียบเทียบลักษณะการกระจายความเครียดระหว่างการใช้	

	เอลิเมนต์ขนาดเล็กและขนาดใหญ่	65
รูปที่ 5.16	แสดงลักษณะการเสียรูป	65
รูปที่ 5.17	แสดงการลากขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยหัวกดรูปทรงสี่เหลี่ยม	66
รูปที่ 5.18	แสดงเงื่อนไขทางรูปร่างและทางแรง	67
รูปที่ 5.19	แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวกด	68
รูปที่ 5.20	แสดงลักษณะที่มุมและที่ป่าของหัวกด	69
รูปที่ 5.21	แสดงส่วนของโลหะแผ่นที่ใช้ในการวิเคราะห์	78
รูปที่ 5.22	แสดงการกระจายความเครียดแนวความหนาในแนวเส้นทแยงมุม	78
รูปที่ 5.23	แสดงการกระจายความเครียดแนวความหนาในแนวแกน X	79
รูปที่ 5.24	แสดงลักษณะการกระจายความเครียดแนวความหนาโดย ใช้วิธีการปรับเอลิเมนต์แบบอัตโนมัติ	79
รูปที่ 5.25	แสดงลักษณะการเสียรูป	80

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

l, m, n	โคไซน์นํบอทิศทาง (direction cosine)
e_r	ความเครียดเชิงวิศวกรรม (engineering strain)
$[B]$	เมตริกซ์ของค่าความเครียดกับค่าการเคลื่อนตัว
$[D]$	เมตริกซ์ของค่านอร์มัลแอนไอโซโทรปี
U, V, W	ค่าการเคลื่อนตัวในทิศทาง X, Y และ Z ตามลำดับ
N	ฟังก์ชันการประมาณ
ϵ	ค่าความเครียดจริง (true strain)
σ	ค่าความเค้นจริง (true stress)
S	ค่าความเค้นในการอ้างอิงแบบลากรานเจียน
E	ค่าความเครียดในการอ้างอิงแบบลากรานเจียน
E_{ij}	เทนเซอร์ของความเครียดแบบจำกัด (finite strain tensor)
S_{ij}	เทนเซอร์ของความเค้น
$[\Lambda]$	เมตริกซ์ของการแปลงพิกัด
R	ค่า R-Value
\bar{S}	ความเค้นประสิทธิผล
\bar{E}	ความเครียดประสิทธิผล
$d\bar{E}$	ความเครียดประสิทธิผลขั้นเพิ่ม
$f(S_{ij})$	ฟังก์ชันการคลาก (yield function)