

การศึกษาชี้แจงจำกัดความเครียดในการขึ้นรูปโลหะแผ่น
โดยใช้ความสัมพันธ์แบบลอการิทึมของความเค้นกับความเครียด



นาย อติศร สุขพันธุ์ถาวร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


พ.ศ. 2539

ISBN 974-633-317-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 168 92070

FORMING LIMIT STRAIN OF SHEET METALS
USING LOGARITHMIC STRESS-STRAIN RELATION



Adisorn Sukapuntavorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Metallurgical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-633-317-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาขีดจำกัดความเครียดในการขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยใช้ความสัมพันธ์แบบลอการิทึม
ของความเค้นกับความเครียด

โดย นาย อติศร สุขพันธุ์ถาวร
ภาควิชา วิศวกรรมโลหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย สมศิริ



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ฤงสูรวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีทรรค์ พันธุ์รยงก์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฉัตรชัย สมศิริ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุมาลี วงศ์จันทร์)

..... กรรมการ
()

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



อดิศร สุขพันธุ์ถาวร : การศึกษาขีดจำกัดความเครียดในการขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยใช้ความสัมพันธ์แบบ
ลอการิทึมของความเค้นกับความเครียด (FORMING LIMIT STRAIN OF SHEET METALS USING
LOGARITHMIC STRESS-STRAIN RELATION) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ฉัตรชัย สมศิริ, 67 หน้า.
ISBN 974-633-317-8

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาขีดจำกัดความเครียด ณ จุดที่เกิดคอคอดของสองวัสดุคือ แผ่นเหล็ก
เกรด SPCC-SD ที่มีความหนา 0.8 มิลลิเมตร กับแผ่นอะลูมิเนียมเกรด AA1100 ที่มีความหนา 1.0 มิลลิเมตร มีการ
สร้างแบบจำลองสองแบบเพื่อหาค่าขีดจำกัดความเครียดเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง ซึ่งค่าขีดจำกัดความเครียด
จากการทดลองหาได้จาก จุดที่ความชันของกราฟแรงดึงกับระยะยืดมีค่าเท่ากับศูนย์

แบบจำลองแบบแรกเป็นการศึกษาค่าขีดจำกัดความเครียดโดยทางทฤษฎีของฮิลล์ ซึ่งมีค่าเท่ากับความชัน
ของกราฟที่ลอการิทึมของความเค้นกับความเครียด ณ จุดที่มีความชันเท่ากับ $[K/(1+\alpha p)]$ ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่เกี่ยวข้องกับ
คุณสมบัติแอนไอโซทรอปีของโลหะ แบบจำลองแบบที่สองเป็นการศึกษาขีดจำกัดความเครียดโดยใช้ค่า STRAIN-
HARDENING EXPONENT, n ซึ่งนิยามไว้เท่ากับความชันของกราฟลอการิทึมของความเค้นกับความเครียด

จากผลการทดลองของเหล็กแผ่น พบว่าค่าขีดจำกัดความเครียดที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์เชิงเส้น
กับค่าที่ได้จากแบบจำลองทางทฤษฎีของฮิลล์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 แต่ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่าที่ได้จากแบบ
จำลองค่า n ที่ระดับนัยสำคัญเดียวกัน แม้ว่าแบบจำลองทางทฤษฎีมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองมาก
กว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองค่า n แต่ค่าเฉลี่ยของสองแบบจำลองกับค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองกลับมีค่าแตกต่างกัน
ไม่มากนักคือ -0.0056 (-2.3%) และ 0.0078 (3.2%) ตามลำดับ

จากผลการทดลองของอะลูมิเนียมแผ่น พบว่าขีดจำกัดความเครียดที่ได้จากแบบจำลองทางทฤษฎีมีค่าเฉลี่ย
ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองมากกว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองค่า n อย่างชัดเจนคือ -0.0077 (-10.5%) และ
0.0292 (39.8%) ตามลำดับ แสดงว่าการใช้แบบจำลองทางทฤษฎีของฮิลล์มีความใกล้เคียงกับผลการทดลองมากกว่าแบบ
จำลองค่า n

ภาควิชา วิศวกรรมโลหการ
สาขาวิชา วิศวกรรมโลหการ
ปีการศึกษา 2538.....

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C617802 : MAJOR METALLURGY

KEY WORD: FORMING LIMIT STRAIN / SHEET METAL / ANISOTROPY / STRAIN-HARDENING EXPONENT

ADISORN SUKAPUNTAVORN : FORMING LIMIT STRAIN OF SHEET METALS USING

LOGARITHMIC STRESS-STRAIN RELATION. THESIS ADIVISOR : ASSIST. PROF.

CHATCHAI SOMSIRI, Ph. D. 67 pp. ISBN 974-633-317-8



The objective of this study is to investigate the forming limit strain at necking of 0.8 mm SPCC-SD steel-sheets and 1.0 mm AA1100 aluminium-sheets. For each metal , two limiting strain models were used to compare with the results obtained experimentally. The first model is forming limit strain derived from Hill's theory. Their values are slopes of semi-logarithmic stress-strain relation at constant $[K/(1+\alpha p)]$ which are dependent of anisotropic property of metal. The second model is the forming limit strain using strain-hardening exponent, n, which is defined by slope of the logarithmic stress-strain relation. For steel-sheets, linear correlation between experimental forming limit strain and the Hill's model at 0.1 significant level was found. However, no linear correlation between the experimental forming limit strain and the second model at 0.1 significant level was detected. Also the average values of the first model are nearer to the average value of experimental forming limit strain than the second model. Differences between the two models and experiment were as little as -0.0056 (-2.3%) and 0.0078 (3.2%), respectively. In case of aluminium-sheets, the average value of the first model was nearer to the average value of experimental forming limit strain than the second model , -0.0077 (-10.5%) as compared to 0.0292 (39.8%), respectively. It shows that the first model offers better prediction of the limiting strain than the latter.

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมโลหการ

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโลหการ

ปีการศึกษา..... 2538

ลายมือชื่อนิสิต..... จอ. สร.

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นัตรชัย สมศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในงานวิจัยด้วยดีมาโดยตลอด และรองศาสตราจารย์ ดร.ปรีทวรรณ พันธุบรียงก์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ช่วยติดต่อกับหัวข้อที่ใช้ในการทดลองวิจัยจนสำเร็จลุล่วง และเนื่องจากทุนการทำวิจัยครั้งนี้ส่วนใหญ่มาจากกองทุน โสโถการ สวทช. จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ซึ่งสนับสนุนการศึกษาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญภาพ.....	ฅ
1. บทนำ.....	1
2. ทฤษฎีสำคัญและสมมุติฐาน.....	6
3. ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....	15
4. ผลการวิจัย.....	19
5. การวิเคราะห์ผลการวิจัย.....	29
6. สรุปการวิจัย.....	39
รายการอ้างอิง.....	41
ภาคผนวก.....	42
ผลการทดลองของชุดการทดลอง A.....	43
การทดสอบสมมุติฐานสหสัมพันธ์ (Hypothesis Testing of Correlation).....	58
การสร้างสมการถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุด (Least Squares Curve Fitting).....	63
ประวัติผู้เขียน.....	67

ศูนย์วิทยพัชการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงสัญลักษณ์ของคุณภาพเหล็กแผ่นตามมาตรฐาน JIS G 3141 (1990).....	15
ตารางที่ 2 แสดงเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมเคมีของเหล็กแผ่นตามมาตรฐาน JIS G 3141 (1990) เทียบกับเหล็ก แผ่นชุดการทดลอง A , B และ C.....	15
ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติการทดสอบแรงดึงของเหล็กแผ่นตามมาตรฐาน JIS G 3141 (1990).....	16
ตารางที่ 4 แสดงเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียมแผ่นตามมาตรฐาน ASTM AA1100 เทียบกับ อลูมิเนียมแผ่นชุดการทดลอง D.....	16
ตารางที่ 5 แสดงรหัสชิ้นงาน , จำนวนชิ้นงาน และสิ่งที่ต้องการทราบ ในแต่ละชุดการทดลอง.....	16
ตารางที่ 6 ตารางแสดงรายละเอียดของ Load Cell ที่ใช้ในเครื่องทดสอบแรงดึง และ รายละเอียดของ Extensometer ที่ใช้ในการวัดระยะยืด.....	17
ตารางที่ 7 แสดงค่า R , ค่า P และค่าสัมประสิทธิ์การตัดลื่นใจ ของชุดการทดลอง A , B , C และ D ที่ได้ จากสมการถดถอยเชิงเส้น.....	24
ตารางที่ 8 แสดงค่า Yield Stress ในชุดทดลอง A , B , C และ D ในทิศทาง X และทิศทาง Y ตามลำดับ.....	25
ตารางที่ 9 แสดงค่าความเครียด ณ จุดที่มีค่าแรงดึงสูงสุด ของชุดการทดลอง A, B และ C.....	25
ตารางที่ 10 แสดงค่าความเครียด ณ จุดที่มีค่าแรงดึงสูงสุด ของชุดการทดลอง D.....	26
ตารางที่ 11 แสดงค่า Critical Effective Strain ของชุดการทดลอง A, B และ C ที่ได้โดยทางทฤษฎีของ ฮิลล์.....	26
ตารางที่ 12 แสดงค่า Critical Effective Strain ของชุดการทดลอง D ที่ได้โดยทางทฤษฎีของฮิลล์.....	27
ตารางที่ 13 แสดงค่า Critical Effective Strain ของชุดการทดลอง A, B และ C ที่ได้จากค่า n.....	28
ตารางที่ 14 แสดงค่า Critical Effective Strain ของชุดการทดลอง D ที่ได้จากค่า n.....	28
ตารางที่ 15 แสดงค่าที่ได้จากทางสถิติของขีดจำกัดความเครียด ระหว่างค่า n และการทดลอง.....	31
ตารางที่ 16 แสดงค่าที่ได้จากทางสถิติของขีดจำกัดความเครียด ระหว่างทางทฤษฎีและการทดลอง.....	34

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แสดงขนาดของชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐานของ ASTM E-8 18

ภาพที่ 2 แสดงการหาค่า R ของชิ้นงานชุด A โดยทำการวัดระยะยึดเท่ากับ 5 , 10 , 15 , 20 , 25 และ 30
เปอร์เซ็นต์ ของระยะ Gage Length ตามลำดับ 20

ภาพที่ 3 แสดงการหาค่า P ของชิ้นงานชุด A โดยทำการวัดระยะยึดเท่ากับ 5 , 10 , 15 , 20 , 25 และ 30
เปอร์เซ็นต์ ของระยะ Gage Length ตามลำดับ (มีอยู่สองจุดที่อยู่นอกกราฟเนื่องจากเกิดคอคอด)20

ภาพที่ 4 แสดงการหาค่า R ของชิ้นงานชุด B โดยทำการวัดระยะยึดเท่ากับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ของระยะ
Gage Length ตามลำดับ 21

ภาพที่ 5 แสดงการหาค่า P ของชิ้นงานชุด B โดยทำการวัดระยะยึดเท่ากับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ของระยะ
Gage Length ตามลำดับ 21

ภาพที่ 6 แสดงการหาค่า R ของชิ้นงานชุด C โดยทำการวัดระยะยึดเท่ากับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ของระยะ
Gage Length ตามลำดับ 22

ภาพที่ 7 แสดงการหาค่า P ของชิ้นงานชุด C โดยทำการวัดระยะยึดเท่ากับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ของระยะ
Gage Length ตามลำดับ 22

ภาพที่ 8 แสดงการหาค่า R ของชิ้นงานชุด D โดยทำการวัดระยะยึดเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ ของระยะ Gage
Length 23

ภาพที่ 9 แสดงการหาค่า P ของชิ้นงานชุด D โดยทำการวัดระยะยึดเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ ของระยะ Gage
Length 23

ภาพที่ 10 กราฟแสดงการกระจายค่าขีดจำกัดความเค้นระหว่างค่า n กับการทดลองของชุดการทดลอง A29

ภาพที่ 11 กราฟแสดงการกระจายค่าขีดจำกัดความเค้นระหว่างค่า n กับการทดลองของชุดการทดลอง B29

ภาพที่ 12 กราฟแสดงการกระจายค่าขีดจำกัดความเค้นระหว่างค่า n กับการทดลองของชุดการทดลอง C30

ภาพที่ 13 กราฟแสดงการกระจายค่าขีดจำกัดความเค้นระหว่างค่า n กับการทดลอง ของชุดการทดลอง A
, B และ C 30

ภาพที่ 14 กราฟแสดงการกระจายค่าขีดจำกัดความเค้นระหว่างทางทฤษฎีของฮิลล์กับการทดลองชุด A 32

ภาพที่ 15 กราฟแสดงการกระจายค่าขีดจำกัดความเค้นระหว่างทางทฤษฎีของฮิลล์กับการทดลองชุด B. 32

ภาพที่ 16 กราฟแสดงการกระจายค่าขีดจำกัดความเค้นระหว่างทางทฤษฎีของฮิลล์กับการทดลองชุด C 33

ภาพที่ 17 กราฟแสดงการกระจายค่าขีดจำกัดความเค้นระหว่างทางทฤษฎีของฮิลล์กับการทดลอง ของชุด
การทดลอง A , B และ C 33

ภาพที่ 18 กราฟแสดงการกระจายค่าขีดจำกัดความเค้นระหว่างค่า n กับการทดลองของชุดการทดลอง D35

ภาพที่ 19 กราฟแสดงการกระจายค่าที่ตัดจำกัดความเคี้ยวระหว่างทางทฤษฎีของฮิลล์กับการทดลอง ของชุด
การทดลอง B 35

ภาพที่ 20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ ของสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเคี้ยว
(Flow Curve) โดยใช้ 1.) Conventional n-Th. Power Law Approximation และ 2.) ความ
สัมพันธ์ทางทฤษฎีของ ฮิลล์..... 38



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย