การประเมินความสามารถในการขึ้นรูปของแผ่นเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนต่ำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นาย ลี่ซิน เฉิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974-632-989-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 16894698

ASSESSMENT OF THE FORMABILITY OF
A LOW-CARBON STEEL SHEET

Mr. Chen Lixin

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 974-632-989-8

Thesis Title	Assessment of the Formability of a Low-Carbon Steel Sheet
By	Mr.Chen Lixin
Department	Metallurgical Engineering
Thesis Advisor	Associate Professor Paritud Bhandhubanyong,D.Eng.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree/

.... Dean of Graduate School
(Associate Professor Santi Thoongsuwan, Ph.D.)

Thesis committee

.... Chairman
(Assistant Professor Chatchai Somsiri, Ph.D.)

.... Thesis Advisor
(Associate Professor Paritud Bhandhubanyong, D.Eng.)

.... Member
(Assistant Professor Wikom Vajragupta)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลี่ซิน เฉิน : การประเมินความสามารถในการขึ้นรูปของแผ่นเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนต่ำ (ASSESSMENT OF THE FORMABILITY OF A LOW-CARBON STEEL SHEET)
อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ปริทรรศน์ พันธุบรรยงก์ , 146 หน้า, ISBN 974-632-989-8

การศึกษาเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1. วัดและวิเคราะห์ลักษณะการเกิดความแข็งเมื่อได้รับแรงในการขึ้นรูปของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ 2. คำนวณขีดจำกัดของความเครียดที่ใช้ในการขึ้นรูปและแผนภูมิแสดงขีดจำกัดในการขึ้นรูป 3. หาค่าขีดจำกัดของอัตราส่วนที่ใช้ในการขึ้นรูป

ในการศึกษานี้ใช้ชิ้นงานเป็นแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมาขึ้นรูปภายใต้แรงดึงตามแนวแกน 1 แกน และแรงดึงที่ทำให้เกิดความเครียดในแนวระดับ เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางพลาสติก มีการทำเครื่องหมายที่ชิ้นงานเพื่อใช้ในการบันทึกลักษณะที่เกิดขึ้นขณะอยู่ในเครื่องทดสอบแรงดึง พฤติกรรมที่เกิดขึ้นที่จุดคราก และลักษณะความแข็งแรงที่เกิดจากความเครียดของชิ้นงานขึ้นอยู่กับการออกแบบของชิ้นงาน เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดแสดงว่า ความเครียดแบบครากเกิดขึ้นอย่างชัดเจนที่แผ่นเหล็กกล้า T-4CA แต่ในชิ้นงานชนิดอื่นไม่ชัดเจน ขีดจำกัดความเครียดของการขึ้นรูปของแผ่นเหล็กกล้าเหล่านี้หาค่าได้จากแรงดึงตามแนวแกน 1 แกนและแรงดึงที่ทำให้เกิดความเครียดในแนวระดับในการทดสอบ ได้มีการแสดงอย่างชัดเจนว่า ตำแหน่งของรอยแตกที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการฉีกขาดของแผ่นชิ้นงาน ภายใต้แรงดึงที่ทำให้เกิดความเครียดในแนวระดับ บริเวณจุดศูนย์กลางของชิ้นงานจะเกิดรอยแตกขึ้นก่อนจากการเปลี่ยนรูปของแรงเฉือนและทำให้รอยแตกเกิดการขยายตัว ด้านซ้ายของแผนภูมิแสดงขีดจำกัดในการขึ้นรูปสำหรับชิ้นงานแต่ละชนิดได้จากการคำนวณโดยการดัดแปลงวิธีการคำนวณของ Wagoner ขีดจำกัดความเครียดของแผ่นเหล็กกล้า T-3 หรือ T-4CA มีค่าสูงกว่าแผ่นเหล็กกล้า DR-8CA ค่าขีดจำกัดของอัตราส่วนที่ใช้ในการขึ้นรูปของแผ่นเหล็กกล้าเหล่านี้ได้มาจากผลการทดลองและการคำนวณ ค่าขีดจำกัดของอัตราส่วนที่ใช้ในการขึ้นรูปของแผ่นเหล็กกล้า T-3 มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับชิ้นงานอื่น

ภาควิชา ......วิศวกรรมโลหการ......	ลายมือชื่อนิสิต ....
สาขาวิชา ......วิศวกรรมโลหการ......	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ....
ปีการศึกษา ......2539......	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

C518804: MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING
KEY WORD: PLASTICITY / STRAIN-HARDENING CHARACTER
FORMING LIMIT STRAIN / PLANE-STRAIN TENSION

CHEN LIXIN: ASSESSMENT OF THE FORMABILITY OF A LOW-CARBON STEEL SHEET, THESIS ADVISOR: ASSO. PROF. PARITUD BHANDHUBANYONG, D.ENG. 146 PP.

ISBN 974-632-989-8

The objectives of this study were: 1) to measure and analyse work-hardening characters for low-carbon steel sheets 2) to calculate the forming limit strain and forming limit diagram (left hand) 3) to evaluate limit drawing ratio.

In this study, experiments on the plastic properties of several low-carbon steel sheets were performed under the uniaxial tension and plane-strain tension. The specimens were painted grid pattern and pulled in a tensile testing machine while precision photographs were taken of the grid pattern. The yield behaviour and strain hardening characters depend primarily on the temper designation. The stress-strain curves show that an evidently yield strain exists in the T-4CA steel sheets and not in the others. The forming limit strains of these steel sheets were experimentally determined for the uniaxial tension and plane-strain tension. It is clarified that sheet breaks generally due to localised necking (localised-type instability). In the plane-strain tension, the crack was initiated at the centre of the specimen by shear deformation and then propagated. The left-hand sides of the forming limit diagrams (FLD) for each kind of the specimens were calculated by applying Wagoner's method. The limit strains for T-3 or T-4CA steel sheets are greater than that for DR-8CA steel sheets. The limit drawing ratio (LDR) of these steel sheets were examined and calculated. The value of LDR for T-3 steel sheet is greater than that of the others.

ภาควิชา METALLURGICAL ENGINEERING ลายมือชื่อนิสิต ....

สาขาวิชา METALLURGICAL ENGINEERING ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ....

ปีการศึกษา 1996 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACKNOWLEDGMENTS

The author would like to express his sincere gratitude to his advisor, Associate Professor Dr. Paritud Bhandhubanyong. Acknowledgments are also extended to the other member of the committee, Assistant Professor Dr. Chatchai Somsiri for his helpful criticism and suggestions and Assistant Professor Wikom Vajragupta, Assistant Professor Dr. Prasonk Sricharoenchai for inspiration, guidance and supervision leading to the completion of this study.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Contents

		Page
Abstract (in Thai)		iv
Abstract (in English)		v
Acknowledgments		vi
Contents		vii
List of Tables		x
List of Figures		xii
Chapter I.	Introduction	1
	1.1 Generality	1
	1.2 Objectives	6
	1.3 Scope	6
	1.4 Expected Benefits	7
	1.5 Methods and Procedure	7
Chapter II.	Literature Survey	9
Chapter III.	Experiment	24
	3.1 Tensile Test	24
	3.1.1 Specimen Preparation	24
	3.1.2 Dimension of Test Specimen	25
	3.1.3 Equipment	26

3.1.4 Position of specimen taken from sheet material 28
3.1.5 Grid Pattern 29
3.1.6 Apparatus 31
3.1.7 Procedure 32
3.1.8 Results 35
3.2 Plane-Strain Tensile Test 44
3.2.1 Specimen Preparation 44
3.2.2 Strain-Hardening Character 48
3.2.3 Forming Limit Diagram 52
3.3 Drawing Test......................... 55
3.3.1 Limit Drawing Ratio Test 55
3.3.2 Results 58
Chapter IV Discussion 59
4.1 Mechanical Properties 59
4.2 Plane-Strain Tensile Test and Forming Limit Diagram 67
4.3 Drawing Test 71
Chapter V Conclusions and Recommendations for Future Research 76
5.1 Conclusions 76
5.2 Recommendations for Future Research .. 78

Appendixes 79

References 144

Biography 146

LIST OF TABLES

Table Page

2-1 Temper Designation 19

3-1 Black Plate 24

3-2 Chemical Composition of Specimen 27

3-3 Number of Specimen 34

3-4 Typical Tensile Properties of Steel Sheet
Specimen A 36

3-5 Strain-Hardening Data of Specimen A 39

3-6 Typical Tensile Properties of Steel Sheet
Specimen B 40

3-7 Strain-Hardening Data of Specimen B 41

3-8 Typical Tensile Properties of Steel Sheet
Specimen C 43

3-9 Strain-Hardening Data of Specimen C 44

3-10 Strain-Hardening Data of Specimen A 50

3-11 Strain-Hardening Data of Specimen B 51

3-12 Strain-Hardening Data of Specimen C 52

3-13 Specimen for Cup Drawing Tests 56

3-14 Results of Drawing Tests 58

4-1 Mechanical Properties of Samples 59

4-2 Stability ratio of specimens 62

4-3 Hardness of the Specimens 65

4-4 Strain aging characteristics 67

4-5 Mechanical properties of samples 69

4-6 Limit drawing ratio 72

Appendixes

Test data of specimens 84

LIST OF FIGURES

Figure Page

1-1 Schematic of Several Major Strain/Minor Strain Combinations 2

1-2 Flow Sheet for the Test Procedure 8

3-1 Rectangular Tension Test Specimen 25

3-2 Die for Preparing Specimen 26

3-3 60 Ton Flywheel-Type Mechanical Press 28

3-4 Position of samples 29

3-5 Pattern of Gage Marks for Determining Strain 30

3-6 Ink and Screen for Preparing Grid Pattern 31

3-7 Universal Tensile Tester 32

3-8 Grid Pattern for Measuring R 33

3-9 Stress-Strain Curve for Specimen A 37

3-10 True Stress-True Strain Curve for Specimen A 38

3-11 Stress-Strain Curve for Specimen B 39

3-12 True Stress-True Strain Curve for Specimen B 41

3-13 Stress-Strain Curve for Specimen C 42

3-14 True Stress-True Strain Curve for Specimen C 42

3-15 Specimen for Plane-Strain Tensile Test 45

3-16 Die Used for preparing the Specimens in the Plane-Strain Test 47
3-17 Grips and Clippers 48
3-18 True Stress-True Strain Curve for Specimen A 49
3-19 True Stress-True Strain Curve for Specimen B 50
3-20 True Stress-True Strain Curve for Specimen C 51
3-21 Forming Limit Diagram for Specimen A 53
3-22 Forming Limit Diagram for Specimen B 54
3-23 Forming Limit Diagram for Specimen C 54
3-24 Drawing Die Used in Test 57
4-1 Comparison of the Stress-Strain Curve of Three Kinds of Specimens 60
4-2 Schematic diagram showing the distribution of deformed and undeformed regions formed during a light temper rolling 64
4-3 Stress-strain curve for calculating AI 66
4-4 Comparison of the Forming Limit Diagram of Three Kinds of Specimens 68
4-5 Cracks occurred in the mid area of specimen which was in plane-strain state 71
4-6 Relationship of LDR and mechanical properties 73

Appendixes

a Weight-type load cell calibration 80

b Loop type (proving ring type) load cell calibration 82