# การตรวจสอบผลของแรงกดอย่างสม่ำเสมอในแนวแกนที่มีต่อน้ำหนักน้อยที่สุดของรูปทรงกระบอกกลมกลวง ซึ่งมีชิ้นส่วนช่วยเพิ่มความแข็งแรงติดอยู่ภายใน

นาย จำลอง ลิ้มตระกูล

000363

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

แผนกวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2519

# AN INVESTIGATION OF THE EFFECT OF UNIFORM AXIAL COMPRESSION ON MINIMUM WEIGHT OF INTERNALLY STIFFENED CYLINDRICAL SHELLS

Mr. Jumlong Limtragool

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Mechanical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1976

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Engineering.

.....Visid Prachuabmoh.....

(Professor Dr. Visid Prachuabmoh)

Dean

Thesis Committee .....V. Chalitbhan.....Chairman

(Professor Dr. Vaikun Chalitbhan)

.....Variddhi Ungbhakorn.....Advisor

(Dr. Variddhi Ungbhakorn)

.....Pinai Sukhawarn.....Member

(Assistant Professor Dr. Pinai Sukhawarn)

.....Chana Kasipar.....Member

(Mr. Chana Kasipar)

Thesis Advisor: Dr. Variddhi Ungbhakorn

Copyright 1976

by

The Graduate School

Chulalongkorn University

---

Thesis Title: An Investigation of the Effect of Uniform Axial Compression on Minimum Weight of Internally Stiffened Cylindrical Shells.

By : Mr. Jumlong Limtragool

Department : Mechanical Engineering

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การตรวจสอบผลของแรงกดอย่างสม่ำเสมอในแนวแกน ที่มีต่อน้ำหนักน้อยที่สุดของรูปทรงกระบอกกลมกลวง ซึ่งมีชิ้นส่วนช่วยเพิ่มความแข็งแรงติดอยู่ภายใน.

ชื่อ นาย จำลอง ลิ้มตระกูล

แผนกวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2519

## บทคัดย่อ

ดร. วริทธิ์ อึ่งภากรณ์ ได้เสนอวิธีการออกแบบรูปทรงกระบอกกลมกลวง ซึ่งมีชิ้นส่วนที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงติดอยู่ ที่อยู่ภายใต้แรงกดอย่างสม่ำเสมอในแนวแกน ให้มีน้ำหนักน้อยที่สุด แต่หาได้แสดงผลของแรงกดที่มีต่อน้ำหนักน้อยที่สุดไม่

วัตถุประสงค์ที่สำคัญของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ก็เพื่อ ตรวจสอบผลของแรงกดอย่างสม่ำเสมอในแนวแกนที่มีต่อน้ำหนักน้อยที่สุดของรูปทรงกระบอกกลมกลวง ซึ่งมีชิ้นส่วนช่วยเพิ่มความแข็งแรงติดอยู่ภายใน พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงในแนวแกนเป็นรูปตัวที และในแนวเส้นรอบวงเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

จากผลของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ปรากฏชัดว่าเมื่อเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอในแนวแกนจะมีผลทำให้ น้ำหนักที่น้อยที่สุดของรูปทรงกระบอกกลมกลวง ซึ่งมีชิ้นส่วนช่วยเพิ่มความแข็งแรงติดอยู่ภายในเพิ่มขึ้นคิดเป็นเปอร์เซนต์น้อยกว่าการเพิ่มแรงกด กล่าวคือ เมื่อแรงกดเพิ่มขึ้นอีก 37.5 เปอร์เซนต์ น้ำหนักจะเพิ่มขึ้นอีกเพียง 10.9 เปอร์เซนต์เท่านั้น

Thesis Title An Investigation of the Effect of Uniform Axial Compression on Minimum Weight of Internally Stiffened Cylindrical Shells.

Name Mr. Jumlong Limtragool.

Department Mechanical Engineering.

Academic Year 1976.

## ABSTRACT

Dr. Variddhi Ungbhakorn has proposed the method to design the stiffened cylindrical shell under uniform axial compression with minimum weight, but did not show the effect of load on minimum weight.

The main purpose of this research is to investigate the effect of uniform axial compression on the minimum weight of internally stiffened cylindrical shells. The stiffeners are tee stringers and rectangular rings.

It is obvious from the result of this research that when uniform axial compression is increased the minimum weight of an internally stiffened cylindrical shell is increased at a lower rate, namely, 37.5 percents increase in axial compression results in 10.9 percents increase in weight only.

# ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to express his sincere gratitude and appreciation to Dr. Variddhi Ungbhakorn, his thesis advisor, for introducing him to this research and for his knowledgeable guidance in the research.

The author also takes this opportunity to extend his sincere thanks to Mr. Pichai Liamsiriwatana and Mr. Santi Manajuti for helping him in computer programs.

TABLE OF CONTENTS


| | Page |
|---|---|
| ABSTRACT IN THAI | iv |
| ABSTRACT IN ENGLISH | v |
| ACKNOWLEDGEMENTS | vi |
| LIST OF TABLES | viii |
| LIST OF ILLUSTRATIONS | ix |
| NOTATIONS | x |
| GLOSSARY OF ABBREVIATIONS | xiii |
| CHAPTER | |
| I INTRODUCTION | 1 |
| II THEORY | 6 |
| III SOLUTION PROCEDURE | 25 |
| IV RESULTS AND DISCUSSION | 32 |
| V CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS | 38 |
| BIBLIOGRAPHIES | 40 |
| APPENDICES | 43 |
| VITA | 75 |

# LIST OF TABLES


| Table | | Page |
|---|---|---|
| 1 | Critical Stresses of Stringers | 20 |
| 2 | Effect of Uniform Axial Compression on Minimum Weight of Stiffened Cylindrical Shell | 37 |
| B1 | Design Table for TSRR, $c_{fx}= 1$, $c_{fy}= 0$ | 47 |

# LIST OF ILLUSTRATIONS


| Figure | | Page |
|---|---|---|
| 1 | Shell Geometry ..... | 8 |
| 2 | Sign Convention ..... | 9 |
| 3 | Result of Calculations to Determine Minimum Weight Design of Stiffened Cylindrical Shell(TSRR) for $\overline{N}$ = 900 lb/in. ..... | 33 |
| 4 | Result of Calculations to Determine Minimum Weight Design of Stiffened Cylindrical Shell(TSRR) for $\overline{N}$ = 1000 lb/in. ..... | 34 |
| 5 | Result of Calculations to Determine Minimum Weight Design of Stiffened Cylindrical Shell(TSRR) for $\overline{N}$ = 1100 lb/in. ..... | 35 |
| 6 | Effect of Uniform Axial Compression on Minimum Weight of an Internally Stiffened Cylindrical Shell(TSRR).. | 36 |
| A1 | Geometry of Stiffener Cross-Section ..... | 46 |

## NOTATIONS

| | |
|---|---|
| $A_x$, $A_y$ | Stringer and ring cross-sectional area, $in^2$ |
| $C_x$, $C_y$ | Stringer and ring shape parameter. |
| D | Flexural stiffness of the skin, in-lb |
| $D_{xx}$, $D_{yy}$, $D_{xy}$ | Orthotropic flexural and twisting stiffnesses, in-lb |
| $D_{xxst}$, $D_{yyr}$ | Flexural stiffnesses of stringer and ring, in-lb |
| E, $E_x$, $E_y$ | Young's moduli of elasticity of skin, stringer, and ring, psi |
| $E_{xx}$, $E_{yy}$ | Orthotropic extensional stiffnesses, lb/in |
| $E_{xxp}$, $E_{yyp}$ | Extensional stiffnesses of skin, lb/in |
| $E_{xxst}$, $E_{yyr}$ | Extensional stiffnesses of stringer and ring, lb/in |
| $(GJ)_{x \text{ or } y}$ | Stiffener contributions to torsional stiffness, $in^2$-lb |
| $G_{xy}$ | Inplane skin shear stiffness, lb/in |
| $I_{xc}$, $I_{yc}$ | Stringer and ring moment of inertia about their centroidal axes, $in^4$ |
| $\overline{K}_{xx}$, $\overline{K}_{yy}$, $\overline{K}_s$ | Buckling load coefficient of axial compression, pressure, and torsion |
| $\overline{K}_{xxp}$ | Panel buckling load coefficient |
| L | Total length of the shell, in |
| $M_{xx}$, $M_{yy}$, $M_{xy}$ | Moment resultants, in-lb/in |
| $\overline{N}$ | Applied uniform axial compressive load, lb/in |
| $N_{xx}$, $N_{yy}$, $N_{xy}$ | Force resultants, lb/in |
| $\overline{N}_{xx_{cr}}$ | Critical uniform axial compressive load, lb/in |
| $\overline{N}^*$ | Nondimensional load parameter |
| R | Radius of the shell, in |
| T | Applied torque, in-lb |

| | |
|---|---|
| $W$ | Weight of the shell, lb |
| $\overline{W}$ | Nondimensional weight parameter |
| $W^*$ | Composite weight function |
| $\overline{W}^*$ | Nondimensional composite weight function |
| $Z = \frac{L^2(1-\nu^2)^{\frac{1}{2}}}{Rh}$ | Curvature parameter |
| $b_{fx}$, $b_{fy}$ | Flange widths of stringer and ring, in |
| $c_{fx}$, $c_{fy}$ | Flange to web thickness ratios of stringer and ring |
| $d_{wx}$, $d_{wy}$ | Stringer and ring depths, in |
| $e_x$, $e_y$ | Stringer and ring eccentricities, in |
| $\overline{e}_x$, $\overline{e}_y$ | Nondimensional stringer and ring eccentricities |
| $h$ | Skin thickness, in |
| $k_s$, $k_r$ | Width to depth ratios of stringer and ring |
| $l_x$, $l_y$ | Stringer and ring spacing, in |
| $m$, $n$ | Number of axial and circumferential waves for general instability |
| $m_p$, $n_p$ | Number of axial and circumferential waves for panel instability |
| $q$ | Applied pressure (positive outward), psi |
| $t_{wx}$, $t_{wy}$ | Thickness of web of stringer and ring, in |
| $t_{fx}$, $t_{fy}$ | Thickness of flange of stringer and ring, in |
| $u$, $v$, $w$ | Displacement components of reference surface points, in |
| $x$, $y$, $z$ | Coordinate system |
| $\bar{\alpha}_x$, $\bar{\alpha}_y$ | Nondimensional radii of gyration of stringer and ring |

| | |
|---|---|
| $\gamma$ | Shear strain at any point |
| $\gamma_{xy}$ | Shear strain of point on reference surface |
| $\epsilon_x$, $\epsilon_y$ | Normal strains at any point |
| $\epsilon_{xx}$, $\epsilon_{yy}$ | Normal strains of point on reference surface |
| $\kappa_{xx}$, $\kappa_{yy}$, $\kappa_{xy}$ | Changes of curvatures |
| $\lambda$ | Lagrange multiplier |
| $\lambda^*$ | Nondimensional Lagrange multiplier |
| $\bar{\lambda}_{xx}$, $\bar{\lambda}_{yy}$ | Nondimensional extensional stiffnesses of stringer and ring |
| $\nu$ | Poisson's ratio |
| $\rho_x$, $\rho_y$ | Weight density of stringer and ring, lb/ $in^3$ |
| $\rho_{sk}$ | Weight density of skin, lb/ $in^3$ |
| $\bar{\rho}_{xx}$, $\bar{\rho}_{yy}$ | Nondimensional flexural stiffnesses of stringer and ring |
| $\sigma_o$ | Yield stress |
| $\sigma_{xxsk}$, $\sigma_{yysk}$ | Prebuckling stresses of the skin, psi |
| $\sigma_{xxst}$, $\sigma_{yyr}$ | Prebuckling stresses of stringer and ring, psi |
| $\sigma_{xxsf_c}$, $\sigma_{xxsw_{cr}}$ | Critical stresses of stringer flange and web, psi |
| $\sigma_{xxsk_{cr}}$ | Critical local skin buckling stress, psi |
| Superscript "0" | indicates membrane state |
| Superscript "1" | indicates an additional quantity necessary to bring the membrane state to the classical buckling state |

# GLOSSARY OF ABBREVIATIONS

| | |
|---|---|
| AR | Angle ring |
| AS | Angle stringer |
| ASRR | Angle stringer and rectangular ring |
| CR | Channel ring |
| CS | Channel stringer |
| CSCR | Channel stringer and ring |
| CSRR | Channel stringer and rectangular ring |
| CSTR | Channel stringer and tee ring |
| GB | Gross buckling, $\overline{N}/\overline{N}_{xx_{cr}}$ |
| IR | I ring |
| IS | I stringer |
| IAR | Inverted angle ring |
| IAS | Inverted angle stringer |
| ISIR | I stringer and ring |
| MG | Minimum gage |
| PB | Panel buckling, $\overline{N}/\overline{N}_{xxp_{cr}}$ |
| RR | Rectangular ring |
| RS | Rectangular stringer |
| RYT | Ring yield in tension, $\sigma_{yyr}/\sigma_o$ |
| RSRR | Rectangular stringer and ring |
| SB | Skin buckling, $\sigma_{xxsk}/\sigma_{xxsk_{cr}}$ |
| ST | Skin yielding, $\sigma_{xxsk}/\sigma_o$ |

STB Stringer buckling, $\sigma_{xxst}/\sigma_{xxst_{cr}}$

STFB Stringer flange buckling, $\sigma_{xxst}/\sigma_{xxsf_{cr}}$

STWB Stringer web buckling, $\sigma_{xxst}/\sigma_{xxsw_{cr}}$

STYC Stringer yielding in compression, $\sigma_{xxst}/\sigma_{o}$

TR Tee ring

TS Tee stringer

TSCR Tee stringer and channel ring

TSRR Tee stringer and rectangular ring

TSTR Tee stringer and ring

ZR Zee ring

ZS Zee stringer

ZSZR Zee stringer and ring