ASSESSMENT OF TIME DEPENDENT AND IN-DEPENDENT FAILURE THEORIES AND INTERFACING WITH FE CODE

By

Eng. Mostafa Ahmed Sayed Ibrahim El-Absawy

A Thesis Submitted to the
Faculty of Engineering at Cairo University
In Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of
MASTER OF SCIENCE
In
Engineering Mechanics

FACULTY OF ENGINEERING, CAIRO UNIVERSITY
GIZA, EGYPT
2016

ASSESSMENT OF TIME DEPENDENT AND IN-DEPENDENT FAILURE THEORIES AND INTERFACING WITH FE CODE

By

Eng. Mostafa Ahmed Sayed Ibrahim El-Absawy

A Thesis Submitted to the
Faculty of Engineering at Cairo University
In Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of
MASTER OF SCIENCE
In
Engineering Mechanics

Under the Supervision of

Prof. Dr. Adel A. Megahed

……..

Professor of Engineering Mechanics
Department of Engineering Mathematics and Physics
Faculty of Engineering, Cairo University

Prof. Dr. M. Nader M. Abuelfoutouh

……..

Professor of Structure Analysis
Department of Aerospace Engineering
Faculty of Engineering, Cairo University

FACULTY OF ENGINEERING, CAIRO UNIVERSITY
GIZA, EGYPT
2016

ASSESSMENT OF TIME DEPENDENT AND IN-DEPENDENT FAILURE THEORIES AND INTERFACING WITH FE CODE

By

Eng. Mostafa Ahmed Sayed Ibrahim El-Absawy

A Thesis Submitted to the
Faculty of Engineering at Cairo University
In Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of
MASTER OF SCIENCE
In
Engineering Mechanics

Approved by the
Examining Committee

_____
Prof. Dr. Adel A. Megahed, Thesis Main Advisor

_____
Prof. Dr. M. Nader M. Abuelfoutouh, Thesis Main Advisor

_____
Prof. Dr. Mostafa A. M. Abdeen, Internal Examiner

_____
Prof. Dr. Emad M. Abo-Eldahab, External Examiner
(Math Dept., Faculty of Science, Helwan University)

FACULTY OF ENGINEERING, CAIRO UNIVERSITY
GIZA, EGYPT
2016

Engineer's Name: Eng. Mostafa Ahmed Sayed Ibrahim El-Absawy
Date of Birth: 28/5/1989
Nationality: Egyptian
E-mail: maselabsawy_2011@cu.edu.eg
Phone: 01141508080/01223792843
Address: 3rd District, New Cairo, Cairo
Registration Date: 1/3/2013
Awarding Date: 2016
Degree: Master of Science
Department: Engineering Mathematics and Physics

Supervisors:
Prof. Dr. Adel A. Megahed
Prof. Dr. M. Nader M. Abuelfoutouh

Examiners:
Prof. Dr. Emad M. Aboeldahab (External examiner)
(Math Dept., Faculty of Science, Helwan University)
Prof. Dr. Mostafa A. M. Abdeen (Internal examiner)
Prof. Dr. Adel A. Megahed (Thesis advisor)
Prof. Dr. M. Nader M. Abuelfoutouh (Thesis advisor)

Title of Thesis:

Assessment of Time Dependent and In-Dependent Failure Theories and Interfacing with FE code

Key Words:

Assessment – Fatigue – Creep – Fatigue Creep Interaction – Interface with Commercial FE Software.

Summary:

The failure theories can be divided into two categories. Time In-Dependent theories (Maximum Normal Stress theory, Maximum shear Stress theory and VonMises Theory) determine the limiting stress, in which time dependent theories (Fatigue, Creep and Fatigue Creep Interaction) predict the life time of any engineering design. An Assessment for some theories in the two categories introduces accurate prediction of life time according to durability, reliability and integrity by interfacing with commercial FE code.

ملخص الرسالة

يعد تقييم نظريات الإنهيار سواء التى تعتمد على الزمن أو التى لا تعتمد على الزمن خطوة هامة لفهم إنهيار التصميمات الهندسية، والتى لابد من التنبؤ بالعمر المتوقع لها وذلك من خلال بعض المفاهيم الهامة كالمتانة والفعالية والتكامل.

يعد كولوم أول من درس مبدأ نظريات الإنهيار التى لا تعتمد على الزمن، توالت الدراسات بعد ذلك، وهناك جدول يعرض تقسييم نظريات الإنهيار التى لا تعتمد على الزمن وذلك وفقا لأنواع المواد (خطية وغير خطية)؛ (مرنة وقصيفة) و (أقصى إجهاد هو الخضوع أم القصائى)، ومن بين هذه النظريات: نظرية أقصى إجهاد طبيعى، نظرية أقصى إجهاد قص و نظرية فون ميسيس. وهناك عرض لتاريخ نظريات الإنهيار التى تعتمد على الزمن، فقد تم عرض موضوع الكلال بالتفصيل فمحور الإهتمام هنا هو الكلال ذو الدورات السريعة بإستخدام المخطط البيانى ال SN والمخصص لمتوسط إجهاد يساوى صفر وتعديلاته لمتوسط إجهاد لايساوى صفر بإستحدام المعادلات المعملية وذلك للسعة الثابتة. بينما هناك طرق عديدة لتحويل الدورات ذو السعات المتغيرة إلى عدد من الدورات ذو سعات ثابتة، وتم تناول طريقة هطول الأمطار، وتم شرح إنهيار الزحف. قاعدة بلمجرين مينور الخطية هى أحد أبسط نظريات الإنهيار التراكمى والتى تستخدم للكلال ويمكن إستخدام تعديلاتها للتداخل بين الكلال والزحف.

تم كتابة كود Matlab للتداخل مع أحد برامج العناصر المحدودة Femap with NX NASTRAN وتم حساب العمر التراكمى للهياكل. وهذا الكود يمكنه قراءة ملفات البيانات والنتائج لبرنامج العناصر المحدودة وذلك من خلال الحل التكرارى حتى إنهيار الهيكل كليا، مع إمكانية تغيير العناصر التالفة أوتوماتيكيا. وقد تم اختبار الكود وتطبيقه على ثلاث مسائل مختلفة، الأولى من خلال التنبؤ بعمر الإنهيار الأولى لصفيحة بها ثقب. ثم حل مسألة لصندوق الجناح والتنبؤ بالعمر الأولى والتراكمى عند تعرضها للكلال، وأيضا طبقت كل نظريات الإنهيار (الكلال، الزحف و التفاعل بينهم) على ريشة توربينة عند درجة حرارة ١٠٠٠ فيهرنهيت والتنبؤ بالعمر التركمى.

مهنـــدس: مصطفى أحمد سيد إبراهيم العبساوى
تاريخ الميلاد: ١٩٨٩\٥\٢٨
الجنسية: مصري
تاريخ التسجيل: ٢٠١٣\١٣١١
تاريخ المنح: ٢٠١٦
القسم: الرياضيات والفيزيقا الهندسية
الدرجة: ماجستير العلوم
المشرفون:
أ.د. عادل عبد الرحمن مجاهد
أ.د. محمد نادر محمد أبو الفتوح
الممتحنون:
أ.د. عماد محمد حماده أبو الدهب (ممتحن خارجى)
(استاذ بقسم الرياضيات –كلية العلوم – جامعة حلوان)
أ.د. مصطفى أحمد معوض عابدين (ممتحن داخلى)
أ.د. عادل عبد الرحمن مجاهد (مشرف)
أ.د. محمد نادر محمد أبو الفتوح (مشرف)

عنوان الرسالة:

تقييم نظريات الإنهيار التى تعتمد والتى لا تعتمد على الزمن وإجراء تفاعل مع أحد برامج العناصر المحدودة

الكلمات الدالة:
تقييم– الكلال– الزحف– التداخل بين الكلال و الزحف– التفاعل مع برامج العناصر المحدودة

ملخـــص

الرسالة:

تنقسم نظريات الإنهيار إلى نوعين. نظريات لا تعتمد على الزمن (نظرية أقصى إجهاد طبيعى، نظرية أقصى إجهاد قص و نظرية فون ميسيس) والتى تعين حدود الإجهاد، بينما تتنبأ النظريات التى تعتمد على الوقت (الكلال، الزحف و التفاعل بينهما) بالعمر المتوقع لأى تصميم هندسى. نعرض هنا تقييم لبعض نظريات الإنهيار والتى بدورها تقدم تنبأ دقيق للعمر المتوقع للتصاميم الهندسية وذلك وفقا للمتانة، الفعالية و التكامل من خلال التفاعل مع برامج العناصر المحدودة، واختبار البرنامج المقترح فى ثلاث مسائل مختلفة.

تقييم نظريات الإنهيار التى تعتمد والتى لا تعتمد على الزمن وإجراء تفاعل مع أحد برامج العناصر المحدودة

إعداد

مهندس/ مصطفى أحمد سيد إبراهيم العبساوى

رسالة مقدمة إلي كلية الهندسة - جامعةالقاهرة
كجزء من متطلبات الحصول على درجة ماجستير العلوم
في
الميكانيكا الهندسية

يعتمد من لجنة الممتحنين:

الأستاذ الدكتور: عادل عبدالرحمن مجاهد	المشرف الرئيسى
الأستاذالدكتور: محمد نادرمحمدأبوالفتوح	المشرف الرئيسى
الأستاذ الدكتور: مصطفى أحمد معوض عابدين	الممتحن الداخلي
الأستاذ الدكتور: عماد محمد حماده أبوالدهب (استاذ بقسم الرياضيات –كلية العلوم – جامعة حلوان)	الممتحن الخارجى

كليــة الهندســة - جامعــة القاهــرة
الجيـزة - جمهوريـة مصـر العربيــة
2016

تقييم نظريات الإنهيار التى تعتمد والتى لا تعتمد على الزمن
وإجراء تفاعل مع أحد برامج العناصر المحدودة

إعداد

مهندس/ مصطفى أحمد سيد إبراهيم العبساوى

رسالة مقدمة إلي كلية الهندسة - جامعةالقاهرة
كجزء من متطلبات الحصول على درجة ماجستير العلوم
في
الميكانيكا الهندسية

تحت اشراف

أ.د. عادل عبد الرحمن مجاهد
أستاذ الميكانيكا الهندسية
قسم الرياضيات والفيزيقا الهندسية
كلية الهندسة – جامعة القاهرة

أ.د. محمد نادر محمد أبو الفتوح
أستاذ تحليل الهياكل
قسم هندسة الطيران وعلوم الفضاء
كلية الهندسة – جامعة القاهرة

كليــة الهندســة - جامعــة القاهــرة
الجيـزة - جمهوريـة مصـر العربيــة

2016

تقييم نظريات الإنهيار التى تعتمد والتى لا تعتمد على الزمن وإجراء تفاعل مع أحد برامج العناصر المحدودة

إعداد

مهندس/ مصطفى أحمد سيد إبراهيم العبساوى

رسالة مقدمة إلي كلية الهندسة - جامعةالقاهرة
كجزء من متطلبات الحصول على درجة ماجستير العلوم
في
الميكانيكا الهندسية

كليــة الهندســة - جامعــة القاهــرة
الجيـزة - جمهوريـة مصـر العربيــة

2016

Acknowledgments

I would like to express my gratitude to Professor Adel A. Megahed (Professor of Engineering Mechanics) for his valuable guidance throughout the development stages of this thesis.

I am very grateful to Prof. Dr. M. Nader M. Abuelfoutouh (Professor of Structure Analysis) for suggesting this research topic and for his help in building my foundation in Failure Theories and research techniques.

Finally, I would like to thank all those who offered help in presenting this thesis especially Dr. Ahmed Rashed and Dr. Zakaria El-Nagar.

Eng. Mostafa A. El-Absawy

Table of contents

TABLE OF CONTENTS ..... **I**

LIST OF FIGURES ..... **IV**

LIST OF TABLES ..... **VII**

LIST OF SYMBOLS AND ABBREVIATIONS ..... **VIII**

ABSTRACT ..... **X**

CHAPTER 1 : INTRODUCTION AND LITERATURE REVIEW **1**

1.1 Introduction 1

1.1 Failure Theories 1

1.2 The proposed Methodology 4

CHAPTER 2 : FAILURE THEORY ASSESSMENT **5**

2.1 Introduction 5

2.2 Time-Independent Failure Theories (Static Failure) 5

2.2.1 Maximum Normal Stress Theory (MNST) 8

2.2.2 Maximum Shear Stress (MSS) for Ductile Material 8

2.2.3 Distortion Energy (DE) for Ductile Material 9

2.3 Time Dependent Failure Theories 9

2.3.1 Fatigue Failure 9

2.3.2 How to calculate the stage real life time: 14

2.3.3 Fatigue Cycles with Variable Amplitude 15

Cycle Counting Method "Rainflow Counting Method" 15

2.3.4 Residual Fatigue Life (Palmgren-Miner Linear Damage Rule) 18

2.3.5 Creep Rupture Life 18

2.3.6 Fatigue Creep Failure 19

2.3.7 Thermo Mechanical Failure 20

CHAPTER 3 : COMPUTER APPLICATION INTERFACE APPROACH 21

3.1 Introduction 21

3.2 Failure of a point and Sequential failure 21

3.3 The Proposed technique 22

3.3.1 Stress dependent geometry 22

3.3.2 Stress dependent time 22

3.4 Computer Software Description 22

3.5 Interface with Femap with NX NASTRAN 24

3.5.1 The input file 24

3.5.2 The output file 25

3.5.3 Interfacing 25

CHAPTER 4 : VALIDATION CASES AND ENGINEERING APPLICATIONS 28

4.1 Introduction 28

4.2 Initial Fatigue Lifetime prediction of Flat plate with Centric hole under Variable Amplitude Cyclic Loading 28

4.2.1 Problem Definition 29

4.2.2 FE Model 30

4.2.3 Case 1: Static Loading 32

4.2.4 Case 2: Variable Amplitude Cyclic Loading 34
4.2.5 Results Discussion 35
4.3 Fatigue Lifetime prediction of Wing Box 35
4.3.1 Problem Definition 36
4.3.2 FE Model 40
4.3.3 Load Analysis 42
4.3.4 Results 45
4.3.5 Results Discussion 47
4.4 Life time prediction of Blade under Fatigue Creep interaction load 48
4.4.1 Problem Definition 48
4.4.2 FE Model 52
4.4.3 Load Analysis 53
4.4.4 Results 55
4.4.5 Results Discussion 58
CHAPTER 5 : SUMMARY AND CONCLUSIONS 64
5.1 Summary 64
5.2 Conclusion 64
5.3 Recommendation for Future Work 64
REFERENCES 66

List of figures

Figure 2-1: A Stress strain curve typical of structural stell 7

Figure 2-2: Diagram shows Maximum Shear Stress Theory 8

Figure 2-3: Stress amplitude (S) versus logarithm of the number of cycles to fatigue failure (N) for a material that displays a fatigue limit 10

Figure 2-4: Stress amplitude (S) versus logarithm of the number of cycles to fatigue failure (N) for a material that does not display a fatigue limit 10

Figure 2-5: Mean Stress Effects 11

Figure 2-6: Change in the usual SN curve due mean stress 12

Figure 2-7: Constant Life Diagram CLD 12

Figure 2-8: Empirical curves to estimate mean stress effects on fatigue life 13

Figure 2-9: Typical SN diagram 14

Figure 2-10: Irregular load, stress or strain history 16

Figure 2-11: Example for Rainflow Counting Method 17

Figure 2-12: Applying the Rainflow Counting Method 17

Figure 2-13: Schematic creep curve 19

Figure 2-14: Failure Modes 20

Figure 3-1: Flow Chart of the Proposed Technique 23

Figure 4-1: Flat Plate with Central Hole 28

Figure 4-2: Cyclic curve σ - ε for medium strength steel 29

Figure 4-3: FE Model for quarter flat plate with central hole 31

Figure 4-4:Elements around the hole 31

Figure 4-5: VonMises stress distribution for plate with central hole under 25.27 KN 32

Figure 4-6: VonMises stress distribution for plate with central hole under 31.14 KN 33

Figure 4-7: VonMises stress distribution for plate with central hole and its deformation under 40.18 KN 33