

คุณสมบัติที่อุณหภูมิสูงของนิกเกิลเบสซูเปอร์อัลลอยด์ EI
698 VD ที่ผลิตจากกระบวนการรีดร้อนในสภาวะผสมระหว่าง
ความเค็มและความล้า

นาย ปัญญวัชร วังยาว



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ
ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-639-741-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

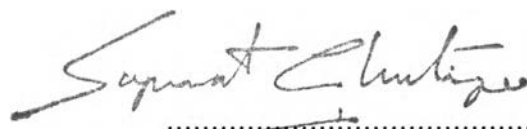
HIGH TEMPERATURE PROPERTIES OF WROUGHT
NICKEL BASE SUPERALLOY EI 698 VD IN CREEP
FATIGUE CONDITIONS

Mr. Panyawat Wangyao

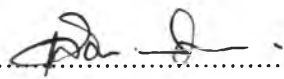
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Metallurgical Engineering
Department of Metallurgical Engineering
Graduate school
Chulalongkorn University
Academic Year 1998
ISBN 974-639-741-9

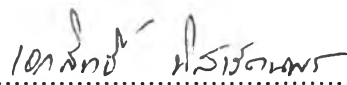
Thesis Title High Temperature Properties of Wrought Nickel
 BaseSuperalloy EI 698 VD in Creep-Fatigue Conditions
By Mr. Panyawat Wangyao
Department Metallurgical Engineering
Thesis Advisor Dr. Ekasit Nisaratanaporn, Ph.D.


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


.....Dean of Graduate School
(Professor Supawat Chutivongse, M.D.)

Thesis Committee


.....Chairman
(Associate Professor Dr. Chatchai Somsiri, Ph.D.)

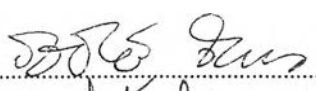
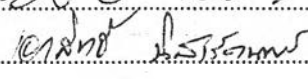

.....Thesis Advisor
(Dr. Ekasit Nisaratanaporn, Ph.D.)


.....Member
(Dr. Sawai Danchaivijit, Ph.D.)

ปัญญาวัชร วัชยาว : คุณสมบัติที่อุณหภูมิสูงของนิกเกิลเบสซูเปอร์อัลลอยด์ EI 698 VD ที่ผลิตจาก กระบวนการรีดร้อนในสภาวะผสมระหว่างความคืบและความล้า (HIGH TEMPERATURE PROPERTIES OF WROUGHT NICKEL BASE SUPERALLOY IN CREEP-FATIGUE CONDITIONS) อ.ที่ปรึกษา:อ.ดร.เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร, 94 หน้า. ISBN 974-639-741-9.

ความคืบที่มีแรงดึงคงที่มักกระทำเป็นช่วง ๆ ที่อุณหภูมิสูง (Isothermal Cyclic Creep , ICC) และความคืบที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดึงคงที่มักกระทำเป็นช่วง ๆ พร้อมกับที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Cyclic Creep with Additional Thermomechanical Fatigue Stress Component, TMF) ได้ทดสอบต่อโลหะผ่านการรีดร้อนนิกเกิลเบสซูเปอร์อัลลอยด์ เกรด EI 698 VD ได้ถูกนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้โดยศึกษาถึงพฤติกรรมการแปรรูปและลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคที่ผ่านการทดสอบแบบ ICC และ TMF โครงสร้างทางจุลภาคที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากผลของการแปรรูปจะถูกทำการตรวจสอบโดยใช้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) และยังเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของทั้งแบบ ICC และ TMF ต่อความคืบและความล้าที่มีแรงดึงสูงสุดและอุณหภูมิสูงสุดที่ 740 MPa และ 650°C นอกจากนี้ยังศึกษาถึงผลกระทบของการหยุดให้แรงดึงคงที่กระทำเป็นช่วง ๆ ผลของการทดลองแสดงถึงอายุของการทดสอบแบบ ICC มีค่าสูงขึ้น ส่วนในการทดสอบแบบ TMF ผลการทดลองไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้เนื่องจากข้อมูลที่ได้มีค่ากระจาย ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการกระจายและเรียงตัวของคาร์ไบด์อย่างหยาบแตกต่างกัน

ภาควิชา วิศวกรรมโลหการ
สาขาวิชา วิศวกรรมโลหการ
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

C818201 : MAJOR METALLURGY

KEY WORD: **CYCLIC CREEP / HOLDING TIME / SUPERALLOY / CREEP-FATIGUE**

**PANYAWAT WANGYAO : HIGH TEMPERATURE PROPERTIES OF WROUGHT NICKEL
BASE SUPERALLOY EI 698 VD IN CREEP-FATIGUE CONDITIONS. THESIS ADVISOR
Dr. EKASIT NISARATANAPORN. Ph.D. 94 pp. ISBN 974-639-741-9.**

Isothermal cyclic creep (ICC) and cyclic creep with additional thermal-mechanical fatigue stress component (TMF) were performed on a wrought nickel base superalloy EI 698 VD. Both ICC and TMF tests were investigated in term of deformation characteristics and dislocation substructures of specimens. Transmission electron microscopy was conducted to examine the deformation substructures and reveal correlations with both ICC and TMF deformation behaviours. They also were compared to pure creep and high temperature fatigue at same maximum loading and temperature. All tests were tensile load controlling at operated temperature of 650°C. The effect of the individual tensile hold periods in both tests was studied. The experimental results exhibit that the introduction of tensile hold periods in ICC tests causes an increase in fracture life time proportional to the duration of the individual tensile hold periods. In TMF tests which were produced by cooling at cyclic creep between individual tensile cycles showed scattered and unreliable results which might be due to the heterogeneity of MC coarse carbide affecting to the initial strain of tested specimens.

ภาควิชา..... **METALLURGICAL ENGINEERING**

สาขาวิชา..... **METALLURGICAL ENGINEERING**

ปีการศึกษา..... **1998**

ลายมือชื่อนิสิต..... *Panyawat Wangyao*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *เอกสิทธิ์ นิสารัตนาพร*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

ACKNOWLEDGEMENTS



Firstly, the author wishes sincerely to express his very sincere thanks and appreciation to his adviser, namely, Dr. Ekasit Nisaratanaporn for his constant supervision, interest, encouragement and many benevolent and invaluable useful helps, and the member of committee, namely Associate Prof. Chatchai Somsiri for providing the great opportunity to the author to carry out research project in Slovakia, as well as Dr. Sawai Danchaivijit, for good guidance and supervision.

Secondly, the author would like to acknowledge and express his gratitude to his abroad co-advisor, namely, Prof. Ing. Josef Zrník, head of materials science department faculty of metallurgy Technical University of Kosice, Slovakia for his helpful advice and many useful helps over the duration of this research programme in Slovakia. Acknowledgement are also extended to the Slovak co-worker, namely, Ing. Vladimír Vrchovinský, Dr. Ing. Peter Hornák and all of Slovak staffs and technicians at the department for great friendship, good advice and helpful information.

Thirdly, the author wishes to greatly thank to National Science and Technology Development Agency, Thailand for financial support for this research project in Slovakia.

Lastly, but by no means least, Many thanks to his parents and family for other beneficial supports and very much lovely thanks to his unique special Slovak friend, namely, Ing. Sona Klimová who made the author always having great will power to stand and solve most of all troubles, furthermore, contributed his heart and soul endeavours to the success of this thesis.

CONTENTS

	page
Abstract (in Thai).....	iv
Abstract (In English).....	v
Acknowledgements.....	vi
Contents.....	vii
List of Tables.....	viii
List of Figures.....	ix
List of Diagrams.....	xii
 Chapter	
1. Introduction.....	1
2. Literature Survey.....	8
3. Experimental Procedure.....	39
4. Experimental Result and Discussion.....	47
5. Conclusion.....	81
References.....	83
Appendix.....	86
Biography.....	93

List of Table

Table	page
2.1 The Chemical composition of EI 698 VD alloy.....	9
4.1 The tensile Testing Properties at Room and elevated Temperature.....	51
4.2 The creep Test Properties.....	62
4.3 The Isothermal Cyclic Creep Test Properties.....	70
4.4 The Cyclic Creep with Thermomechanical Fatigue Stress Component Test Properties.....	75

List of Figures

Figure	Page
2.1 Schematic Representation of High Temperature Creep Curves.....	22
2.2 Schematic Representation of the Effect on Stress Levels on Creep curves at Constant Temperature.....	24
2.3 Schematic Representation of Nabarro-Herring Curve Creep.....	28
2.4 Schematic Representation of Wedge-Shaped Crack at Triple Grain Junction.....	33
2.5 Schematic Representation of Grain Boundary Nucleation.....	33
3.1 Schematic Representation of Size and Shape of Tested Specimens.....	40
3.2 Schematic Representation of Form of Stress Wave of Isothermal Cyclic Creep.....	42
3.3 Schematic Representation of Form of Stress Wave of Cyclic Creep with Thermomechanical fatigue stress component.....	43
3.4 Schematic Representation of Size and Dimensions of Tested Specimens for of Cyclic Creep with Thermomechanical fatigue stress component.....	44
3.5 Schematic Representation of Stress Wave Form for Fatigue Test.....	45
4.1 The Microstructure of EI 698 VD Superalloy as Wrought Structure (as polished).....	49
4.2 The Microstructure of the Alloy as Unetched Structure.....	49

4.3	As Wrought Structure in SEM (as Unetched).....	49
4.4	Homogenised Gamma Prime Morphology in Austenite mMatrix in TEM.....	51
4.5	Grain Boundary as Substructure in TEM.....	51
4.6	As Deformation Regim Microstructure near Fracture Surface.....	51
4.7	As Cracks of Coarse Carbides.....	54
4.8	a) As Crack Opening along Grain Boundary on the Specimen Surface.....	54
	b) As Intergranular Crack in Interior Surface.....	54
4.9	As Grain Deformation near fracture Surface.....	56
4.10	As Fracture Profile Line at Fracture Surface.....	56
4.11	As Low Deformation Microstructure of Primary Creep Stage.....	56
4.12	As Dislocation Substructure in TEM of Primari Creep Stage.....	58
4.13	As Slip Bands of Substructure in TEM of primary Creep Stage.....	58
4.14	As Dislocation Movements passed Gamma Prime of primary Creep Stage in TEM.....	58
4.15	As Particles Shearing Mechanism of Substructure in TEM.....	60
4.16	As Dislocation Substructure of Secondary Creep Stage in TEM.....	60
4.17	As Dislocation piled-up at Grain Boundary of Secondary Creep Stage Substructure in TEM.....	60
4.18	As Dense Dislocation Substructure of Tertiary Creep Stage in TEM.....	65
4.19	As Creep Cavitation of Microstructure in SEM.....	65

4.20	As Dislocation Substructure of ICC Test with 1 hr Hold Time in TEM.....	65
4.21	As Particle Shearing Mechanism of ICC Test with 1 hr Hold Time in TEM.....	68
4.22	As Dense Dislocation Networks of ICC Test with 10 hrs Hold Time in TEM.....	68
4.23	As Multiple Slip Bands Substructure of Fatigue Test in TEM.....	68
4.24	As Dislocation Tangle within Narrow Bands of Fatigue Test in TEM.....	73
4.25	As Low Density Dislocation Substructure of TMF Test with 1 hr Hold Time in TEM.....	73
4.26	As Brittle Intergranular Mode Fracture in SEM.....	73
4.27	As Mixing Fracture Mode between Intergranular and Transgranular in SEM.....	78
4.28	As Ductile Transgranular Fracture Mode in SEM.....	78
4.29	As Fracture Initiated Intergranularly from Fatigue Test in SEM.....	78
4.30	As Fracture Propagated Transgranularly from Fatigue Test in SEM.....	80
4.31	As Small Fatigue Facet at Fracture Surface of TMF Test with 1 hr Hold Time in SEM.....	80

List of testing diagrams

	page
4.1 Diagram of Strain-Time of Creep Tests.....	61
4.2 Diagram of Strain-Time of ICC Tests	70
4.3 Diagram of Strain-Time of TMF Tests.....	75