การวิเคราะห์อายุความล้าของวัสดุเหล็กเพลาขาวภายใต้ภาระเกินพิกัดซึ่งกระทำเป็นคาบ

นาย ยุทธนา เจริญวงศ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2538

ISBN 974-631-994-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16884140

ANALYSIS OF FATIGUE LIFE OF COLD-FINISHED STEEL BARS UNDER PERIODIC OVERLOADING

Mr. Yuthana Charoenwong

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Mechanical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1995

ISBN 974-631-994-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์อายุความล้าของวัสดุเหล็กเพลาขาวภายใต้ภาระเกินพิกัดซึ่งกระทำเป็นคาบ
โดย	นาย ยุทธนา เจริญวงศ์
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ก่อเกียรติ บุญชูกุศล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ถุงสุวรรณ)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อิทธิพล ปานงาม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ก่อเกียรติ บุญชูกุศล)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ชินเทพ เพ็ญชาติ)

.....

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ยุทธนา เจริญวงศ์ : การวิเคราะห์อายุความล้าของวัสดุเพลาขาวภายใต้ภาระเกินพิกัดซึ่งกระทำเป็นคาบ(Analysis of Fatigue Life of Cold-Finished Steel Bars Under Periodic Overloading) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ก่อเกียรติ บุญชูกุศล, 185 หน้า. ISBN 974-631-994-9

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อ ศึกษาถึงผลของภาระเกินพิกัดซึ่งกระทำเป็นคาบที่มีต่อวัสดุเหล็กเพลาขาว โดยการทดสอบ และวิเคราะห์จากหลักการของกลศาสตร์การแตกหักเชิงเส้น

การทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้ 1)ทำการทดสอบ Fracture toughness(K_{Ic}) ของวัสดุเหล็กเพลาขาว 2)ทำการทดสอบอัตราการเติบโตของรอยร้าวภายใต้ภาระเปลี่ยนแปลงซึ่งมี amplitude คงที่ 3)ทำการทดสอบอัตราการเติบโตของรอยร้าวภายใต้ภาระเกินพิกัดกระทำเป็นคาบ

ผลการทดสอบได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อวัสดุเหล็กเพลาขาวถูกกระทำด้วยภาระเกินพิกัดซึ่งเกิดขึ้นเป็นคาบ อายุความล้าของวัสดุจะเพิ่มขึ้น การที่รอยร้าวมีอัตราการเติบโตที่ช้าลงภายหลังการเกิดภาระเกินพิกัดนั้นเนื่องมาจาก การเกิด plastic zone ซึ่งมีขนาดโตกว่าภายใต้ภาระปกติ และเมื่อวัสดุมีการคืนตัวก็จะทำให้เกิด residual stress ที่เป็นความเค้นกดขึ้นบริเวณรอบรอยร้าวของวัสดุ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2537 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

##C516199 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD: FATIGUE/ OVERLOADING/ COLD-FINISHED STEEL BARS

YUTHANA CHAROENWONG : ANALYSIS OF FATIGUE LIFE OF COLD-FINISHED STEEL BARS UNDER PERIODIC OVERLOADING. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. KOKIAT BUNCHUKUSOL, Ph.D. 185 PP. ISBN 974-631-994-9

The objective of this thesis is to study the fatigue life of cold-finished steel bars under periodic overloading by experiment and by analysis using the linear elastic fracture mechanics approach.

The experiment has been done in 3 phases: 1)testing fracture toughness of cold-finished steel bars; 2)testing crack growth rate under constant amplitude cyclic loading; 3)testing crack growth rate under periodic overloading.

The result of the experiment showed that if cold-finished steel bars were periodically overloaded, fatigue life of the material was incresed. The cause of crack growth rate retardation is the larger plastic zone developed in the material when overloading occurs. When the material was unloaded, the plastic zone was compressed by the elastic zone, and compressive residual stress was developed around the crack in the material.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ก่อเกียรติ บุญชูกุศล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล ปานงาม ประธานกรรมการ อาจารย์ ชินเทพ เพ็ญชาติ และดร.วิรัช วิฑูรย์เธียร ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดต่าง ๆ ของการวิจัยมาด้วยดีโดยตลอด โดยเฉพาะอย่างยิ่งท่านอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ให้พื้นฐานความรู้ทางด้านกลศาสตร์การแตกหักแก่ผู้วิจัย และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งให้การสนับสนุนทางด้านการเงิน และกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฐ

บทที่

1. บทนำ..... 1

2. พื้นฐานกลศาสตร์การแตกหัก..... 10

3. การประยุกต์กลศาสตร์การแตกหักในการศึกษาเกี่ยวกับความล้า..... 33

4. วิธีการดำเนินการวิจัย..... 43

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย..... 97

เอกสารอ้างอิง..... 111

ภาคผนวก..... 112

ประวัติผู้เขียน..... 185

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ผลการทดสอบ fracture toughness..... 48

4.2 ภาระที่ใช้ในการทดสอบอัตราการเติบโตของรอยร้าวในสภาวะ.....
ที่ไม่เกิดภาระเกินพิกัด(สภาวะปกติ)..... 48

4.3 แสดงการเติบโตของรอยร้าวที่สภาวะปกติของชิ้นทดสอบที่ 1..... 49

4.4 แสดงการเติบโตของรอยร้าวที่สภาวะปกติของชิ้นทดสอบที่ 2..... 50

4.5 แสดงการเติบโตของรอยร้าวที่สภาวะปกติของชิ้นทดสอบที่ 3..... 51

4.6 แสดงการเติบโตของรอยร้าวที่เกิดภาระเกินพิกัดกระทำเป็นคาบ
ชิ้นทดสอบที่ 1(Mean=2.5ton,Amplitude=1ton)..... 54

4.7 แสดงการเติบโตของรอยร้าวที่เกิดภาระเกินพิกัดกระทำเป็นคาบ
ชิ้นทดสอบที่ 2Mean=2.5ton,Amplitude=1ton)..... 56

4.8 แสดงการเติบโตของรอยร้าวที่เกิดภาระเกินพิกัดกระทำเป็นคาบ
ชิ้นทดสอบที่ 3Mean=2.5ton,Amplitude=1ton)..... 58

4.9 แสดงการเติบโตของรอยร้าวที่เกิดภาระเกินพิกัดกระทำเป็นคาบ
ชิ้นทดสอบที่ 1(Mean=3.0ton,Amplitude=1.5ton)..... 60

4.10 แสดงการเติบโตของรอยร้าวที่เกิดภาระเกินพิกัดกระทำเป็นคาบ
ชิ้นทดสอบที่ 2(Mean=3.0ton,Amplitude=1.5ton)..... 62

4.11 แสดงการเติบโตของรอยร้าวที่เกิดภาระเกินพิกัดกระทำเป็นคาบ
ชิ้นทดสอบที่ 3(Mean=3.0ton,Amplitude=1.5ton)..... 64

4.12 แสดงการเติบโตของรอยร้าวที่เกิดภาระเกินพิกัดกระทำเป็นคาบ
ชิ้นทดสอบที่ 1(Mean=3.5ton,Amplitude=2.0ton)..... 66

4.13 แสดงการเติบโตของรอยร้าวที่เกิดภาระเกินพิกัดกระทำเป็นคาบ
ชิ้นทดสอบที่ 2(Mean=3.5ton,Amplitude=2.0ton)..... 69

4.14 แสดงการเติบโตของรอยร้าวที่เกิดภาระเกินพิกัดกระทำเป็นคาบ
ชิ้นทดสอบที่ 3(Mean=3.5ton,Amplitude=2.0ton)..... 72

4.15 แสดงการเติบโตของรอยร้าวที่เกิดภาระเกินพิกัดกระทำเป็นคาบ
ชิ้นทดสอบที่ 1(Mean=3.75ton,Amplitude=2.25ton)..... 75

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.16 แสดงการเติบโตของรอยร้าวที่เกิดภาระเกินพิกัดกระทำเป็นคาบ ชิ้นทดสอบที่ 2(Mean=3.75ton,Amplitude=2.25ton)..... 79
4.17 แสดงการเติบโตของรอยร้าวที่เกิดภาระเกินพิกัดกระทำเป็นคาบ ชิ้นทดสอบที่ 3(Mean=3.75ton,Amplitude=2.25ton)..... 83
4.18 แสดงการเติบโตของรอยร้าวที่เกิดภาระเกินพิกัดกระทำเป็นคาบ ชิ้นทดสอบที่ 1(Mean=4.0ton,Amplitude=2.5ton)..... 87
4.19 แสดงการเติบโตของรอยร้าวที่เกิดภาระเกินพิกัดกระทำเป็นคาบ ชิ้นทดสอบที่ 2(Mean=4.0ton,Amplitude=2.5ton)..... 90
4.20 แสดงการเติบโตของรอยร้าวที่เกิดภาระเกินพิกัดกระทำเป็นคาบ ชิ้นทดสอบที่ 3(Mean=4.0ton,Amplitude=2.5ton)..... 93
5.1 แสดงค่าภาระที่ได้จากการทดสอบ fracture toughness และค่า Kic ที่ได้จากการทดสอบ..... 98
5.2 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของชิ้นทดสอบตามเงื่อยไขของการทดสอบ fracture toughness..... 99
5.3 แสดงการคำนวณ da/dN และ ΔK..... 101
5.4 แสดงการคำนวณ da/dN และ ΔK..... 102
5.5 แสดงการคำนวณ da/dN และ ΔK..... 103
5.6 แสดงลักษณะภาระที่ใช้ในการทดสอบอายุความล้าเมื่อมีภาระเกินพิกัดกระทำเป็นคาบ..... 106

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

1.1 ส่วนที่ 1 main controller 4

1.2 ส่วนที่ 2 hydraulic power supply 4

1.3 ส่วนที่ 3 actuator และ grip device 5

1.4 ส่วนที่ 4 i/o interface และ computer system 5

1.5 แสดงโปรแกรมที่ช่วยในการทดสอบ 6

1.6 การแสดงผลลัพธ์ทางเครื่องพิมพ์(printer) 7

1.7 การแสดงผลลัพธ์จากเครื่องพล็อต(plotter) 7

1.8 กล้อง microscope 8

1.9 อุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพจากกล้อง microscope 9

2.1 แสดงระบบพิกัด(coordinate system) ของรอยร้าว 11

2.2 แสดงลักษณะพื้นฐานของรอยร้าว 12

2.3 แสดงสภาวะของความเค้นที่เกิดขึ้นของรอยร้าวยาว 2a ใน infinite plate 14

2.4 แสดงค่า f(a/W) ของ specimen แต่ละชนิดที่นิยมใช้ในการทดสอบ 17

2.5 แสดงรูปร่าง specimen ที่นิยมใช้ในการทดสอบ fracture toughness (K_{Ic}) 21

2.6 แสดงลักษณะของ notch แบบต่างๆที่ใช้สำหรับ specimen 23

2.7 แสดงลักษณะของภาระที่ใช้ในการสร้าง precrack 24

2.8 แสดง fixture มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ 28

2.9 แสดงการเตรียมชิ้นงานทดสอบที่ถูกต้อง 28

2.10 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างภาระและการขจัดที่ได้จากการทดสอบ 29

2.11 แสดงลักษณะของภาระและการขจัดที่พบมากในการทดสอบ 30

2.12 แสดงผิว specimen ภายหลังการทดสอบจะสังเกตุเห็นส่วนที่เป็น fatigue crack ชัดเจน 31

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.13 แสดงการวัดความยาวรอยร้าวจากผิวการแตกหักของ specimen..... 31
3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติบโตของรอยร้าว(da/dN)และ ΔK..... 33.
3.2 แสดงขั้นตอนในการวิเคราะห์ความล้าของวัสดุโดยใช้กลศาสตร์การแตกหัก..... 36
3.3 แสดงวิธีการแบ่งช่วงของความสัมพันธ์ระหว่าง a และ N ในการคำนวณ da/dN..... 37
4.1 วัสดุเหล็กเพลาขาวก่อนทำการแปรรูปโดยวิธีทางกล..... 43
4.2 ชิ้นทดสอบวัสดุเหล็กเพลาขาว(C-T specimen)..... 44
4.3 แสดงการติดตั้งชิ้นทดสอบ..... 44
4.4 แสดงรอยร้าวเริ่มเกิดจากปลาย notch..... 45
4.5 แสดงการเติบโตของรอยร้าว..... 46
4.6 ผลการทดสอบ K_{Ic} ชิ้นที่1..... 46
4.7 ผลการทดสอบ K_{Ic} ชิ้นที่2..... 47
4.8 ผลการทดสอบ K_{Ic} ชิ้นที่3..... 47
4.9 แสดงอัตราการเติบโตของรอยร้าวภายใต้ภาระที่มี amplitude คงที่ (ผลจากตารางที่ 4.3 ถึง 4.5)..... 52
4.10 แสดงการเปรียบเทียบอายุความล้าเมื่อมีภาระเกินพิกัดกระทำเป็นคาบในกรณีต่างๆ(ผลจากตารางที่ 4.6 ถึง 4.20)..... 96
5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง da/dN(mm/cycle) และ $\Delta K(Pa\sqrt{m}$ ของวัสดุเหล็กเพลาขาวที่ได้จากการทดสอบ..... 105
5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง amplitude ratio และ total life ratio..... 107
5.3 แสดง plastic zone ที่เกิดขึ้นบริเวณหน้ารอยร้าวเปรียบเทียบ plastic zone ที่เกิดจากภาระเกินพิกัด..... 108
5.4 แสดงลักษณะบริเวณปลายรอยร้าวภายหลังการ overload..... 109