

การวิเคราะห์อายุความล้าของวัสดุเหล็กเพลลาขาว ภายใต้ภาระเกินพิกัดซึ่งกระทำเป็นคาบ

ผศ.ดร. ก่อเกียรติ บุญชูกุล*
ยุทธนา เจริญวงศ์

บทคัดย่อ

วัสดุเหล็กเพลลาขาวได้ถูกนำมาทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานการแตกหัก และศึกษาผลของภาระเปลี่ยนแปลงแบบเกินพิกัดซึ่งกระทำเป็นคาบที่มีต่อพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าโดยเปรียบเทียบกับผลการทดสอบภายใต้ภาระเปลี่ยนแปลงแบบแอมพลิจูดคงที่ ผลการทดสอบในช่วงอัตราส่วนภาระเกินพิกัดตั้งแต่ 1.4–2.6 พบว่าอายุความล้าของวัสดุเหล็กเพลลาขาวจะเพิ่มขึ้นเมื่อวัสดุดังกล่าวถูกกระทำด้วยภาระเกินพิกัดที่กระทำเป็นคาบ หรือเมื่อขนาดของภาระเกินพิกัดที่มากกระทำมีค่าเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : อายุความล้า ภาระเกินพิกัดซึ่งกระทำเป็นคาบ

ความหมายของสัญลักษณ์

a	ระยะทางที่วัดจากกึ่งกลางรูเจาะบนชิ้นงานทดสอบถึงปลายรอยร้าว, mm
$\frac{da}{dN}$	อัตราการเติบโตของรอยร้าว, mm/cycle
ΔK	ค่าพิสัยของตัวประกอบความเข้มของความเค้น, MPa $\sqrt{m}$
K_{IC}	ค่าความต้านทานการแตกหักในสถานะความเค้นแบบความเครียดระนาบ, MPa $\sqrt{m}$
N	จำนวนรอบของภาระที่กระทำ, รอบ
N_f	อายุความล้า, รอบ
OLR	อัตราส่วนภาระเกินพิกัด, OLR = ภาระสูงสุดขณะเกิดภาระเกินพิกัด/ภาระสูงสุดที่ภาระปกติ

บทนำ

ภายใต้สภาวะการทำงานจริงชิ้นส่วนต่าง ๆ ทางวิศวกรรมจะอยู่ภายใต้ภาระที่มีขนาดเปลี่ยนแปลง ซึ่งภาระเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถนำไปสู่ความเสียหายของชิ้นส่วนโครงสร้างอันเนื่องมาจากความล้าได้ รอยร้าวจัดเป็นความเสียหายที่พบเห็นได้บ่อยที่สุดก่อนที่ชิ้นส่วนจะมีการแตกหักอย่างสมบูรณ์ การเข้าถึงพฤติกรรมการขยายตัวของรอยร้าวอันเนื่องมาจากความล้าสามารถกระทำได้โดยใช้แนวทางของกลศาสตร์การแตกหัก ความเข้าใจในพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวประกอบกับการทราบค่าความต้านทานการแตกหักของวัสดุจะช่วยให้สามารถประเมินอายุที่หลงเหลือของชิ้นส่วนโครงสร้างที่ตรวจพบรอยร้าวได้

*หัวหน้าหน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีการบำรุงรักษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานวิจัยนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบหาค่าความต้านทานการแตกหัก และผลของการเปลี่ยนแปลงแบบเกินพิกัดที่กระทำเป็นคาบที่มีต่อพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าในวัสดุเหล็กเพลลาขาวเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการประเมินอายุความล้าของชิ้นส่วนที่ทำจากวัสดุดังกล่าวต่อไป

กระบวนการทดสอบ

องค์ประกอบทางโลหะวิทยา และสมบัติทางกลของวัสดุเหล็กเพลลาขาวที่นำมาศึกษาวิจัยแสดงอยู่ในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

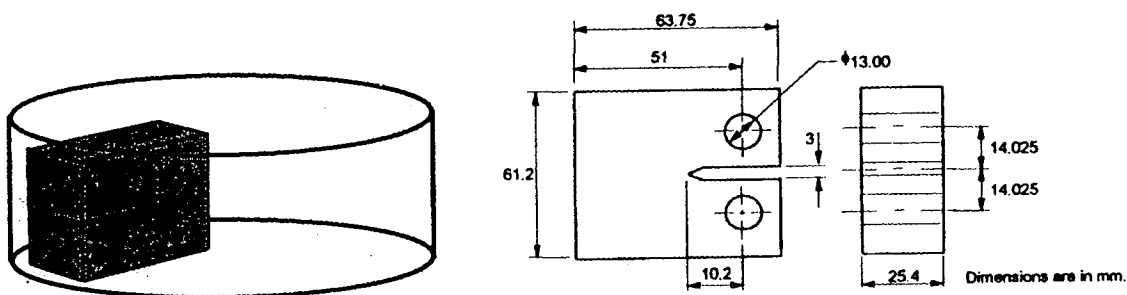
ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางโลหะวิทยาของวัสดุเหล็กเพลลาขาว

คาร์บอน(C)	ซิลิกอน(Si)	แมงกานีส(Mn)	โครเมียม(Cr)	โมลิบดีนัม(Mo)
0.42%	0.25%	0.75%	1.1%	0.2%

ตารางที่ 2 แสดงสมบัติทางกลของวัสดุเหล็กเพลลาขาว

ความต้านแรงดึงคราก(σ_y) MPa	ความแข็ง(HRC)
1210	30.5

ชิ้นงานทดสอบแบบ CT ซึ่งมีการจัดวางตัวแบบ L-T (รูปที่ 1) ได้ถูกเลือกมาทำการทดสอบ การเตรียมชิ้นงานทดสอบเริ่มจากการตัดเพลลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มม. ออกเป็นท่อนยาว 62 มม. จากนั้นจึงนำท่อนเหล็กดังกล่าวไปทำการไสจนมีรูปร่าง และขนาดตามที่ต้องการ ก่อนจะนำไปบากร่องด้วยกรรมวิธีการตัดด้วยเส้นลวด และขัดผิวให้เรียบเงาตามลำดับมิติของชิ้นงานทดสอบที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 2

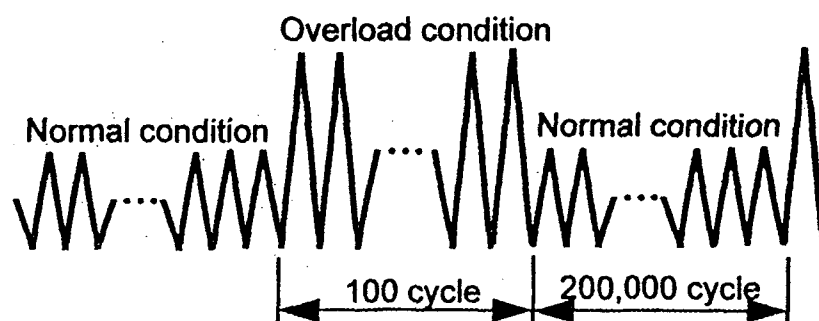


รูปที่ 1 แสดงลักษณะการจัดวางตัวแบบ L-T

รูปที่ 2 แสดงรูปร่าง และมิติของชิ้นงานทดสอบที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

สำหรับขั้นตอนการทดสอบ แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้คือ

1. ทำการทดสอบหาค่าความต้านทานการแตกหักในสภาวะความเค้นแบบความเครียดราบ (Plain strain fracture toughness ; K_{Ic}) ขั้นตอนการทดสอบหาค่าดังกล่าวของงานวิจัยนี้ บิดตามมาตรฐาน ASTM E399
2. ทำการทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าภายใต้ภาระแบบแอมพลิ จูดคงที่ ณ สภาวะของภาระที่ใช้ทดสอบคือ 2.000 ± 0.500 ตัน
3. ทำการทดสอบภายใต้ภาระเกินพิกัดซึ่งกระทำเป็นคาบ (รายละเอียดของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง กับสภาวะทดสอบ และสภาวะของภาระเปลี่ยนแปลงแบบเกินพิกัดที่ทำการทดสอบนั้นแสดง อยู่ในรูปที่ 3 และตารางที่ 3 ตามลำดับ)



รูปที่ 3 แสดงรายละเอียดสภาวะของภาระที่ใช้ทดสอบภายใต้ภาระแบบเกินพิกัดที่กระทำเป็นคาบ

สภาวะที่	สภาวะของภาระเกินพิกัด(ตัน) (ภาระเฉลี่ย + แอมพลิจูดภาระ)
1	2.500 ± 1.000
2	3.000 ± 1.500
3	3.500 ± 2.000
4	3.750 ± 2.250
5	4.000 ± 2.500

ตารางที่ 3 แสดงสภาวะของภาระเกินพิกัดที่ทำการทดสอบ

ลักษณะของภาระที่ใช้ทดสอบทั้งในขณะที่เกิด และไม่เกิดภาระแบบเกินพิกัดจะเป็นคลื่นรูปไซน์ ความถี่เท่ากับ 30 เฮิรตซ์ ภาระดังกล่าวถูกสร้างขึ้นจากเครื่องทดสอบ Hydraulic servo testing M/C ซึ่งผลิตโดยบริษัท Saginomiya โดยมีขีดความสามารถในการสร้างภาระอยู่ที่ 30 ตัน ควบคุมโดยส่วนควบคุมหลักรุ่น 2405

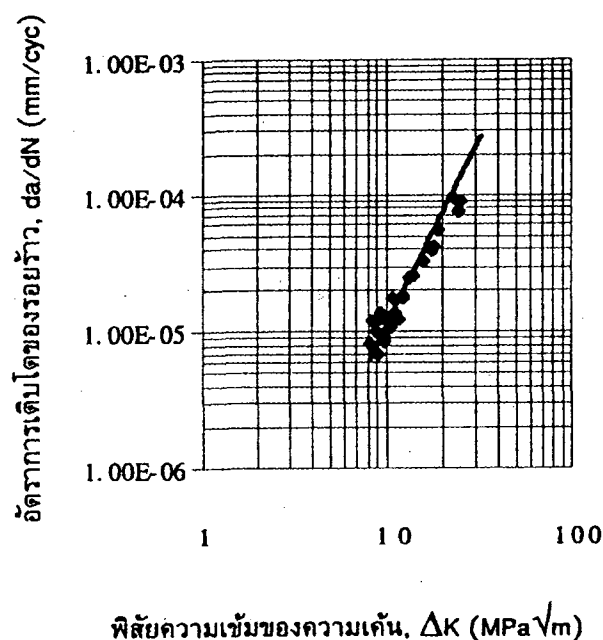
วิธีการทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าวภายใต้ภาระแบบแอมพลิฟูดคงที่ของงานวิจัยนี้ยึดตามมาตรฐาน ASTM E647 การวัดความยาวรอยร้าวระหว่างช่วงเวลาทดสอบของการทดลองในส่วนที่ 2 และ 3 สามารถทำได้โดยหยุดภาระที่กระทำต่อชิ้นงานแล้วถอดชิ้นงานออกมาวัดความยาวของรอยร้าวด้วยกล้องไมโครสโคปโดยใช้กำลังขยาย 400 เท่า ความละเอียดของการวัดความยาวรอยร้าวเท่ากับ 0.1 มม. ค่าความยาวรอยร้าวที่ได้และจำนวนรอบของการรับภาระจะถูกบันทึกเพื่อนำไปประมวลผลสร้างเส้นโค้งอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าต่อไป

ผลการทดลอง และการอภิปราย

จากการทดสอบพบว่าค่าความต้านทานการแตกหักของวัสดุเหล็กเพลลาขาวมีค่าเท่ากับ 114.92 MPa√m และเนื่องจากเงื่อนไขที่ต้องการสำหรับการเกิดสถานะความเค้นแบบความเครียดนานเป็นจริง จึงสามารถสรุปได้ว่า $K_{Ic} = 114.92 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$

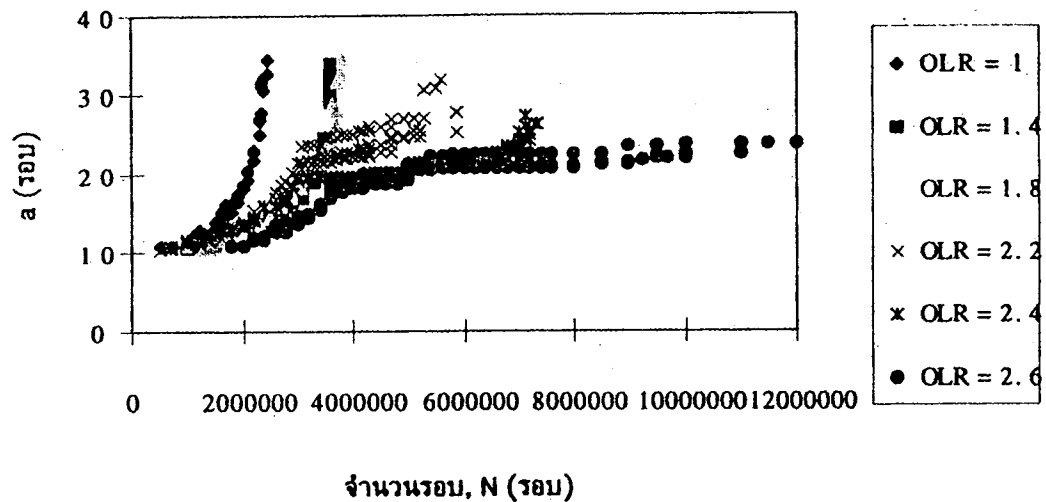
เส้นโค้งแสดงอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าภายใต้ภาระเปลี่ยนแปลงแบบแอมพลิฟูดคงที่ ณ สภาวะทดสอบ 2.000 ± 0.500 ตัน แสดงอยู่ในรูปที่ 4 โดยมีสมการที่แทนพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวเขียนได้ในรูป

$$da/dN = 2 \times 10^{-8} (\Delta K)^{2.73}$$

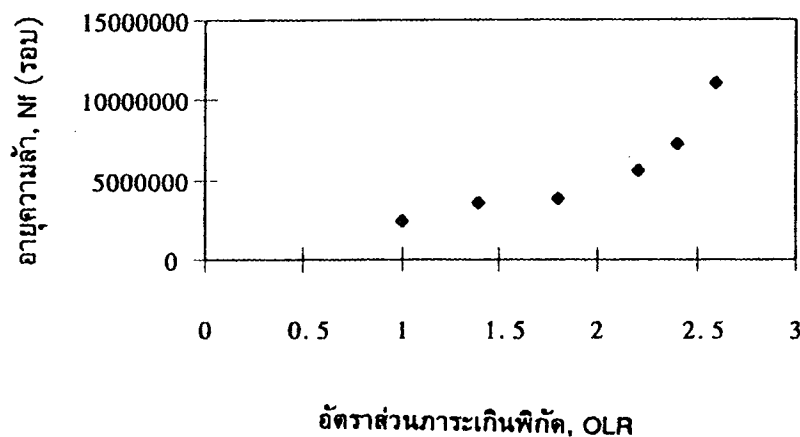


รูปที่ 4 แสดงเส้นโค้งอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าที่สภาวะทดสอบ 2.000 ± 0.500 ตัน

ผลของภาระแบบเกินพิกัดซึ่งกระทำเป็นคาบต่อเส้นโค้งการเติบโตของรอยร้าว และอายุความล้าของชิ้นงานทดสอบแสดงอยู่ในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 ตามลำดับ



รูปที่ 5 แสดงเส้นโค้งเปรียบเทียบการเติบโตของร้าวในกรณีที่เกิด และไม่เกิดภาระแบบเกินพิกัด



รูปที่ 6 แสดงอายุความล้าที่ค่าอัตราส่วนของภาระแบบเกินพิกัดต่าง ๆ

การที่วัสดุเหล็กเพลลาขวามีอายุความล้าเพิ่มขึ้นภายใต้แบบเกินพิกัดซึ่งกระทำเป็นรอบนั้นสาเหตุหนึ่งที่เป็นไปได้ก็คือ ภาระเกินพิกัดทำให้เนื้อวัสดุที่ปลายรอยร้าวเกิดการครากเป็นบริเวณที่ใหญ่กว่าบริเวณเสียรูปแบบพลาสติกภายใต้การเปลี่ยนแปลงปกติ เมื่อผ่านพ้นการกระทำของภาระแบบเกินพิกัดบริเวณยึดหยุ่นที่ห้อมล้อมบริเวณเสียรูปแบบพลาสติกไว้จะพยายามหดตัวคืนเหนียวทำให้เกิดความเค้นกดตกค้าง ความเค้นกดตกค้างดังกล่าวจะลดทอนระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปกติ ทำให้อัตราการเติบโตของรอยร้าวมีค่าลดลง

สรุป

1. แนวทางของกลศาสตร์การแตกหักยืดหยุ่นเชิงเส้นได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาความล้าของวัสดุเหล็กเพลลาขาว ทั้งในแง่มุมของการหาค่าพารามิเตอร์วิกฤติที่เป็นตัวบ่งบอกถึง การเกิดความเสียหายในวัตถุที่มีรอยร้าว และการประยุกต์กับปัญหาความล้า
2. ในช่วงค่าอัตราส่วนภาระเกินพิคค์ระหว่าง 1 ถึง 2.6 พบว่าอายุความล้าของวัสดุเหล็กเพลลาขาวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าอัตราส่วนภาระเกินพิคค์มีค่าเพิ่มขึ้น
3. การเกิดภาระเกินพิคค์ซึ่งกระทำต่อวัสดุเหล็กเพลลาขาวทุก ๆ 200,000 รอบ จะทำให้อายุความล้าเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Anderson, T.L. 1991 Fracture Mechanics Fundamentals and Applications, CRC Press, Boca Raton, Florida
- ASTM. 1990 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.01, American Society for Testing and Materials, Philadelphia
- Pa. No. E399, "Standard Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials"
- Pa. No. E647, "Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates"
- Bannantine, J. A., J.J. Comer, and J.L. Handrock. 1990 Fundamental of Metal Fatigue Analysis, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey
- Barsom, J.M. and S.T. Rolfe. 1987 Fracture and Fatigue Control in Structures, 2nd ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Broek, D. 1986 Elementary Engineering Fracture Mechanics, 4th ed., Kluwer Academic Pubs., Dordrecht, Netherland
- Broek, D. 1986 The Practical Use of Fracture Mechanics, Kluwer Academic Pubs., Dordrecht, Netherland
- Collin, J.A. 1981 Failure of Materials in Mechanical Design, John Wiley, New York.
- Frost, N.E., Marsh, K.J., and Pook, L.P. 1974 Metal Fatigue. Clarendon Press, Oxford, UK.
- Fuch, H.O. and R.I. Stephens. 1980 Metal Fatigue in Engineering, John Wiley, New York
- Hertzberg, R.W. 1989 Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials, 3rd ed., John Wiley, New York.

Rice R.C.,ed. 1988 Fatigue Design Handbook, 2nd ed., SAE Pub.No. AE-10,Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa.

Suresh, S. 1991 Fatigue of Materials, Cambridge University Press, Cambridge, UK.