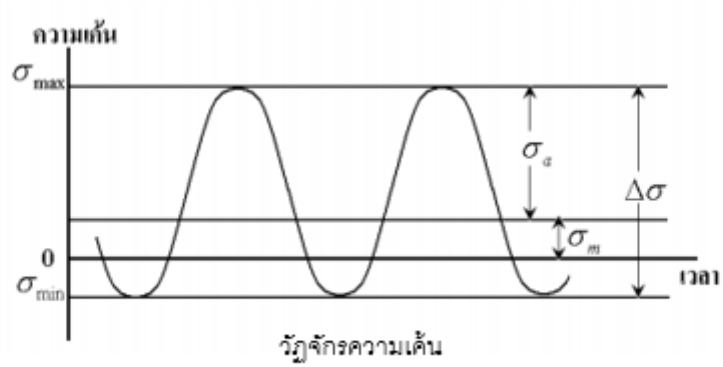
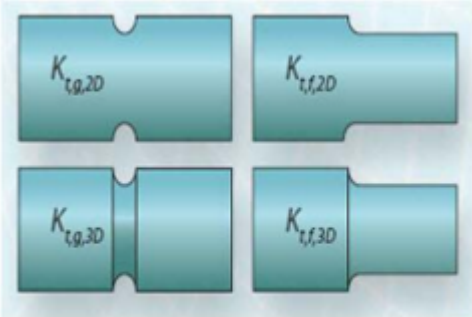
การทดสอบการล้าแบบคานหมุนดัด

ดร.ศิวะ สิทธิพงศ์ ดนัย ใจเมตตา และ นันท์นิชา ม่วงทอง
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)
35 หมู่ที่ 3 เทคโนธานี ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

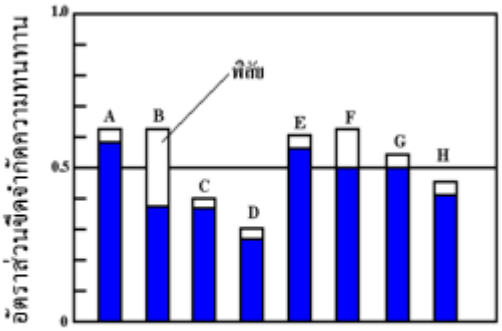
การแตกหัก (crack) ของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหมุน (rotating machine) สาเหตุหนึ่งมาจากการล้า (fatigue) ของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ซึ่งเกิดจากองค์ประกอบหลัก 3 องค์ประกอบ คือ 1. ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลนั้นได้รับภาระกระทำเป็นภาระวัฏจักร (cyclic load) 2. ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลนั้นมีบริเวณวิกฤติคือ บริเวณที่มีรูปทรงที่ทำให้เกิดการสะสมของความเค้น ทำให้เป็นบริเวณความเข้มข้นความเค้น (stress concentration area) 3. วัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องจักรกลนั้นไม่มีโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติเชิงกลที่เหมาะสม (imperfect material properties) ดังแสดงในรูปที่ 1 การแตกหักในช่วงแรกจุดเริ่มต้นรอยแตก (initiate crack) มักมีจุดเริ่มต้นจากบริเวณวิกฤต รอยแตกมีขนาดเล็ก ตรวจสอบด้วยตาเปล่าได้ยาก แต่เมื่อเกิดการลุกลามของรอยแตก (prorogation crack) ทำให้พื้นที่รับแรงลดลง ในขณะที่ชิ้นส่วนต้องรับแรงเท่าเดิม จึงมีความเค้นสูงเฉพาะบริเวณ ซึ่งสามารถเกิดการแตกหักอย่างทันทีทันใดของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล การชำรุดนี้ไม่เพียงส่งผลเสียหายต่อตัวชิ้นส่วนเอง ยังส่งผลเสียหายต่อชิ้นส่วนเครื่องจักรกลอื่นที่ทำงานเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันอีกด้วย และรุนแรงถึงขั้นทำให้เครื่องจักรต้องหยุดการทำงาน ต้องเสียเวลาและโอกาสในการทำงาน พร้อมทั้งภาระต้นทุนงานซ่อมบำรุงที่จะต้องเพิ่มขึ้น ดังนั้นในงานซ่อมบำรุงรักษาเชิงรุก (proactive maintenance) วิศวกรฝ่ายซ่อมบำรุงต้องทำการทดสอบการล้า (fatigue testing) และทำนายอายุการล้า (fatigue life prediction) ของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหมุนเพื่อประเมินการถอดเปลี่ยนอุปกรณ์ให้เหมาะสมตามชั่วโมงการทำงาน เป็นการลดต้นทุนงานซ่อมบำรุง และเสริมสร้างภาพลักษณ์ที่ดีของหน่วยงานที่รู้จักแก้ปัญหา



วัฏจักรความเค้น



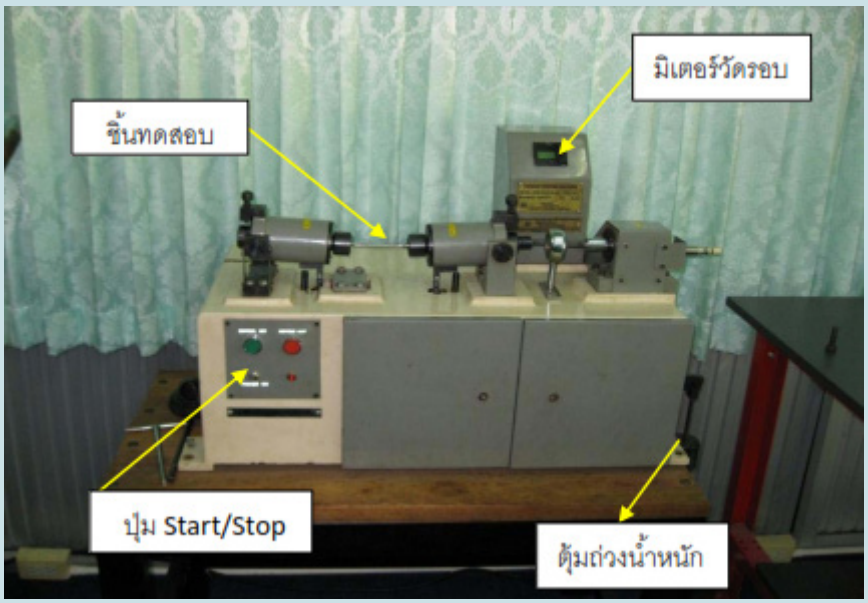
ความเข้มข้นความเค้นบริเวณวิกฤต



ชนิดของโครงสร้าง

รูปที่ 1. สาเหตุการล้าของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหมุน

การทำนายอายุการล้าของชิ้นส่วนส่งกำลังในเครื่องจักรหนักซึ่งส่วนใหญ่รับภาระบิดดัดจะทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความล้าแบบคานหมุนดัด (rotating bending machine) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2. เครื่องทดสอบความล้าแบบคานหมุนดัด

การทดสอบการล้าด้วยเครื่องทดสอบความล้าแบบคานหมุนดัดมีวิธีการ ดังต่อไปนี้

1. การเตรียมชิ้นงาน

2. การทดสอบชิ้นงาน

2.1 ยึดชิ้นงานทดสอบให้แน่น
2.2 ตั้งตัวนับรอบอยู่ที่ศูนย์
2.3 ให้ภาระดัดแก่ชิ้นงานทดสอบ
2.4 ปรับตั้งระยะกะประมาณเมื่อชิ้นทดสอบขาด ให้เรือนแหวนครอบลูกปืนรองเพลาชนลูกกลิ้งของไมโครสวิตช์ตัดวงจรไฟให้มอเตอร์หยุดหมุน
2.5 เสียบปลั๊กและกดปุ่มให้เครื่องทำงาน
2.6 บันทึกค่าแรง F (นิวตัน) เมื่อเครื่องหมุนได้จำนวนรอบตามตารางทดสอบ
2.7 กรณีฉุกเฉินในขณะทดสอบให้กดสวิตช์ฉุกเฉินที่ด้านขวาของเครื่อง

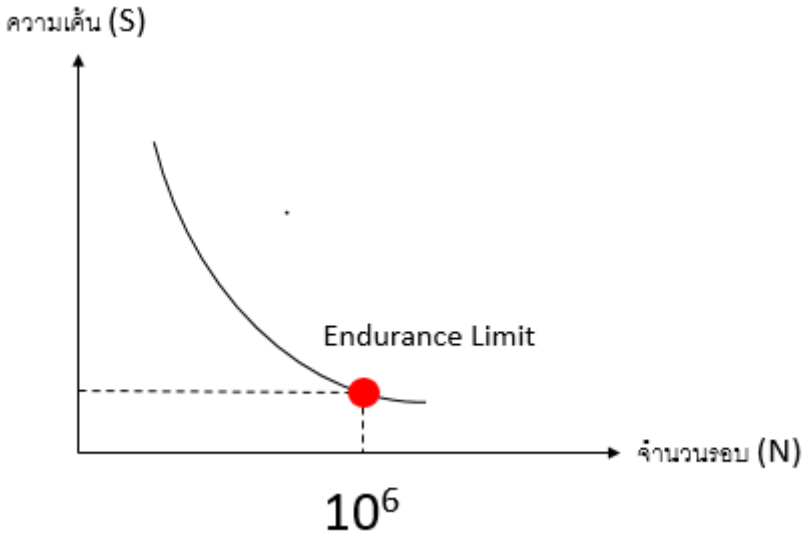
3. S-N Curve กับการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.1 นำข้อมูลแรง (น้ำหนักถ่วง) มาคำนวณหาค่าความเค้นด้วยสมการที่ (1) และพล็อตกราฟ S-N Curve ดังแสดงในตัวอย่างรูปที่ 3

$$\sigma = \frac{MC}{I} = \frac{32M}{\pi d^3} = \frac{50.93P}{d^3} \qquad (1)$$

โดย σ คือ ความเค้น M คือ โมเมนต์ดัด P คือ แรง (น้ำหนักถ่วง) d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานทดสอบ C คือ ระยะจากขอบถึงแกนสะเทิน

3.2 ความเค้นที่ 1,000,000 รอบวัฏจักร (cycle) จะถูกใช้เป็นขีดจำกัดความแข็งแรงล้า (S'_e)



รูปที่ 3. S-N Curve

การใช้ผลขีดจำกัดความแข็งแรงล้า (Endurance Limit, S'_e) เพื่อประเมินอายุการล้าต้องคูณปัจจัยปรับแก้ (factor) เพื่อให้สอดคล้องกับสภาวะการทำงานจริง ด้วยสมการที่ (2)

$$S_e = k_a\, k_b\, k_c\, k_d\, k_e\, k_f\, S'_e \qquad (2)$$

S_e คือ ค่าขีดจำกัดความแข็งแรงล้าประเมินตามสภาวะการทำงานจริง หน่วยเมกะพาสคัล

S'_e คือ ค่าขีดจำกัดความแข็งแรงล้าที่ได้จากการทดสอบชิ้นงานตามวิธีการข้างต้น หน่วยเมกะพาสคัล

K_a คือ ปัจจัยปรับแก้ผิวหน้า

K_b คือ ปัจจัยปรับแก้ขนาด

K_c คือ ปัจจัยปรับแก้ภาระโหลด

K_d คือ ปัจจัยปรับแก้อุณหภูมิ

K_e คือ ปัจจัยปรับแก้ความเชื่อถือได้

K_f คือ ปัจจัยปรับแก้อื่นๆ ได้แก่ สภาพแวดล้อม กระบวนการผลิต บริเวณเข้มข้นความเค้น

การประเมินอายุการล้าของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหมุนจะใช้สมการที่ 3

$$N = 10^{\frac{1}{b}(\log \sigma_R - a)} \qquad (3)$$

N คือ อายุการล้าของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหมุน หน่วยรอบวัฏจักร (cycle)

σ_R คือ ความเค้นล้าที่เกิดขึ้นจริง หน่วยเมกะพาสคัล (MPa)

โดย a, b (Intercept) หาได้จาก S-N Curve ที่ผ่านการกระชับข้อมูลกำลังสอง

การหาค่าความเค้นล้า σ_R ที่กระทำกับชิ้นส่วน ได้จากการรวมค่าความเค้นสถิตย์ (Combine static stress) แปลงเป็นความเค้นพลวัตร (Dynamic stress) เพื่อวิเคราะห์วัฏจักรความเค้น ซึ่งจำเป็นต้องรู้ค่าความเค้นสูงสุดและต่ำสุด เพื่อหาความเค้นค่ากลางสมมูลและความเค้นแอมพลิจูดสมมูล หรือความเค้นล้า ซึ่งถ้ามีค่าสูงกว่าค่าขีดจำกัดความล้าชิ้นส่วนจะเข้าสู่ขอบเขตการวิบัติและมีอายุการใช้งานจำกัด สามารถทำนายอายุการล้าได้ด้วยสมการที่ 3 ซึ่งปัจจุบันมีโปรแกรมที่วิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ช่วยในการวิเคราะห์และทวนสอบผลการวิเคราะห์

กรณียืดอายุการใช้งานโดยกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมสามารถประเมินอายุการใช้งานด้วยวิธีการเดียวกัน เพียงแต่เปลี่ยนวัสดุโลหะฐาน (base metal) เป็นเนื้อเชื่อม และทำการทดสอบการล้าของเนื้อเชื่อมเพื่อประเมินหรือเปรียบเทียบกับเนื้อเดิม

เอกสารอ้างอิง

จิตติ บัวพูน, นิรมิต เดชสุภา, ประศาลน์ สุบรรพวงศ์ และณรงค์ฤทธ์ โทธรัตน์. 2550. การวิเคราะห์การชำรุดเบื้องต้น. สงขลา: ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศิวะ สิทธิพงศ์, เจริญยุทธ เดชวายุกุล, ประภาศ เมืองจันทร์บุรี และ ณรงค์ฤทธ์ โทธรัตน์. 2559. การวิเคราะห์ค่าความเค้นของเพลาหมุนเหวี่ยงในระบบส่งกำลังของรถขุดไฟฟ้า. *วารสารนเรศวรพะเยา ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, **9**(2), หน้า 21-24.

ศิวะ สิทธิพงศ์, เจริญยุทธ เดชวายุกุล, ประภาศ เมืองจันทร์บุรี และ ณรงค์ฤทธ์ โทธรัตน์. 2560. การวิเคราะห์ค่าความเค้นของเพลาเกียร์ขับท้ายของรถขุดไฟฟ้าด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, **20**(1), หน้า 57-66.

ศิวะ สิทธิพงศ์, ชัยยุทธ มีงาม และ ประภาศ เมืองจันทร์บุรี. 2554. การเปรียบเทียบกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมเพื่อยืดอายุการใช้งานของเพลาสวิง. *วารสารการเชื่อมไทย*, **54**, หน้า 11-18.

ศิวะ สิทธิพงศ์, ประวิทย์ โตวัฒนะ, อำนวย สิทธิเจริญชัย และ ประภาศ เมืองจันทร์บุรี. 2559. การเปรียบเทียบอายุการล้าของผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์ เกรด X111-T5-K4 และ E110T5-K4H4. *วารสารวิชาการและวิจัยมหาวิทยาลัยราชมงคลพระนคร ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, **10**(2), หน้า 11-21.

ศิวะ สิทธิพงศ์, สิทธิพงษ์ โล่วิรกรณ์, ประภาศ เมืองจันทร์บุรี และ เจริญยุทธ เดชวายุกุล. 2562. การทำนายอายุการล้าของเพลาขับแขนปุ้งกี๋ของรถขุดไฟฟ้าตีนตะขาบด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์. *วารสารวิทยาสาสตร์และเทคโนโลยีสักทอง*, **6**(1), หน้า 63-71.

Siva Sitthipong, Prawit Towatana and Amnuay Sitticharoenchai, 2017. Failure analysis of metal alloys propeller shafts. *Materials Today: Proceedings*, **4**(5) pp. 6491-6494.

Siva Sitthipong, Prawit Towatana, Amnuay Sitticharoenchai and Chaiyoot Meengam, 2017. Life extension of propeller shafts by hardfacing welding. *Materials Science Forum*, **872**, pp. 62-66.

Siva Sitthipong, Prawit Towatana, Amnuay Sitticharoenchai and Prawit Bibithkosolvongse, 2016. Fatigue life estimates of surface welding X111-T5-K4 and E71T-1CH8/T-9M-D flux core wire. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, **11**(7), pp. 1623-1627.