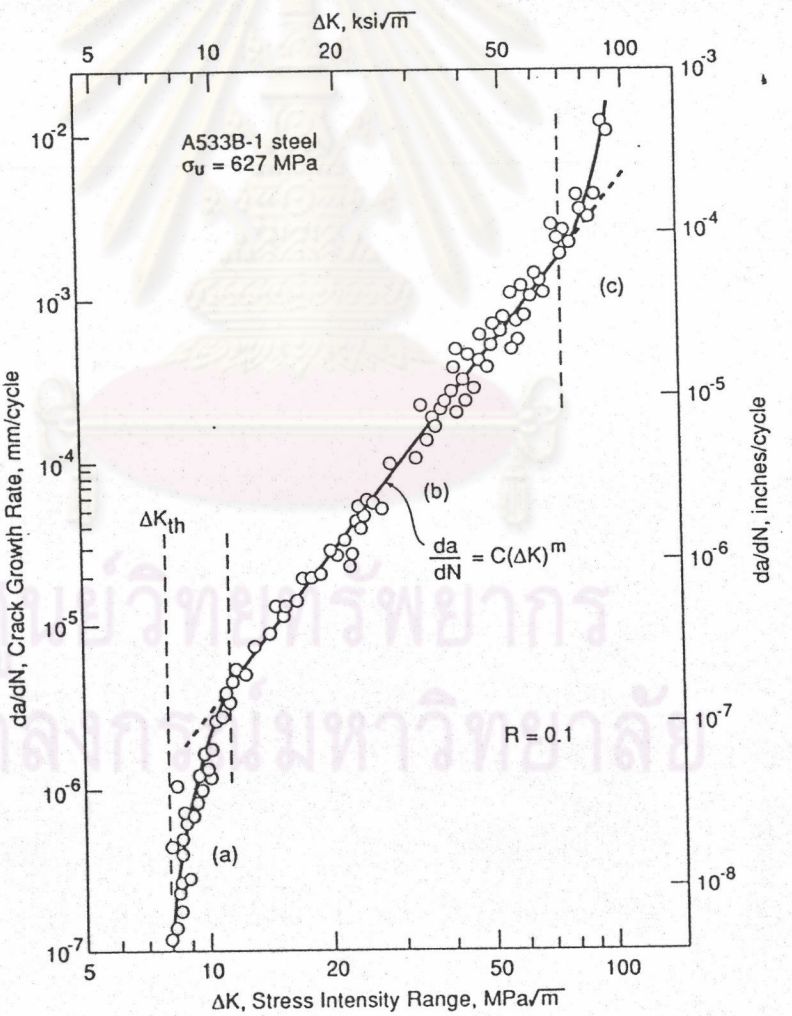
บทที่3

การประยุกต์กลศาสตร์การแตกหักในการศึกษาเกี่ยวกับความล้า

การอธิบายถึงพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวสำหรับวัสดุชนิดหนึ่งนั้นอาศัยการทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการเติบโตของรอยร้าว (crack growth rate) $\frac{da}{dN}$ และค่า stress intensity factor, ΔK, ซึ่งสำหรับวัสดุและแต่ละชนิดจะมีลักษณะแตกต่างกันออกไป ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.1 (ความสัมพันธ์ดังกล่าวนิยม plot บน มาตราส่วน log)



รูปที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติบโตของรอบร้าว(da/dN) และ ΔK

ผู้ที่เสนอแนวความคิดนี้เป็นคนแรกคือ P.C.Paris ในตอนต้นปี 1960 ซึ่งเป็นการศึกษาพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าว (crack growth behavior) โดยการประยุกต์หลักการของกลศาสตร์การแตกหัก (fracture mechanics) ความสัมพันธ์ที่ P.C.Paris เสนอ คือ

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \qquad (1)$$

โดย C เป็นค่าคงที่

m เป็นความชัน (slope) ในมาตราส่วน log

a เป็นความยาวรอยร้าว (crack length)

N เป็นจำนวนรอบ (cycle)

K เป็นค่า Stress intensity factor

จากรูปที่ 3.1 จะสังเกตุเห็นพฤติกรรมที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน 3 ช่วง

ช่วงที่ I เป็นช่วงที่เรียกว่า ช่วง threshold effect ซึ่งเป็นช่วงที่ถ้า stress intensity factor ต่ำกว่าค่าหนึ่ง, ΔK_{th}, อัตราการเติบโตของรอยร้าวจะมีค่าต่ำมากหรืออาจไม่เกิดขึ้นเลยซึ่งค่า ΔK_{th}, นี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ อัตราส่วนความเค้น (stress ratio), $R = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{max}}$, ความถี่(frequency)ของภาระและสภาวะแวดล้อม(environment)อื่นๆเช่นสภาวะของการกัดกร่อน (corrosion) ฯลฯ ในการออกแบบถ้าพยายามให้ ΔK ต่ำกว่า ΔK_{th} นั่นหมายถึงสามารถลดโอกาสที่ร้อยร้าวจะเติบโตได้ซึ่งมีโอกาสเป็นไปได้น้อยมากเพราะขนาดของความบกพร่องที่เกิดขึ้นในวัสดุชิ้นงานซึ่งถือว่าเป็นรอยร้าวหรือแหล่งกำเนิดของรอยร้าวที่จะให้ค่า ΔK ต่ำกว่า ΔK_{th} นั้นมีขนาดเล็กกว่าที่จะตรวจสอบได้ และนอกจากนี้ขนาดของภาระที่ชิ้นงานตกอยู่ภายใต้การกระทำนั้นมักจะทำให้ ΔK มีค่ามากกว่า ΔK_{th} อยู่เสมอ

ช่วงที่ II เป็นช่วงที่รอยร้าวมีการเติบโต P.C.Paris ได้อธิบายถึงความสัมพันธ์ (1) ซึ่งได้มากจากการ fit curveความสัมพันธ์กับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งเป็นช่วงที่สำคัญในการคาดการณ์ถึง การเติบโตของรอยร้าวก่อนที่จะนำไปสู่ความเสียหายที่จะเกิดขึ้น P.C.Paris ได้ทำการทดสอบโดยใช้ภาระที่เปลี่ยนแปลงเป็นคาบโดยมีขนาด amplitude คงที่ (การทดสอบเกี่ยวกับการหาอายุความล้าภายใต้ภาระที่มีขนาด amplitude คงที่ในปัจจุบันยึดถือแนวทางของมาตรฐานการทดสอบของ ASTM E647,1990 ในการทดสอบ)

ช่วงที่ III เป็นช่วงที่เรียกว่า unstable crack growth รอยร้าวจะมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งเกิดความเสียหายของชิ้นงานขึ้น ในการศึกษาเกี่ยวกับอัตราการเติบโตของรอยร้าว มักไม่ค่อยคำนึงถึงเพราะช่วงบริเวณดังกล่าวเป็นช่วงที่เกิดความเสียหายฉับพลัน (da/dN มีค่าสูงมาก)ซึ่งไม่มีผลในทางปฏิบัติเกี่ยวกับการประเมินอายุของชิ้นงานที่พิจารณา(อายุความล้าของชิ้นงานส่วนใหญ่คือ ผลรวมอายุการใช้งานในช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2) ความสัมพันธ์ระหว่าง da/dN และ ΔK บริเวณนี้จะชันมาก ซึ่งขณะนั้นจาก LEFM แสดงว่า fracture toughness จะลู่เข้าสู่เส้นบริเวณที่เป็นค่าวิกฤติของวัสดุ ($K \rightarrow K_C$) สำหรับวัสดุที่มีบริเวณ plastic zone ไม่ใหญ่จนเกินไป(จากข้อจำกัดของ LEFM) ซึ่งในกรณีที่บริเวณ plastic zone มีขนาดใหญ่จะไม่นิยมใช้แนวความคิดของค่า K_C ในการวิคราะห์ มักใช้หลักการของ EPFM(Elastic-Plastic Fracture Mechanics) ซึ่งจะทำการศึกษาตัวแปรในรูปแบบของ J-integral หรือ crack tip opening displacement (CTOD) แทนการศึกษาในรูปแบบของ K

การวิเคราะห์อัตราการเติบโตของรอยร้าวซึ่งเกิดจากความล้า

จากแนวความคิดของ P.C.Paris การคำนวณอายุที่ใช้ในการเติบโตของรอยร้าวภายใต้ภาวะเปลี่ยนแปลงที่มีค่า Amplitude คงที่ เนื่องจาก ΔK จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวรอยร้าวมีค่ามากขึ้นแม้ว่าภาระเปลี่ยนแปลงจะมีขนาด amplitude คงที่, ΔS = ค่าคงที่, ดังนั้นอัตราการเติบโตของรอยร้าว $\frac{da}{dN}$ จึงมีค่าขึ้นกับ ΔK ซึ่งจะเห็นได้ว่า อัตราการเติบโตของรอยร้าวจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อรอยร้าวมีความยาวเพิ่มขึ้นหรือกล่าวได้ว่าการเติบโตของรอยร้าวมีความเร่งในขณะที่รอยร้าวมีความยาวเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของอัตราการเติบโตของรอยร้าวนี้ ทำให้การคำนวณระยะเวลาการเติบโตสำหรับความยาวของรอยร้าวค่าหนึ่ง ๆ นั้น ต้องอาศัยหลักการทางแคลคูลัส โดยใช้วิธี integration

จากตอนต้นจะเห็นได้ว่าภายใต้ สภาวะอัตราส่วนความเค้น (stress ratio), R, ค่าหนึ่ง อัตราการเติบโตของรอยร้าว, $\frac{da}{dN}$, และ ΔK สามารถเขียนอยู่ในรูปทั่วไปได้ดังนี้ ดังสมการที่ 1

$$\frac{da}{dN} = f(\Delta K, R) \qquad (2)$$

สำหรับวัสดุชนิดหนึ่งภายใต้สภาวะแวดล้อมหนึ่ง

การคำนวณอายุที่ใช้ในการเติบโตของรอยร้าวสำหรับความรอยร้าวค่าหนึ่งสามารถทำได้โดยการแก้สมการและ integration ดังนี้

I16884140

$$\int_{a_i}^{a_f} \{1/f(\Delta K,R)\}da = \int_{N_i}^{N_f} dN$$

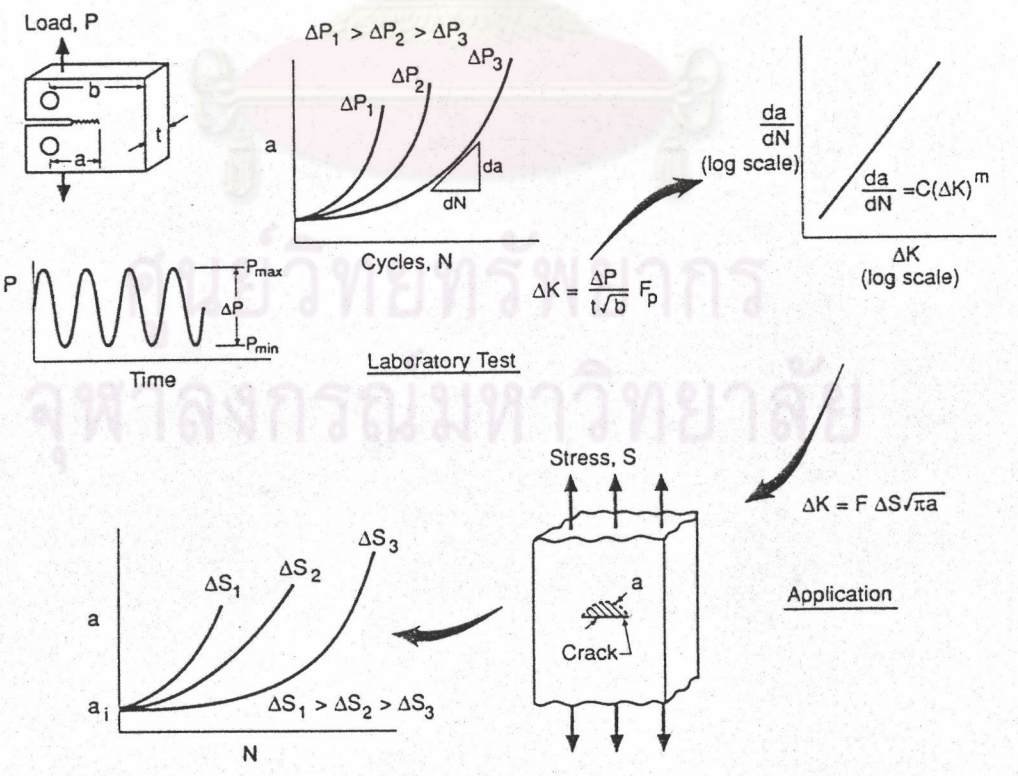
โดยที่ N_i = จำนวนรอบขณะเกิดความยาวรอยร้าวเริ่มต้น a_i

N_f = จำนวนรอบขณะเกิดความยาวรอยร้าวสุดท้าย a_f

N_{if} ($N_f - N_i$) = จำนวนรอบที่ใช้ในการเติบโตของรอยร้าวจาก a_i ถึง a_f

การจะหาความสัมพันธ์ข้างต้นได้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบรูปแบบความสัมพันธ์ของ $\frac{da}{dN}$ ว่าเป็นอย่างไร ซึ่งจะมีรูปแบบเฉพาะภายใต้สภาวะหนึ่งสำหรับวัสดุชนิดหนึ่ง ซึ่งการ integrate สามารถทำได้ทั้งวิธีธรรมดา และวิธีเชิงตัวเลข (numerical method)ดังต่อไปนี้

ASTM(1990)ได้กำหนดถึงวิธีการทดสอบการเติบโตของรอยร้าวซึ่งเกิดจากความล้าได้ใน ASTM E-647(1990) โดยการทดสอบใช้ชิ้นทดสอบ compact-tension (C-T) specimen หรือ center-cracked-tension specimen ASTM E-647(1990)ได้กล่าวถึงการทดสอบโดยการติดตามความยาวของรอยร้าว (a) ที่จำนวนรอบ (cycles) ต่าง ๆ ซึ่งจากการทดสอบจะทำให้ได้ข้อมูลพื้นฐานคือ ความสัมพันธ์ ระหว่างความยาวรอยร้าวและจำนวนรอบของ fatigue load ดังรูปที่ 3.2

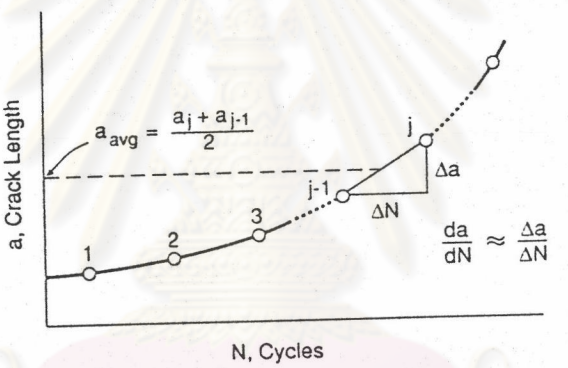


รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนในการวิเคราะห์ความล้าของวัสดุโดยใช้กลศาสตร์การแตกหัก

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าถ้าภาระมีขนาด amplitude สูงขึ้นจะทำให้จำนวนรอบที่ต้องใช้ในการเติบโตของรอยร้าวจนกระทั่งถึงค่าวิกฤติมีค่าลดลง และถ้าขนาดความยาวเริ่มต้นของรอยร้าวมีค่ามาก ก็จะทำให้จำนวนรอบที่ใช้ในการเติบโตจนกระทั่งถึงความยาววิกฤติมีค่าลดลงเช่นกัน โดยทั่วไปการ plot ความสัมพันธ์ระหว่าง a และ N จะเป็น linear scale

จากข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่าง a และ N ข้างต้นสามารถนำมาใช้คำนวณหาความสัมพันธ์ของ $\frac{da}{dN}$ (อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของรอยร้าวต่อจำนวนรอบ) และค่าเปลี่ยนแปลงของ stress intensity factor (ΔK) ได้ดังนี้คือ

สมมุติว่าความสัมพันธ์ a และ N ในระหว่างจุดช่วงสั้น ๆ เป็นเส้นตรงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงวิธีการแบ่งช่วงความสัมพันธ์ระหว่าง a และ N ในการคำนวณ da/dN

ให้แต่ละจุดมีอันดับเป็น 1,2,3, ...j ดังนั้น พิจารณาที่จุด j

$$\left(\frac{da}{dN}\right)_j \approx \left(\frac{\Delta a}{\Delta N}\right)_j = \frac{a_j - a_{j-i}}{N_j - N_{j-1}}$$

และ

$$\Delta K_j = f\left(\frac{a}{w}\right).\Delta\sigma\sqrt{\pi a_{avg}} \qquad \text{หรือ}$$

$$\Delta K_j = f\left(\frac{a}{w}\right) \frac{\Delta P}{B\sqrt{w}}$$

โดยที่ $a_{avg} = \frac{a_j + a_{j-1}}{2}$

$f(\frac{a}{w})$ = geometry factor ซึ่งเป็นฟังชันของ $\frac{a_{avg}}{W}$

B = ความหนาของชิ้นทดสอบ

W = 2B

หลังจากได้ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{da}{dN}$ และ ΔK ซึ่งปกติจะนิยม plot $\frac{da}{dN}$ และ ΔK บน log scale จากความชัน (slope) และจุดตัดแกน $\frac{da}{dN}$ จะเป็น ค่าคงที่ C และ m ในสมการของ P.C.Paris ตามลำดับ

จากสมการข้างต้นสามารถประยุกต์ LEFM ในการคาดการณ์ความเสียหายอันเนื่องมาจากความล้าได้ดังนี้

หมายเหตุ สมการของ P.C.Paris

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m$$

จาก $\frac{da}{dN} f(\Delta K,R) = C(\Delta K)^m$

โดย $\Delta K = f(\frac{a}{w})\Delta\sigma\sqrt{\pi a}$

จากการตั้งสมมุติฐานว่า

$f(\frac{a}{w})$ มีค่าคงที่โดยประมาณจากความยาว a_i ถึง a_f และ C เป็นค่าคงที่ซึ่งรวมถึงผลของ R $(\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}})$ ไว้ด้วย σ_{max} และ σ_{min} มีค่าคงที่

ซึ่งจะทำให้ $\Delta\sigma$ และ R มีค่าคงที่

$$N_{if} = \int_{a_i}^{a_f} \frac{da}{C(\Delta K)^m} = \int_{a_i}^{a_f} \frac{da}{C(f(\frac{a}{W})\Delta\sigma\sqrt{\pi a})^m} = \int_{a_i}^{a_f} \frac{da}{C(f(\frac{a}{W})\Delta\sigma\sqrt{\pi})^m a^{m/2}}$$

$$N_{if} = \frac{a_f^{1-m/2} - a_i^{1-m/2}}{C(f(\frac{a}{W})\Delta\sigma\sqrt{\pi})^m (1-m/2)}$$

หรือเขียนในรูปของ

$$N_{if} = \left(\frac{1-(a_i/a_f)^{m/2-1}}{(Cf(a/W)\Delta\sigma\sqrt{\pi})^m(m/2-1)}\right)\left(\frac{1}{a_i}\right)^{m/2-1}$$

จากการวิเคราะห์ข้างต้นจะเห็นว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบความยาววิกฤติของรอยร้าว (critical crack length) ภายใต้สภาวะของภาระที่พิจารณาซึ่งสามารถประมาณได้ดังนี้

ความยาวรอยร้าวขณะเกิดความเสียหาย

Bannatine, Comer และ Handrock(1990) ได้กล่าวถึงการคำนวณการเติบโตของรอยร้าว ความยาวรอยร้าวสุดท้าย(a_i) ซึ่งจะต้องถูกคำนวณก่อนที่จะประยุกต์ใช้ในสมการ (1) ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงที่มีขนาด amplitude คงที่ ขณะที่สภาวะภาระเปลี่ยนแปลงมีขนาดสูงสุด(S_{max}) stress intensity factor จะมีค่าสูงสุด(K_{max}) ด้วย และเมื่อ K_{max} มีค่าเข้าใกล้ค่าวิกฤติ(K_C)สำหรับวัสดุชนิดหนึ่ง ความเสียหายจะเกิดขึ้นซึ่งขณะนั้นประมาณว่าความยาวรอยร้าวเป็นความยาววิกฤติ (a_C) มีค่าดังนี้

$$a_c = \frac{1}{\pi}\left(\frac{K_c}{f\sigma_{max}}\right)$$

โดย K_{IC} ได้มาจากการทำการทดสอบหาค่า fracture toughness ของวัสดุ

a_C = ความยาวรอยร้าววิกฤติ (critical crack length)

K_C = ค่าวิกฤติของ stress intensity factor

σ_{max} = ค่าความเค้นสูงสุด

$f(\frac{a}{w})$ = เป็นฟังชั่นของรูปทรงของวัสดุที่พิจาณา

หลักการในการประยุกต์กลศาสตร์การแตกหักในการวิเคราะห์การเติบโตของรอยร้าวสามารถสรุปได้ดังนี้

1.จากปัญหาที่เกิดขึ้นจริงนำเอาวัสดุที่ต้องการวิเคราะห์ ภายใต้สภาวะของภาระที่กระทำต่อวัสดุนั้นมาใช้ ในการทดสอบตามแนวทางของ ASTM E-647(1990)

2.เลือกรูปแบบของ specimen ที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบในห้องทดสอบ ซึ่งมีหลายรูปแบบให้เลือกเช่นเดียวกับการทดสอบหาค่า fracture toughness

3.ทำการทดสอบเพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานคือ ความสัมพันธ์ระหว่าง ความยาวของรอยร้าว (a) และจำนวนรอบ (N)

4.จากข้อ (3) จึงนำมา คำนวณและ plot ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{da}{dN}$ และ ΔK ซึ่งจากการ fit curve จะทำให้ได้ค่า C และ m ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันออกไปสำหรับแต่ละวัสดุภายใต้ภาระแบบหนึ่ง

5.จากข้อ (4) สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเช่น ในการคำนวณหาอายุการใช้งานของวัสดุภายใต้ภาระที่กำหนดเมื่อตรวจพบว่ามีรอยร้าวความยาวค่าหนึ่ง เป็นต้น

การทดสอบอาจจะให้ผลที่ตรงกับความเป็นจริงหรือไม่ขึ้นกับ ความละเอียดรอบคอบในการจำลองสภาวะแวดล้อมที่เกิดขึ้นจริงและการทดลองให้มีความใกล้เคียงกันมากเพียงใด

ความเสียหายเนื่องจากความล้า

Collins(1981) ได้นิยามความเสียหายเนื่องจากความล้าว่าเป็นลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน หรือโครงสร้างภายใต้สภาวะ ความเค้นซึ่งกระทำกลับไปกลับมาซึ่งจะทำให้ความทนทานของชิ้นงานหรือโครงสร้างลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งเกิดความเสียหายขึ้น โดยมีลักษณะแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของวัสดุ ปัจจัยที่มีผลได้แก่ คุณสมบัติของวัสดุ รูปทรงชิ้นงานหรือโครงสร้าง และลักษณะของความหนาแน่นของความเค้น (stress concentration) ที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน ลักษณะของผิว(ความขรุขระ) สภาวะของความเค้นภายใน(residual stress) สภาวะแวดล้อม(environment) และลักษณะของภาระที่เปลี่ยนแปลงไปมา ฯลฯ

จากการศึกษาของนักโลหวิทยา(metallurgist)หลายกลุ่มได้แก่

-Broek(1988)

-Frost, Marsh และ Pook(1974)

-Fuch และ Stephens(1980)

-Hertzberg(1989)

-Rice(1988)

-Suresh(1991)

ได้มีการแบ่งการเกิดปรากฏการณ์ของความล้าเป็นช่วง ๆ ได้ดังนี้

1.การกำเนิดของรอยร้าว (Crack Initiation)

2.การเติบโตของรอยร้าว(crack propagation)

3.การแตกหัก(fracture)

ขั้นตอนดังกล่าวมีรายละเอียดดังนี้

1.การกำเนิดของรอยร้าว (Crack Initiation)

จากการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าในระดับ microstructureวัสดุทุกชนิดจะมีลักษณะของ inhomogenity อันอาจจะเกิดเนื่องมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น โครงสร้าง grainของ crystal ที่ประกอบในวัสดุ หรือเนื่องจากvoid ที่เกิดจากการไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันของของส่วนผสมที่ต่างกันในเนื้อวัสดุ ฯลฯ ภายใต้ภาระซึ่งกระทำกลับไปกลับมาบนชิ้นงานและเนื่องจาก inhomogenityของวัสดุทำให้การกระจายของความเค้นภายในเนื้อวัสดุไม่สม่ำเสมอด้วยซึ่งบริเวณที่มีความเค้นสูงจะเป็นจุดเริ่มในการเกิดความเสียหายขึ้น สำหรับวัสดุ ductile ความเค้นจะทำให้เกิด slip band ซึ่งเป็นการเสียรูปขึ้นภายใน grainของcrystalซึ่งมีระนาบที่อ่อนแอต่อความเค้น(slip plane) และการเสียรูปนี้จะสามารถขยายตัวต่อไปใน grain อื่นซึ่งทำให้เกิดรอยร้าวและสามารถขยายตัวต่อไปจนกระทั่งเกิดความเสียหายขึ้นสำหรับวัสดุประเภท high strength รอยร้าวจะเริ่มเกิดจาก defect ในเนื้อวัสดุเช่น void หรือ grain boundary ของวัสดุเจือปน(inclusion)ในเนื้อวัสดุ โดยรอยร้าวจะเริ่มโตในแนวระนาบที่ตั้งฉากกับ tensile stress และขยายต่อไปรวมตัวกับ voidหรือ defect อื่นๆจนกระทั่งเกิดความเสียหายขึ้น รอยร้าวที่เกิดขึ้นจากความล้า มักเกิดจากบริเวณผิวของชิ้นงาน หรือบริเวณส่วนที่อ่อนแอที่สุดของชิ้นงานที่รับภาระ ซึ่งก็มีบ้างที่ร้อยร้าวเกิดขึ้นจาก defect ภายในเนื้อวัสดุของชิ้นงาน

โดยทั่วไปชิ้นส่วนทางวิศวกรรม ซึ่งถูกทำมาจากวัสดุ โลหะต่าง ๆ มักจะมี แหล่งกำเนิดของรอยร้าวเกิดขึ้นไม่มากก็น้อย เช่น notch รอยขีดข่วน void ฯลฯ ซึ่งแหล่งกำเนิดเหล่านี้จะเป็นบริเวณส่วนที่อ่อนแอของวัสดุเป็นอย่างมาก เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะความเค้นสูง หรือภายใต้สภาวะที่รุนแรง เช่น สภาวะที่มีการกัดกร่อน ซึ่งจากข้อสมมุติฐาน ดังกล่าว สามารถวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นด้วยหลักการของ linear elastic fracture mechanics (LEFM) ได้ซึ่งในการวิเคราะห์มักสนใจรอยร้าวเมื่อมีขนาดใหญ่พอสมควร macro crack จะแตกต่างจาก micro crack ซึ่งจะมีพฤติกรรมที่แตกต่างกันในปัจจุบันได้มีการศึกษาถึงพฤติกรรมของ short crack กันอย่างกว้างขวางซึ่งไม่สอดคล้องโดยตรงกับหลักการของ LEFM เนื่องจาก LEFM จะเป็นการวิเคราะห์ ในลักษณะมหภาค

(macroscopic characteristic)ในขณะที่ short crack จะมีพฤติกรรมขึ้นกับ microstructure ค่อนข้างมาก

2.การเติบโตของรอยร้าว

บริเวณจุดกำเนิดของรอยร้าวภายใต้ภาระที่มากระทำจะทำให้เกิดการเติบโตของรอยร้าวซึ่งเป็นส่วนที่เป็นช่วงระยะเวลาที่จะสามารถทำการตรวจพบรอยร้าวได้และเป็นช่วงเวลาส่วนใหญ่ส่วนหนึ่งของอายุความล้า (fatigue life)ของวัสดุ

ลักษณะทางมหาภาคที่ชัดเจนของความเสียหายอันเนื่องจากความล้าก็คือ ในวัสดุbrittle อาจจะสังเกตุ เห็น beachmark มีลักษณะเป็นวงเส้นโค้ง ที่ซึ่งอาจเกิดจาก การเปลี่ยนแปลงระดับความเค้นที่มากระทำ หรือการเปลี่ยนอัตราการเติบโตของรอยร้าวที่ผิวของการแตกหัก หรือในวัสดุ ductile อาจตรวจพบ striation ซึ่งจะแสดงถึงการเติบโตของรอยร้าวในแต่ละรอบ(cycle)ของภาระที่กระทำต่อชิ้นงาน

3 การแตกหัก

หลังจากรอยร้าวมีการเติบโตในระยะหนึ่งสภาวะของความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นงานจะมีความรุนแรงมากขึ้น ความสามารถในการรับภาระของชิ้นงานจะลดลง จนกระทั่ง เมื่อชิ้นงานไม่สามารถจะรับภาระที่เปลี่ยนแปลงได้ ก็จะทำให้เกิดความเสียหายขึ้น การแตกหักอาจเป็นแบบ ductile fracture ซึ่งเกิด plastic deformation ค่อนข้างมากอาจสังเกตเห็น shear lip เกิดขึ้นด้วย หรือ อาจเป็นแบบ brittle fracture ซึ่งเกิด plastic deformation น้อยๆโดยลักษณะผิวจะมีลักษณะค่อนข้างเรียบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย