

บทที่ 2

ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

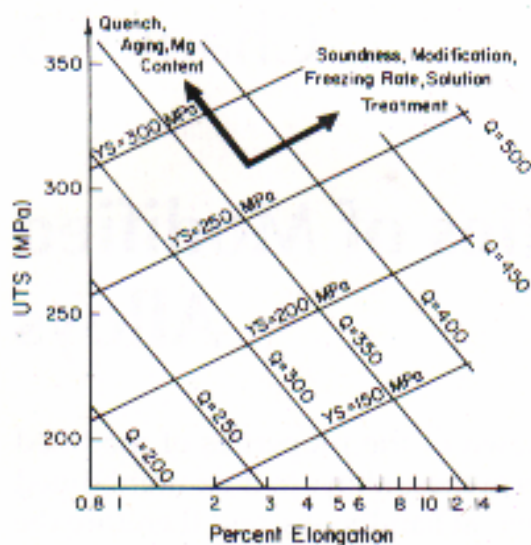
การออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตเพื่อที่จะหาค่าสูงสุดของดัชนีวัดคุณภาพของค่าแรงดึงของล้อยอุมิเนียม จะเกี่ยวข้องกับงานเขียนและงานวิจัยในด้านที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพของค่าแรงดึง (Tensile strength) ของล้อยอุมิเนียมและการทดสอบความล้าของวัสดุ

2.1 งานเขียนที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 งานเขียนที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณสมบัติของค่าทนแรงดึง

(Tensile strength)

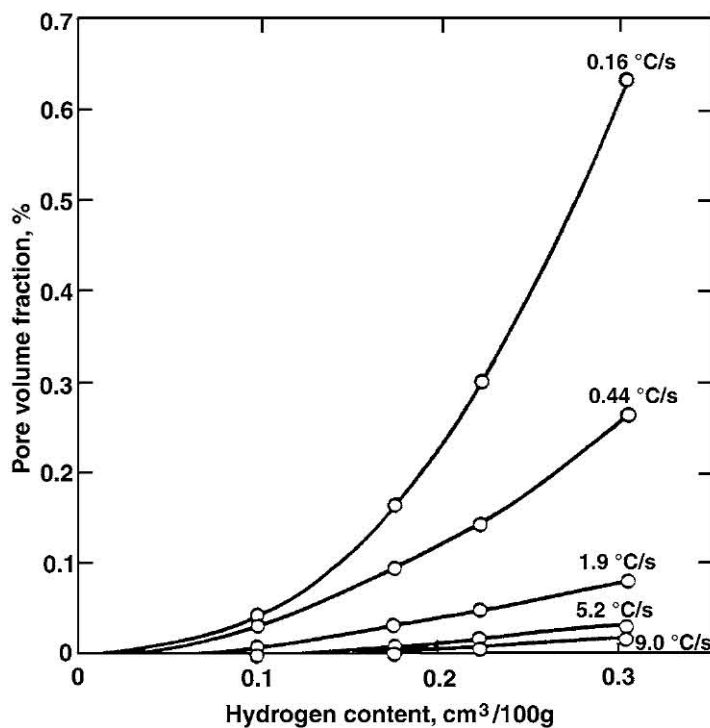
งานเขียนที่นำเสนอเกี่ยวกับตัวแปรที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทนแรงดึง (Tensile properties) (Gruzleski&Closset,1990) อันประกอบไปด้วย solidification rate, casting soundness, heat treatment (solutionizing, quenching and aging), eutectic modification and magnesium content และนำเสนอดัชนีวัดคุณภาพ(Quality Index;Q) ที่เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของวัสดุ(Ultimate Tensile Strength;UTS) และค่าการยืดตัวของวัสดุ Elongation สำหรับอัลลอย 356 ที่ผ่านการอบชุบ (Heat treatment 356 alloys) ออกมาเป็น $Q = UTS + (150)\log \text{ elongation}$ โดยหน่วยของดัชนีวัดคุณภาพก็คือ MPa หรือ ksi ซึ่งเป็นหน่วยเดียวกับค่า Ultimate Tensile Strength



ภาพที่ 2.1

Relationship Ultimate Tensile Strength, Elongation, Yield Strength and Quality index
for an Al-7% Si-Mg alloy

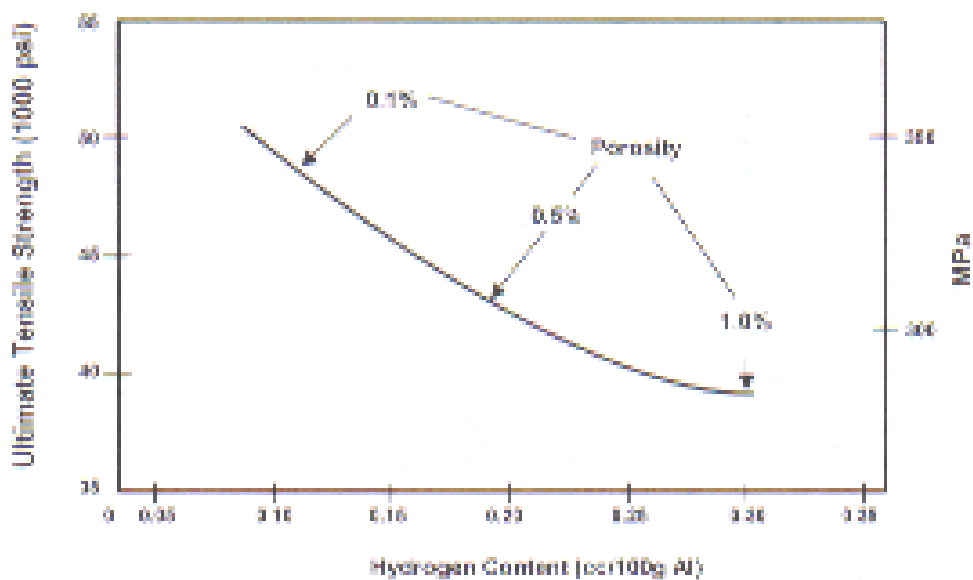
งานเขียนที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของปริมาณของแก๊สไฮโดรเจนต่อคุณสมบัติของค่าทนแรงดึง (Tensile properties) (Gruzleski & Closset, 1990) โดยทำให้ค่าดังกล่าวลดลงเนื่องจากแก๊สไฮโดรเจนจะทำให้เกิดรูโพรง (Porosity) ในชิ้นงานหล่อ โดยปริมาณของแก๊สไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของปริมาตรของรูโพรง (Pore volume fraction) ที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของการเปลี่ยนอัตราการระบายที่เพิ่มขึ้นในระดับของแก๊สไฮโดรเจนที่แตกต่างกันจะทำให้เปอร์เซ็นต์สัดส่วนของปริมาตรของรูโพรงที่เกิดขึ้นลดลงอย่างมาก ซึ่งจากผลของเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของปริมาตรของรูโพรงที่เปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อค่าทนแรงดึง (Tensile properties) เกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย



ภาพที่ 2.2

Hydrogen content, pore size and cooling rate relationships.

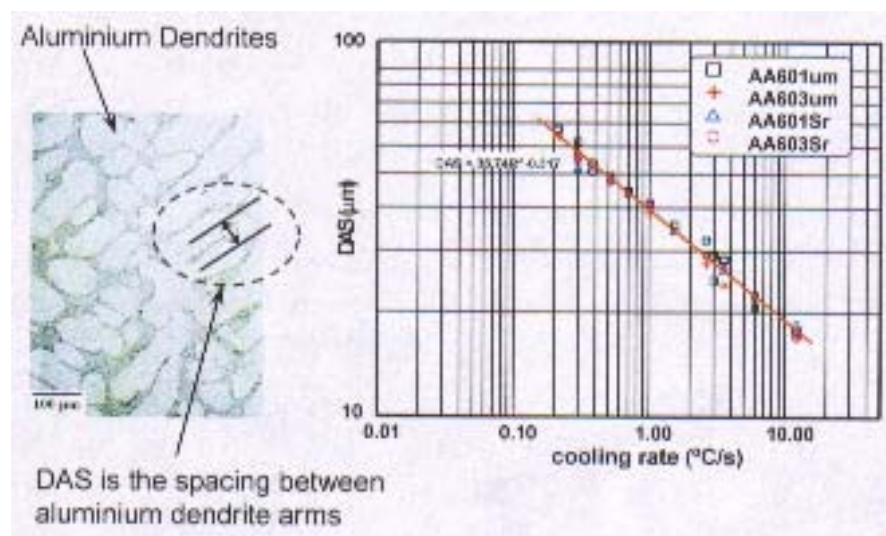
งานเขียนที่แสดงถึงผลกระทบของปริมาณไฮโดรเจนต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (Ultimate tensile strength) โดยที่ปริมาณไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าของ Ultimate tensile strength ลดลงดังแสดงในกราฟในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3

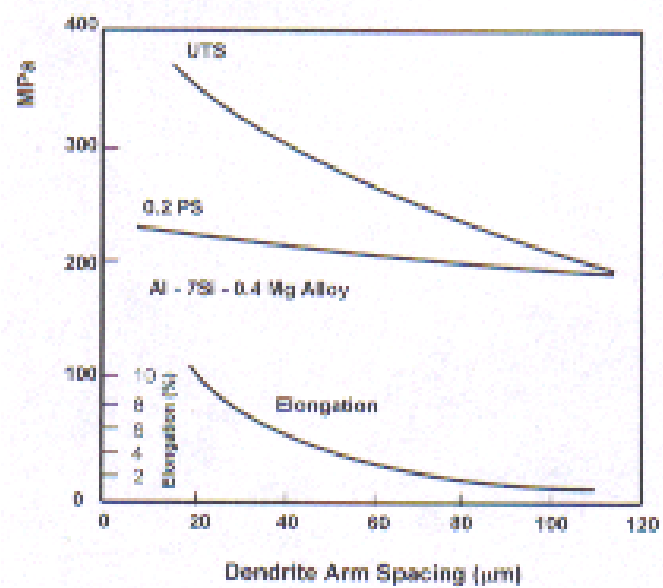
ผลกระทบของปริมาณไฮโดรเจนที่ระดับต่างๆต่อค่าความแข็งแรงต่อนแรงดึง(Tensile strength)

งานเขียนเกี่ยวกับอัตราการระบายความร้อน (Cooling rate) โดยจะเห็นว่าอัตราการระบายความร้อนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ขนาดของเกรนอลูมิเนียม (DAS) ลดลง (Gruzleski&Closset,1990) ดังกราฟที่แสดงใน ภาพที่ 2.4 และจากผลของค่าขนาดของเกรนอลูมิเนียมที่ลดลงส่งผลทำให้ทำให้ค่าความแข็งแรง (Strength) และค่าการยืดตัว (Elongation) เพิ่มขึ้นตามไปด้วยและตารางในภาพที่ 2.4 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าถ้าใช้อัตราการระบายความร้อนที่สูงจะให้ขนาดของเกรน (DAS) ที่เล็ก ดังกราฟที่แสดงใน ภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.4

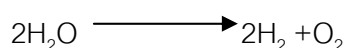
Dendrite Arm spacing (DAS) ที่ระดับ Cooling rate ที่แตกต่างกัน



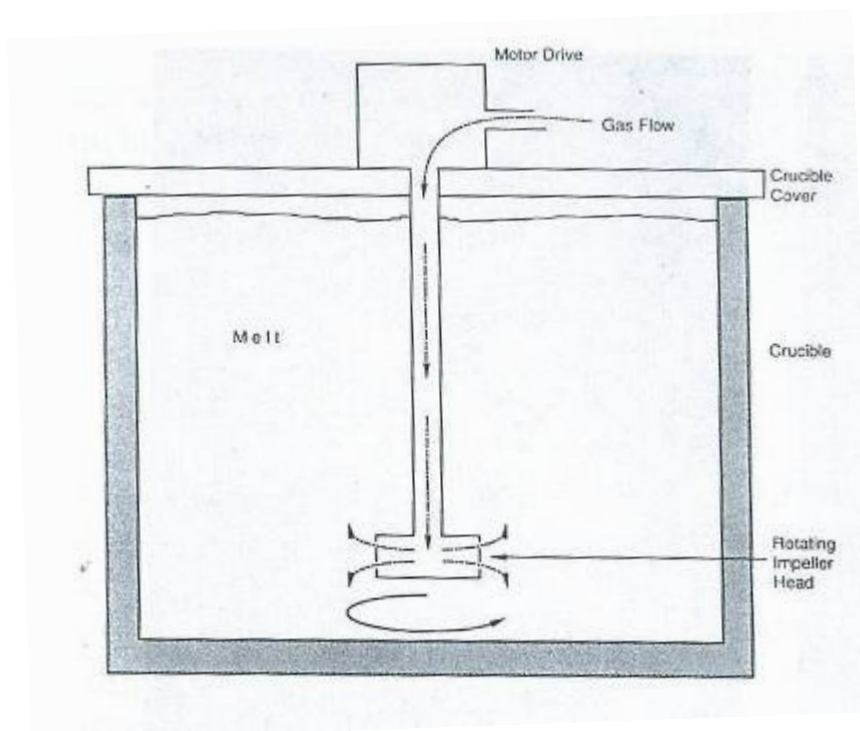
ภาพที่ 2.5

Effect of DAS on Tensile strength

งานเขียนเกี่ยวกับกระบวนการไล่แก๊ส (Gruzleski&Closset,1990) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการลดปริมาณไฮโดรเจนในน้ำอลูมิเนียมหลังจากกระบวนการหลอม โดยปริมาณไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นมาจากปริมาณความชื้นของอากาศ ความชื้นของวัตถุดิบที่นำมาใช้ รวมถึงความชื้นจากเครื่องมือ อุปกรณ์ และจากผนังเตาหลอมที่ทำจากอิฐทนความร้อนที่พูนอยู่ หลักการเกิดแก๊สไฮโดรเจนจะเกิดโดยความชื้นในอากาศจะทำให้เกิดการแตกตัวดังสมการเคมีด้านล่างและแก๊สไฮโดรเจนละลายในน้ำอลูมิเนียมซึ่งส่งผลให้จะต้องทำการไล่แก๊ส (Degassing) ก่อนเพื่อลดปริมาณแก๊สไฮโดรเจนในน้ำอลูมิเนียมที่ก่อให้เกิดรูพูนในชิ้นงานหลังจากการแข็งตัว



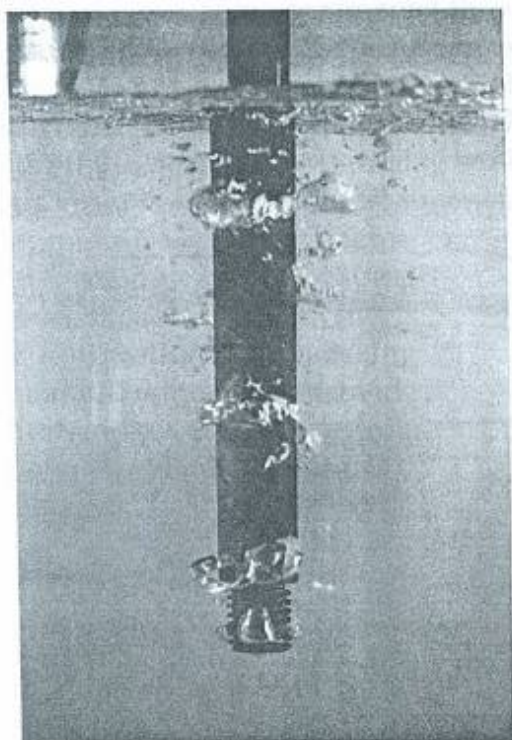
โดยที่ขั้นตอนขบวนการไล่แก๊สเริ่มจากเครื่องจะทำการลำเลียงแก๊สที่ใช้ในการไล่แก๊สซึ่งอาจจะเป็นแก๊สอาร์กอนหรือไนโตรเจน หลังจากนั้นตัวมอเตอร์จะทำการหมุนตัวโรเตอร์ (Rotor) ที่มีตัวหัวใบพัด (Impeller) ซึ่งช่วยในการกระจายแก๊สไนโตรเจนและลดขนาดของแก๊สไฮโดรเจนซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการไล่แก๊สไฮโดรเจนในน้ำอลูมิเนียมดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6

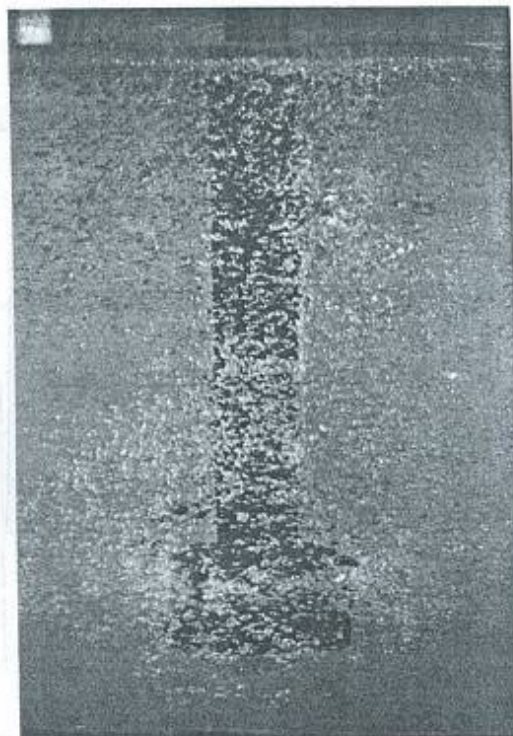
Rotary impeller degasser

จากข้อมูลงานเขียนที่ได้ศึกษาจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการไล่แก๊สระหว่างตัวโรเตอร์ที่มีและไม่มีตัวใบพัด โดยที่ตัวโรเตอร์ที่มีใบพัดจะทำให้เกิดฟองที่มีขนาดใหญ่ ดังภาพที่ 2.7 ส่วนในกรณีที่ตัวโรเตอร์ที่มีใบพัดจะทำให้เกิดฟองแก๊สที่มีขนาดเล็ก ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่2.7

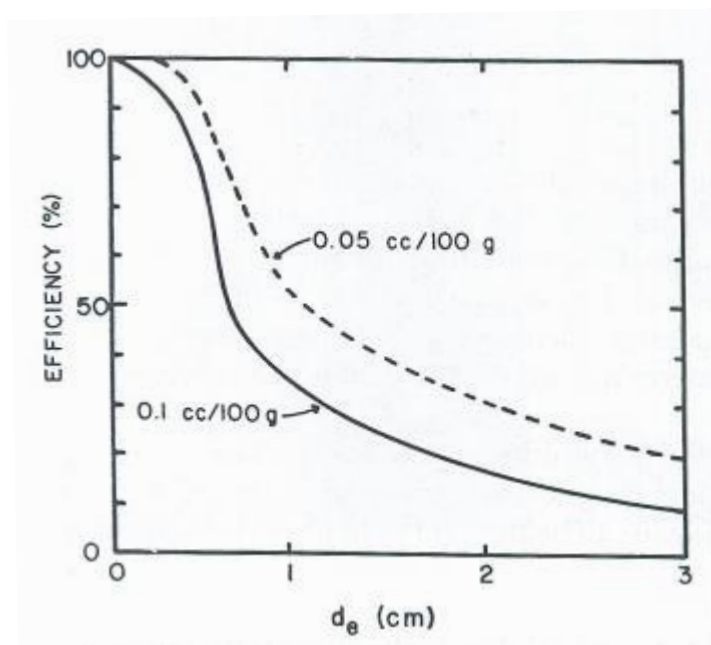
Large bubbles produced by use of
a graphite lance



ภาพที่2.8

Fine bubbles produced by use
a rotary impeller

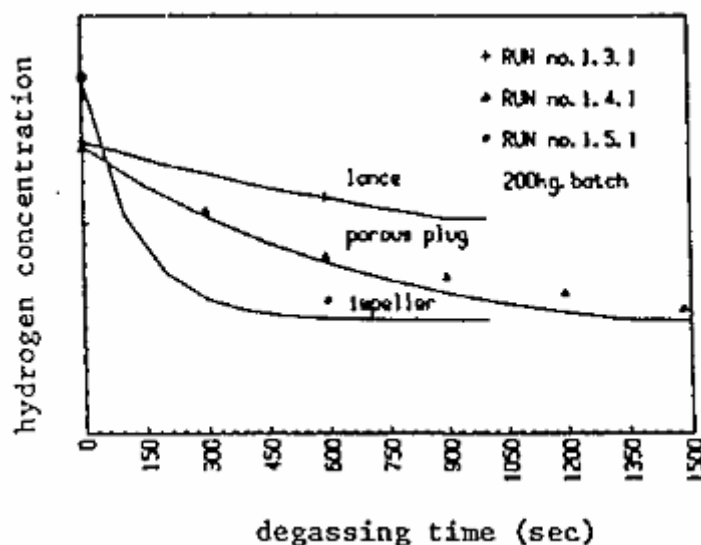
โดยจากงานเขียนที่ผ่านมาได้มีการศึกษาผลของขนาดของฟองแก๊สที่เกิดขึ้น จะพบว่าขนาดของฟองแก๊สที่มีขนาดเล็กจะเพิ่มประสิทธิภาพของการไล่แก๊สไฮโดรเจนดังรายละเอียดที่แสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9

Bubble size for two melt hydrogen concentration

ซึ่งนอกจากขนาดของฟองแก๊สที่ใช้ในการไล่แก๊ส เวลาที่ใช้ในการไล่แก๊สจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการไล่แก๊สโดยเวลาที่ไม่เพียงพอจะส่งผลต่อปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่ยังคงเหลืออยู่ในน้ำอลูมิเนียม แต่การที่ใช้เวลาในการไล่แก๊สที่มากเกินไปจะส่งผลดีต่ออุณหภูมิอลูมิเนียม คือทำให้อุณหภูมิอลูมิเนียมต่ำลงแล้ว ยังไม่ทำให้ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนลดลง โดยสามารถดูได้จากภาพที่ 2.10 แสดงปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เวลาที่ใช้ในการไล่แก๊สต่างกัน



ภาพที่ 2.10

ปริมาณของแก๊สไฮโดรเจนเมื่อใช้โรเตอร์ที่มีตัวใบพัด (Impeller) ที่ปลาย
ที่เวลาการไล่แก๊สที่เปลี่ยนไป

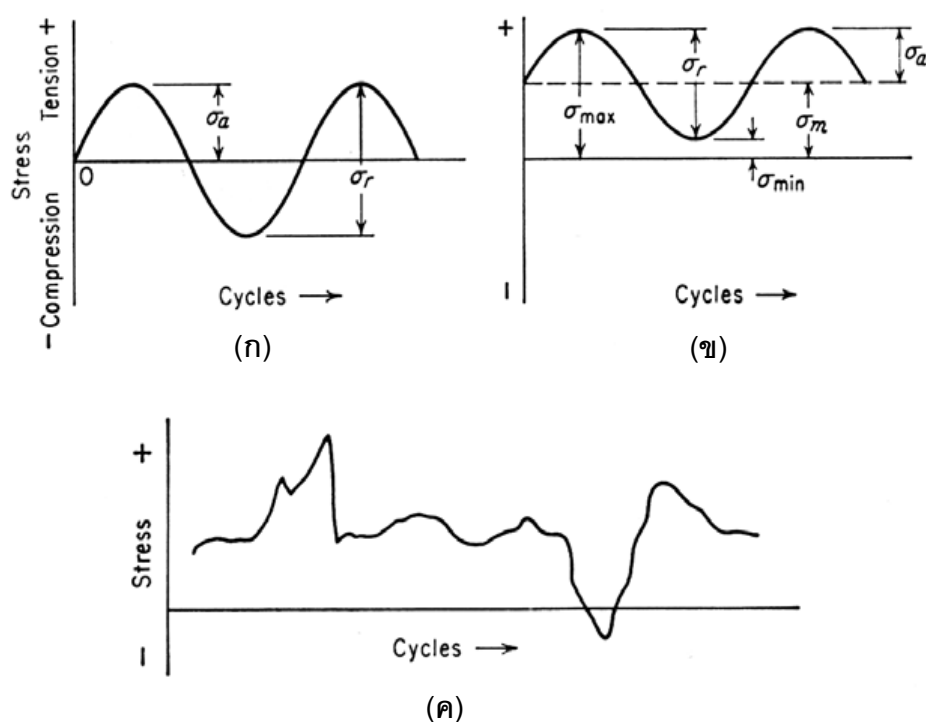
2.1.2 งานเขียนที่เกี่ยวข้องกับความล้าของวัสดุ(Fatigue)

งานเขียนเกี่ยวกับความล้า(ชาวสวน กาญจน์มัย) โดยความล้าเกิดขึ้นเมื่อให้แรงที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือทิศทางเข้าไปมา (dynamic loading) กับชิ้นงานในช่วงเวลาหนึ่ง จะทำให้ชิ้นงานขาดได้ง่ายกว่าการให้แรงที่มีค่าคงที่ (static loading) โดยเราเรียกความเสียหายที่เกิดจาก dynamic loading นี้ว่า การล้า (fatigue failure) ซึ่งลักษณะของ dynamic loading นี้มีให้เห็นได้ในชีวิตประจำวันทั่วไป เช่น เพลารถยนต์, ใบพัดเครื่องบิน, เครื่องจักรต่างๆ เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันพบว่าความเสียหายทางกลที่เกิดขึ้นเป็นความเสียหายแบบการล้ามากกว่าร้อยละ 90 โดยทั่วไปการล้าจะมีอันตรายมากกว่าความเสียหายเชิงกลแบบอื่นๆ เนื่องจากสามารถเกิดขึ้นโดยไม่มีสัญญาณใดๆ เตือนล่วงหน้าก่อน ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับการแตกหักแบบเปราะ (brittle fracture) คือ ชิ้นงานจะเสียหายในทันทีโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation) ให้เห็นอย่างชัดเจนก่อน โดยความเสียหายจะเริ่มจากการเกิดรอยร้าว (crack) ขึ้นเล็กน้อย และขยายตัวออกไปเรื่อยๆ จนชิ้นงานสูญเสียสภาพในการใช้งานในที่สุด ซึ่งจุดที่มักเป็นจุดเริ่มต้นของรอยร้าวคือ บริเวณที่มี stress concentration สูง เช่น ตามขอบมุม ตามขอบคม หรือรอยเชื่อม เป็นต้น โดยปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับความล้า คือ ลักษณะของภาระที่มากกระทำ (elastic หรือ plastic deformation), ความเครียดสูงสุดและต่ำสุด (maximum and minimum stress), เอ็มพลิจูด

ความเครียด (stress amplitude), จำนวนรอบของภาระที่มากกระทำ นอกจากนี้ อุณหภูมิ, การสึกกร่อน, ความไม่สมบูรณ์ทางโครงสร้างของวัสดุ ก็เป็นปัจจัยที่สนับสนุนให้เกิดความเสียหายเนื่องจากความล้าทั้งสิ้น

ชนิดของความเครียดที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาด และทิศทาง ซึ่งเป็นสาเหตุความล้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. ความเครียดแบบคลื่นโดยขนาดของความเครียดสูงสุดและต่ำสุดจะเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม ดังภาพที่ 2.11 ก
2. ความเครียดแบบคลื่นโดยทิศทางของความเครียดสูงสุดและต่ำสุด มีทิศทางเดียวกัน ดังภาพที่ 2.11 ข
3. ความเครียดแบบซับซ้อน โดยไม่มีรูปแบบที่แน่นอน เช่น แรงที่กระทำบนปีกเครื่องบิน ซึ่งมีแรงมากกระทำไม่คงที่ ทั้งขนาด และทิศทาง โดยไม่สามารถคาดเดาลักษณะของแรงได้ ดังภาพที่ 2.11 ค



ภาพที่ 2.11

รูปแบบของความเครียดต่างๆ ที่ทำให้เกิดการล้า (fatigue)

จากรูปเราสามารถพิจารณาความเครียดเป็นส่วน ๆ ได้โดย

$$\sigma_r(\text{stress range}) = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \quad (1)$$

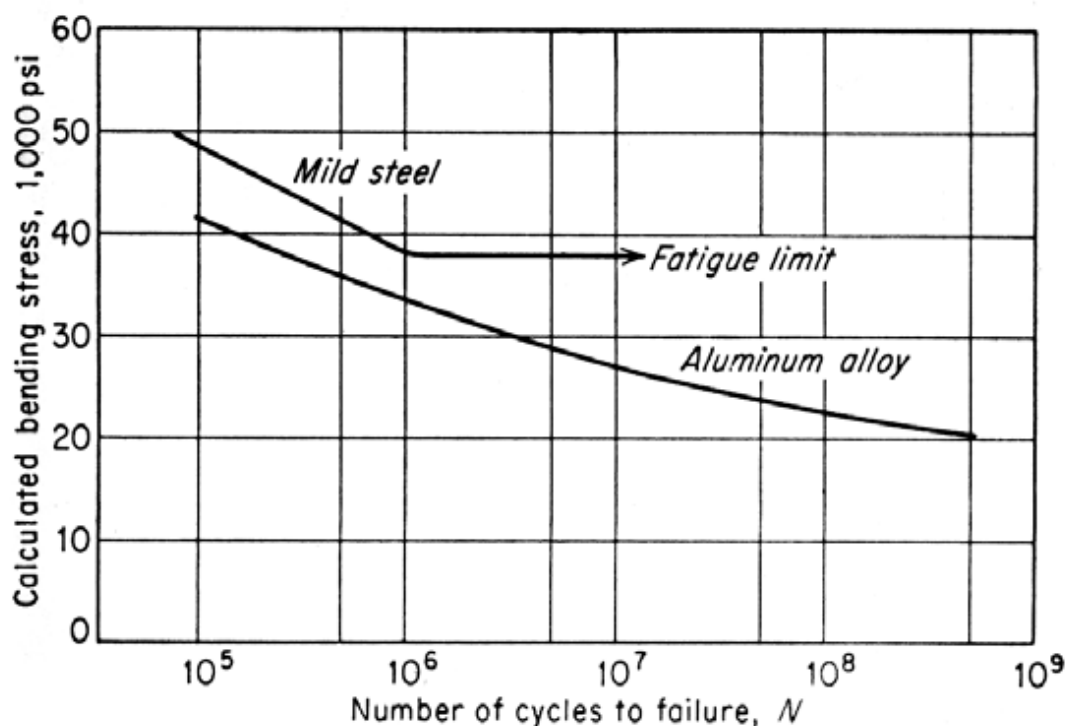
$$\sigma_a(\text{stress amplitude}) = \sigma_r / 2 = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2 \quad (2)$$

$$\sigma_m(\text{mean stress}) = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) / 2 \quad (3)$$

$$R(\text{stress ratio}) = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} \quad (4)$$

$$A(\text{amplitude ratio}) = \sigma_a / \sigma_m = (1-R) / (1+R) \quad (5)$$

ข้อมูลของการทดสอบการล้าสามารถแสดงได้โดยใช้ ความสัมพันธ์ระหว่างภาระกับจำนวนรอบที่เกิดความเสียหาย (อายุล้า) หรือ S-N Curve โดยจำนวนรอบที่เกิดความเสียหาย (N_f) จะแสดงบน log scale กับค่าภาระที่ทำให้เกิดความเสียหาย โดยอาจจะใช้ σ_r , σ_a หรือ σ_m ก็ได้ ในการบันทึกค่า S-N Curve มักจะพิจารณาความเสียหายของความล้า โดยเริ่มต้นที่ภาระสูงๆ ซึ่งจะส่งผลให้ $N_f > 10^5$ รอบ และอายุล้าจะมีแนวโน้มลดลงตามการลดลงของความเครียด ดังภาพที่ 2.12 สำหรับเหล็กจะพบว่า S-N Curve จะลดลงจนอยู่ในแนวระดับ เมื่อความเครียดลดลงจนถึงขีดจำกัดค่าหนึ่ง ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเมื่อความเครียดลดลงจนต่ำกว่าขีดจำกัดนี้แล้ว วัสดุสามารถรับความเครียดค่านี้ได้โดยไม่เกิดความเสียหาย เราเรียกขีดจำกัดนี้ว่าขีดจำกัดการล้า (fatigue limit หรือ endurance limit) แต่สำหรับวัสดุที่ไม่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบ (nonferrous material) พบว่า S-N Curve จะลดลงเรื่อยๆ โดยไม่เข้าสู่แนวระดับ ดังนั้นวัสดุประเภทนี้จึงไม่มีค่า fatigue limit ที่แท้จริง แต่สามารถกำหนดให้ความเครียดที่วัสดุสามารถรับได้ โดยไม่เกิดความเสียหายที่ 10^8 รอบ เป็น fatigue limit



ภาพที่ 2.12

ความสัมพันธ์ระหว่าง fracture stress กับ จำนวนรอบที่ทำให้เกิดความเสียหาย

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณสมบัติของค่าทนแรงดึง(Tensile strength)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดขนาดของเกรนของอลูมิเนียม(Grain refinement) (Wang,He,Sun & Guo,2003) โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งมีผลกระทบต่อ Tensile properties เป็นการวิจัยในเรื่องของ Grain refinement of Al-Si alloy (A356) by thermal treatment. ซึ่งเป็นการศึกษาการใช้อัตราการระบายความร้อนสูงเพื่อทำเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งมีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกล(Mechanical properties) และโครงสร้างของไฮเปอร์ยูเทคติก (Hypereutectic) อลูมิเนียม-ซิลิกอน อัลลอย (A356) โดยขนาดโครงสร้าง Primary dendrite (เดนไดรต์ปฐมภูมิ) และ Secondary dendrite (เดนไดรต์ทุติยภูมิ) ที่ละเอียดจะเกิดจากการใช้อัตราการระบายความร้อนสูงๆ (Optimal cooling rate) โดยที่ตัวแปรที่เหมาะสม สามารถหา

จากการใช้วิธีการออกแบบการทดลองตามแผนผังการทดลอง (Orthogonal Experiment) จะได้ค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดคือ อุณหภูมิที่ระดับสูง (high temperature) อยู่ที่ 1223 K และ อุณหภูมิที่ระดับต่ำ (Low temperature) ที่ 873 K และชนิดของการผสมแบบ multi-hole top ส่งผลให้ค่า Tensile strength เพิ่มขึ้น 8.6 % และค่าอัตราการยืดตัว (Elongation) เพิ่ม 46.2 %

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดขนาดของเกรนของอลูมิเนียม (Grain refinement) (Venkateswarlu, Murty & Chakraborty, 2003) โดยอาศัย Master alloy เป็นตัวเพิ่มประสิทธิภาพของการลดขนาดของเกรนอลูมิเนียม ซึ่งทำการศึกษาในหัวข้อเรื่อง Effect of hot rolling and heat treatment of Al-5Ti-1B master alloy on the grain refining efficiency of aluminum. โดยอธิบายไว้ว่า Master alloy Al-5Ti-1B ที่ใส่ลงไปจะทำให้ในอลูมิเนียมจะเป็นตัวเพิ่ม TiAl_3 และ TiB_2 ซึ่งเป็นนิวเคลียสส่งผลทำให้เกิด grain refine เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ในส่วนของ Yield strength and toughness

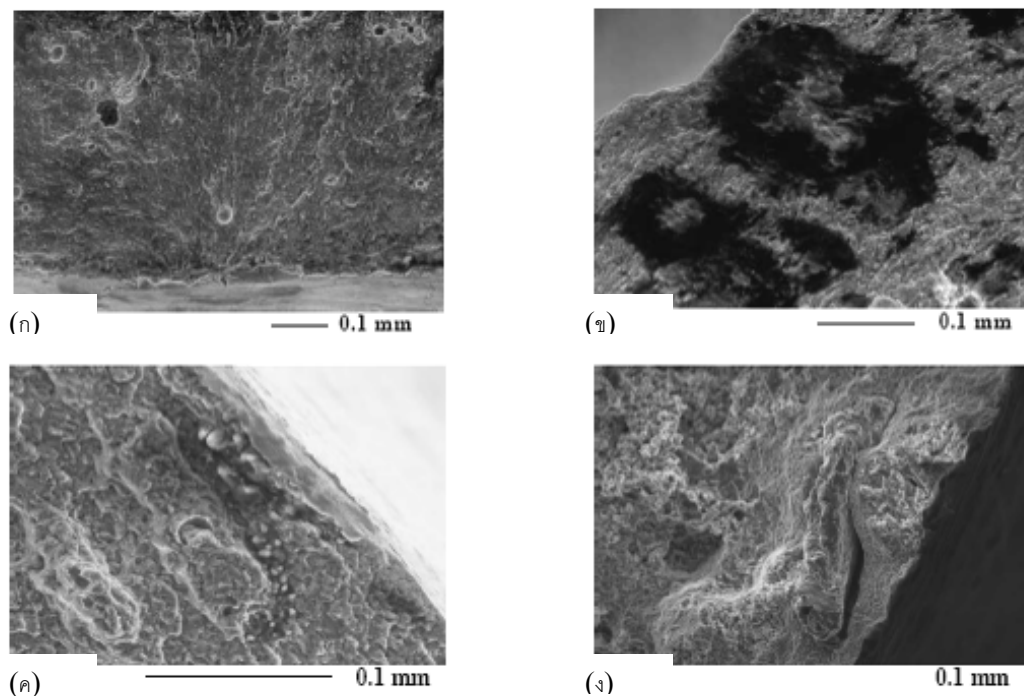
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปร่างของซิลิกอน (Silicon modify) สำหรับอลูมิเนียม-ซิลิกอนอัลลอย (A356) (Orgis, Wahlen, Luchinger & Uggowitzer, 2002) ซึ่งศึกษาในหัวข้อเรื่อง On the silicon spheroidization in Al-Si alloys ซึ่งอธิบายไว้ว่า ซิลิกอนที่มีรูปร่างวงกลมเกิดจากกระบวนการอบชุบแบบ T6 (Solution, Quenching and Aging) ทำให้ Elongation เพิ่มขึ้น 18 % และ Yield strength มีค่าอยู่ที่ประมาณ 230 MPa โดยที่ใช้วิธีการของการทำให้ซิลิกอนมีรูปร่างเป็นวงกลม (Silicon Spheroidization treatment) คือใช้การอบชุบแบบ T6 โดยอยู่ใน solution ที่อุณหภูมิ 540 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ทำการจุ่ม (quenching) ในน้ำเย็น (cold water) และนำไป aging ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความล้าของวัสดุ (Fatigue)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่มีผลกระทบต่อระยะเวลาที่ทนความล้าของอลูมิเนียมในงานหล่อ (Mark, James & Morris, 2000) เป็นงานวิจัยหัวข้อเรื่อง The effect of microscopic inclusion locations and silicon segregation on fatigue lifetimes of aluminum alloy A356 casting ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความแตกต่างของโครงสร้างของอลูมิเนียมอัลลอย A356 ในแม่พิมพ์หล่อแบบถาวร (Permanent mold casting) มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการทนความล้า (Fatigue) ซึ่งระยะเวลาในการทนความล้าที่แตกต่างกันจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เกิดขึ้นในงานหล่อ โดยสภาพของงานหล่อเช่น อุณหภูมิงานหล่อ, ความแตกต่างของอุณหภูมิ

แม่พิมพ์,ความเร็วของ plunger และแรงดันของงานหล่อซึ่งจะมีผลกระทบต่ออัตราการแข็งตัว ตำแหน่งในการด้านทานความล้าจะเปลี่ยนแปลงตามทิศทางการแข็งตัวโดยที่ค่าของค่าของการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยโดยที่พบว่าค่าของการทนต่อแรงดึงจะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงแต่ความต้านทานความล้าจะขึ้นอยู่กับการเริ่มจากของรอยแตกเล็กๆ และขยายรอยแตกไปจนกระทั่งไปถึงจุดที่มีความเหนียวที่เพียงพอต่อการจำกัดรอยแตก ซึ่งจุดเริ่มของรอยแตกมาจากรูหรือสิ่งสกปรก ในทางเดียวกันยูเทคติกเฟสจะมีคุณสมบัติที่เปราะง่ายเช่นกัน ซึ่งโดยรวมแล้วพบว่าจุดเริ่มของรอยแตกแล้วของความล้าจะมาจากบริเวณที่มีปริมาณสัดส่วนของ ยูเทคติกเฟส และปริมาณของรูพรุนที่สูงๆ

งานวิจัยที่ศึกษาจุดเริ่มของการเกิดรอยร้าวขณะที่มีแรงกระทำให้เกิดความล้า จะเริ่มจากจุดที่มีความบกพร่องของงานหล่อ (Avalue,Belinggardi&Cavatorta) โดยลักษณะของความบกพร่องของงานหล่อมียหลายแบบอันได้แก่ แบบที่1 คือ Gas cavities ดังภาพที่ 2.13 (ก) ซึ่งความบกพร่องอันเนื่องมาจากมีปริมาณแก๊สไฮโดรเจนในน้ำอลูมิเนียมที่มากเกินไป แบบที่ 2 Dross ดังภาพที่ 2.13 (ข) ซึ่งความบกพร่องอันเนื่องมาจากปริมาณสิ่งสกปรกที่หลงเหลืออยู่ในอลูมิเนียมหลุดเข้าไปในชิ้นงาน แบบที่ 3 (ค) Cold fills ดังภาพที่ 2.13 (ค) ซึ่งความบกพร่องอันเนื่องมาจากอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ต่ำเกินไปในกระบวนการหล่อ แบบที่4 Alumina skins ดังภาพที่ 2.13 (ง) ซึ่งความบกพร่องอันเนื่องมาจากอลูมิเนียมสัมผัสกับอากาศเกิดเป็นฟิล์มออกไซด์แล้วไหลเข้าไปในชิ้นงานระหว่างกระบวนการหล่อ



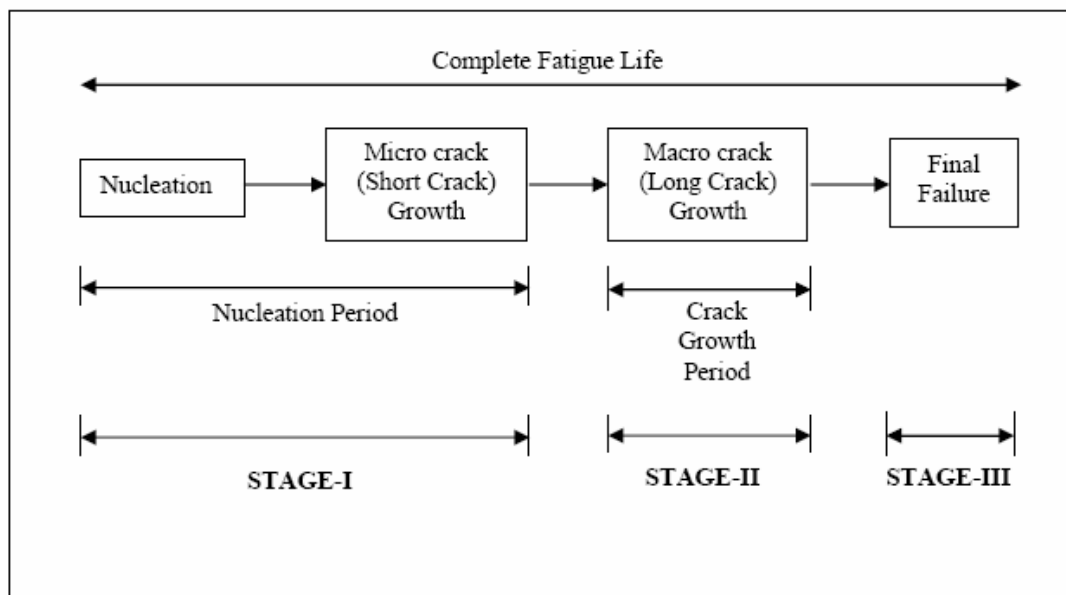
ภาพที่ 2.13

จุดเริ่มของรอยแตกจากความล้าที่มีสาเหตุมาจากความบกพร่องของงานหล่อ

(ก) Gas cavities(150X), (ข) Dross(250X), (ค) Cold fills(500X), (ง) Alumina skins(140X)

ความบกพร่องทั้งหมดที่กล่าวมาจะทำให้ชิ้นงานบริเวณดังกล่าวมีคุณสมบัติที่ด้อยกว่าจุดอื่นและเป็นบริเวณที่สะสมความเค้นเมื่อมีแรงมากระทำ ส่งผลให้บริเวณดังกล่าวไม่สามารถทนแรงกระทำได้จึงเกิดรอยร้าวขึ้นและขยายใหญ่ขึ้นจนกระทั่งชิ้นงานขาดออกจากกัน

งานวิจัยที่ทำการศึกษาถึงกระบวนการแตกหักจากความล้า (*Literature survey on the fatigue properties of aluminium cast wheels*) สามารถแสดงรายละเอียดแผนผังไดอะแกรมดังภาพที่ 2.14 โดยที่ขั้นตอนการแตกหักจากความล้าแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่ 1 เป็นช่วงที่เริ่มจากจุดเล็กๆ ค่อยๆ โตขึ้น ขั้นตอนที่ 2 ซึ่งเป็นช่วงที่รอยร้าวเริ่มขยายใหญ่ขึ้น ขั้นตอนที่ 3 เป็นช่วงสุดท้ายของการแตกร้าว



ภาพที่ 2.14

แผนผังไดอะแกรมแสดงช่วงเวลาของอายุรวมของความล้า

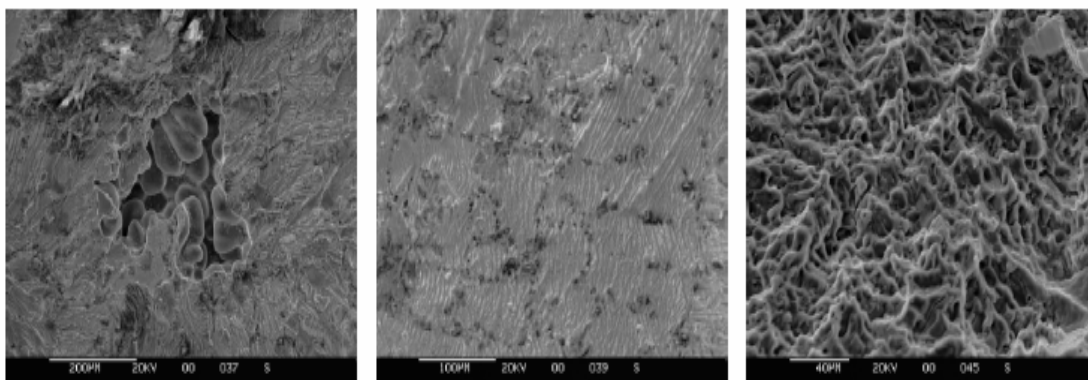
จากแผนผังไดอะแกรมจะพบว่าอายุของการทนความล้าเกี่ยวข้องกับความบกพร่องของชิ้นงานหลัก 2 ระดับคือ ที่ระดับเล็กๆ (Microscopic) ซึ่งจะส่งผลต่อการแตกร้าวในขั้นตอนที่ 1 และ ที่ระดับที่ใหญ่ขึ้น (Macroscopic) ซึ่งจะส่งผลต่อการแตกร้าวในขั้นตอนที่ 2

- ความบกพร่องระดับเล็กๆ (Microscopic) ซึ่งเป็นขนาดของความบกพร่องที่เล็กกว่าขนาดของเกรน ซึ่งประกอบไปด้วย สิ่งเจือปน, รูพรุนจากแก๊สและขนาดอนุภาคของยูเทคติก ซึ่งความบกพร่องทั้งหมดจะส่งผลต่อกระบวนการแตกร้าวจากความล้าในขั้นตอนที่ 1

- ความบกพร่องระดับที่ใหญ่ขึ้น (Macroscopic) ซึ่งเป็นขนาดของความบกพร่องที่ใหญ่กว่าขนาดของเกรน ซึ่งประกอบไปด้วย สิ่งเจือปน, รูพรุนจากแก๊ส, ขนาดของเกรน และคุณภาพของพื้นผิว ซึ่งความบกพร่องทั้งหมดจะส่งผลต่อกระบวนการแตกร้าวจากความล้าในขั้นตอนที่ 2 ซึ่งเป็นช่วงที่รอยร้าวเริ่มขยายใหญ่ขึ้น และขั้นตอนที่ 3 เป็นช่วงสุดท้ายของการแตกร้าว

งานวิจัยซึ่งแสดงขั้นตอนการแตกร้าวของชิ้นงานที่รับความล้า (Rosso, 2005, pp.550) สามารถดูรายละเอียดได้จากภาพที่ 2.15 โดยที่จุดเริ่มของการแตกร้าวสามารถดูได้จากภาพที่ 2.15 (ก) หลังจากเริ่มมีการแตกร้าวไปสักระยะหนึ่งก็จะมีรอยขยายตัวของรอยร้าวดังภาพที่ 2.24 (ข) โดยลักษณะผิวงานที่เกิดขึ้นจะมีการเสียดสี พอหลังจากมีการขยายตัว

จนกระทั่งชิ้นงานจะขาดออกจากกัน รอยขาดสุดท้ายจะมีลักษณะดังภาพที่ 2.15(ค) โดยมีลักษณะปริออกจากกันไม่มีการเสียดลี



(ก)

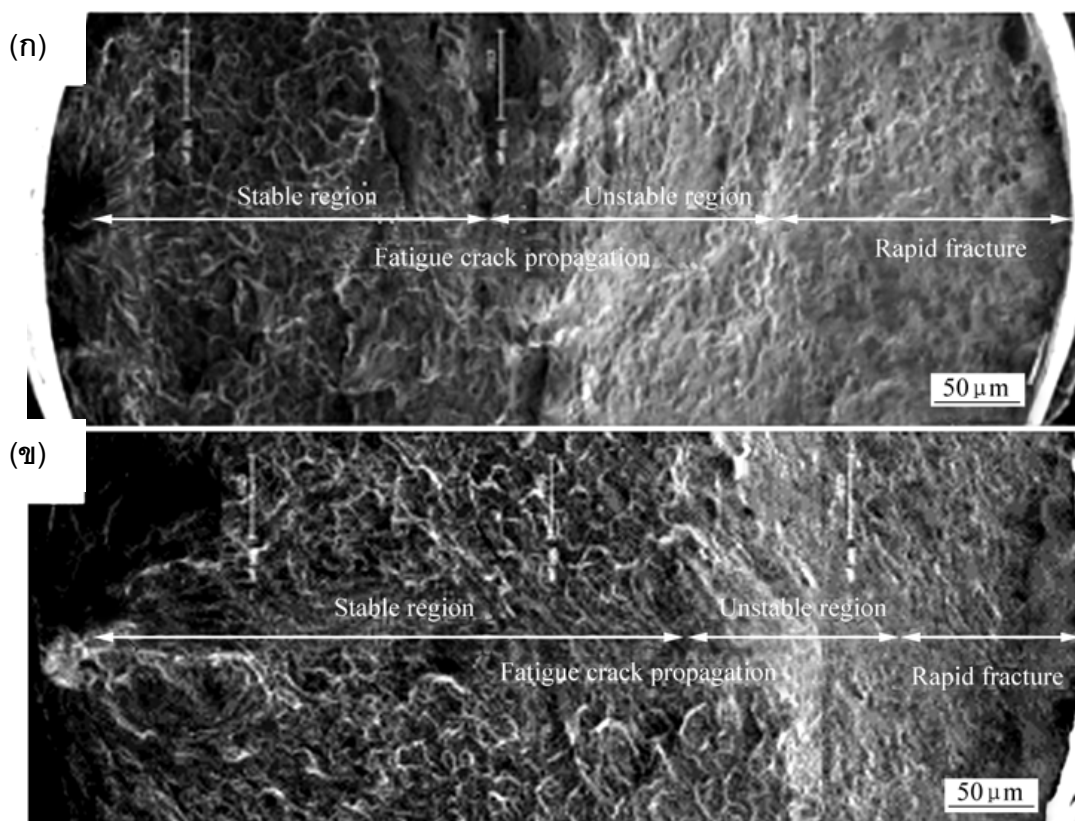
(ข)

(ค)

ภาพที่ 2.15

รอยร้าวหลังการทดสอบความล้าที่ใช้ระบบการผลิตแบบแรงดันต่ำและใช้แม่พิมพ์ถาวร
(ก) จุดเริ่มของรอยร้าว (ข) บริเวณที่รอยร้าวขยายตัว (ค) บริเวณแตกหักสุดท้าย

งานวิจัยที่ศึกษาขั้นตอนการแตกร้าวจากความล้าเมื่อเราให้เอนพลิจิตความเค้นที่แตกต่างกัน (Xue,Zhi-min,Bo,Li,Qing-lin&Feng,2007) คือที่ 400 MPa หรือค่าเอนพลิจิตความเค้นที่สูง และ 250 MPa ค่าเอนพลิจิต ความเค้นที่ต่ำ ผลที่เกิดขึ้นคือ การให้ค่าเอนพลิจิตความเค้นที่สูงจะให้ stable region ดังภาพที่ 2.16 (ก) น้อยกว่าการให้ค่าเอนพลิจิตความเค้นที่ต่ำ ดังภาพที่ 2.16 (ข)



ภาพที่ 2.16

ตัวอย่างรอยร้าวจากความล้าที่เอนพลิจูดความเค้นที่แตกต่างกัน

(ก) 400 MPa (ข) 250 MPa

จากงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่พบงานวิจัยใดที่ทำการศึกษาดัชนีตัวแปรต่างๆทั้งหมดที่มีผลกระทบต่อบริมาณไฮโดรเจนในน้ำออสโมเนียมซึ่งจะส่งผลต่อการเกิดตัวรูพรุนในชิ้นงาน ซึ่งผลของการเกิดรูพรุนในชิ้นงานจะกระทบต่อค่าคุณสมบัติของค่าความแข็งแรง (Strength) และค่าการยืดตัว (Elongation) และเมื่อนำชิ้นงานมีค่าทนแรงดึงที่สูงดังกล่าวมาหาทำการทดสอบความล้าเราก็จะได้จำนวนอายุของวัสดุที่สามารถทนทดสอบความล้าได้ที่ระดับแรงกระทำที่ระดับต่างๆ