



ปีการศึกษา 2533

การทดสอบหาค่าความทนทานต่อความเค้นดัดหมุน

ของอลูมิเนียมผสมหล่อ AC8A T5

โดย

1. นาย คำขุน คำวชิรนิทัศน์ รหัสประจำตัว 301032
2. นาย วรศักดิ์ ชุกติตพงษ์ รหัสประจำตัว 301234

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.พรศักดิ์ อรรณวนิช

การทดสอบหาค่าความทนทานต่อความเค้นดัดหมุนของอลูมิเนียม ผสมหล่อ AC8A T5

Rotating Bending Fatigue Strength Testing
for Casting Aluminium Alloy AC8A T5

โดย

นาย คำณู คำวชิรพิทักษ์ รหัสประจำตัว 301032

นาย วรศักดิ์ ชูกิตติพงษ์ รหัสประจำตัว 301234

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.พรศักดิ์ อรรธวานิช

วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิชาเขตเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง (028779)

บทคัดย่อ

อลูมิเนียมผสมหล่อ AC8A เป็นวัสดุที่ใช้สำหรับการทำหัวลูกสูบในมีจจุบัน ซึ่งส่วนหัวลูกสูบนี้ เป็นส่วนหนึ่งที่มีโอกาสเสียหายในลักษณะของ Fatigue Failure อยู่มาก เนื่องจากความดันที่แปรเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลาในห้องเผาไหม้ แต่ข้อมูลที่เกี่ยวกับ Fatigue Failure นี้ เป็นสิ่งที่มีอยู่ไม่มากนัก เนื่องจากต้องใช้เวลาและอุปกรณ์มาก โครงการนี้ จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาหาข้อมูลเพิ่มเติม เกี่ยวกับค่า Fatigue Strength ของอลูมิเนียม AC8A โดยในตอนแรก ตั้งจุดมุ่งหมายว่าจะทำการทดสอบที่อุณหภูมิใช้งานของ AC8A (คือค่าอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน) แต่ไม่สามารถทำได้ เนื่องจาก อุปกรณ์ที่ใช้กับการทดสอบที่อุณหภูมิสูงยังมีไม่พร้อม จึงได้ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้องแทน แต่ได้เพิ่มการทำ Heat Treatment เพื่อเพิ่มค่า Strength ให้กับชิ้นงานทดสอบ เพื่อได้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับค่าที่อุณหภูมิสูงมากขึ้น

Abstract

Aluminium Alloy AC8A is the material used for casting piston head. The piston head is one in which has high possibility to fail by fatigue, caused by fluctuating pressure in combustion chamber.

Fatigue Failure has very little data because of many instruments and long-time testing. So, this project was established for getting more data about fatigue strength of aluminium alloy AC8A esp. for the data at the operating temperature (temperature in combustion chamber of gasoline engine) at the beginning. But lacking of tools, so, testing at room temperature after Heat Treatment for strengthen the specimen.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
1) บทคัดย่อ	
2) สารบัญ	
3) บทนำ	1
4) ภาคทฤษฎี	2
5) การเตรียมชิ้นงานทดสอบ	11
6) การทดลอง	22
7) ผลการทดสอบ	28
8) สรุปผล & วิจารณ์	36
9) เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

Heat Resisting aluminium alloy AC8A เป็นวัสดุที่ใช้ผลิตลูกสูบของเครื่องยนต์สันดาปภายในกันอย่างแพร่หลาย ในขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน ปริมาตรของลูกสูบส่วนบนจะขยายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ (ขึ้นกับรูปร่าง และความหนาของส่วน piston head) เนื่องมาจากความร้อน ที่เกิดขึ้นจากกาซที่ลุกไหม้ จะเกิดขึ้นซ้ำ ๆ กันเป็นรอบ เป็นสาเหตุทำให้เกิด โมเมนต์ดัด (Bending moment) ที่ส่วน piston head ถ้าโมเมนต์ดัดสูงพอจะทำให้เกิด ความเค้นดัด (bending stress) ที่มากกว่า fracture strength และ strain limit โดยเฉพาะที่บริเวณ cavity (groove ring) ลูกสูบจะเกิดการร้าวและแตกหักได้

ความต้านทานต่อการล้า เนื่องจากการดัดเป็นรอบ the rotating bending fatigue strength เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญ ที่นำออกแบบเครื่องยนต์ ต้องพิจารณา เพื่อที่จะทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพสูงสุด

Fatigue of metal

fatigue failure คือการที่โลหะถูกกระทำด้วยแรงแปร (cyclic or fluctrating load) ซึ่งจะมีผลทำให้ ชิ้นงานเกิดการเสียหายที่ค่า stress ต่ำกว่า การกระทำภายใต้ load คงที่

ความสำคัญของการศึกษาเรื่อง fatigue failure ในปัจจุบัน เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตาม การพัฒนาของเทคโนโลยี เครื่องจักรกลต่างๆเช่น ยานพาหนะ , เครื่องบิน , คอมเพรสเซอร์ , ปัม หรือแม้แต่ turbine กว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของการเกิด failure เนื่องจากสาเหตุทาง กล มักจะเกิดเป็น fatigue failure

ปกติแล้ว fatigue failure สามารถที่จะสังเกตได้จาก fracture surface ของชิ้น งาน โดยเราจะเห็น fracture surface แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่ค่อนข้างเรียบ ซึ่ง เกิดจากการเสียดสีกัน ของพื้นผิว ขณะที่รอยแตกกำลังก่อตัวขึ้น และส่วนที่หยาบกว่า ซึ่งเป็นภาว เสียหายเนื่องจาก พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่เหลืออยู่ ไม่สามารถทนต่อ load ได้อีกต่อไป ($\sigma = F/A$; เมื่อ A ลดลง , σ ก็จะมีมากขึ้น)

สาเหตุสำคัญของการเกิด fatigue failure จำแนกได้เป็น 3 ประการ ดังนี้

1. maximum tensile stress ที่มีค่าสูงพอ
2. แรงแปรที่มีขนาดใหญ่หลายๆ ของ stress ที่มากระทำ
3. จำนวนไซเคิลที่มากพอ ของ stress ที่มากระทำ

นอกจากนี้ยังมีตัวแปรสำคัญอื่นๆ ที่เข้ามามีผลกระทบต่อ การเกิด fatigue failure อีก เช่น stress concentration , การสึกกร่อน (corrosion) , อุณหภูมิ , โอเวอร์ โหลด (overload) , metallurgical structure , residual stresses และ combined stress

Fatigue Test

การทดสอบ fatigue เป็นการทดสอบ ชนิดไดนามิค (dynamic type) เพื่อแสดงพฤติกรรม ของวัสดุ เมื่อได้รับแรงกระทำ เป็นรอบซ้ำ ๆ กัน

การทดสอบจะสร้างสภาพความเค้นที่เกิดขึ้น ในชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เนื่องจากแรงแปรกลับไปกลับมา , ขนาดของความเค้น , ชนิดของความเค้น (ความเค้นดึง , ความเค้นกด , ความเค้นดัด หรือ ความเค้นบิด) จะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ตามชนิดของเครื่องทดสอบ และแบบของ specimen

specimen จะถูกกระทำด้วยความเค้น 2 ค่า คนละครึ่งสลับกัน ค่าความเค้นที่มากที่สุดโดยปกติจะต่ำกว่าค่า yield strength ของวัสดุ ความเค้นแปรจะใช้ทดสอบจนกระทั่ง specimen แตกหัก (failure) หรือจนกระทั่งถึงจำนวนรอบที่จำกัดไว้

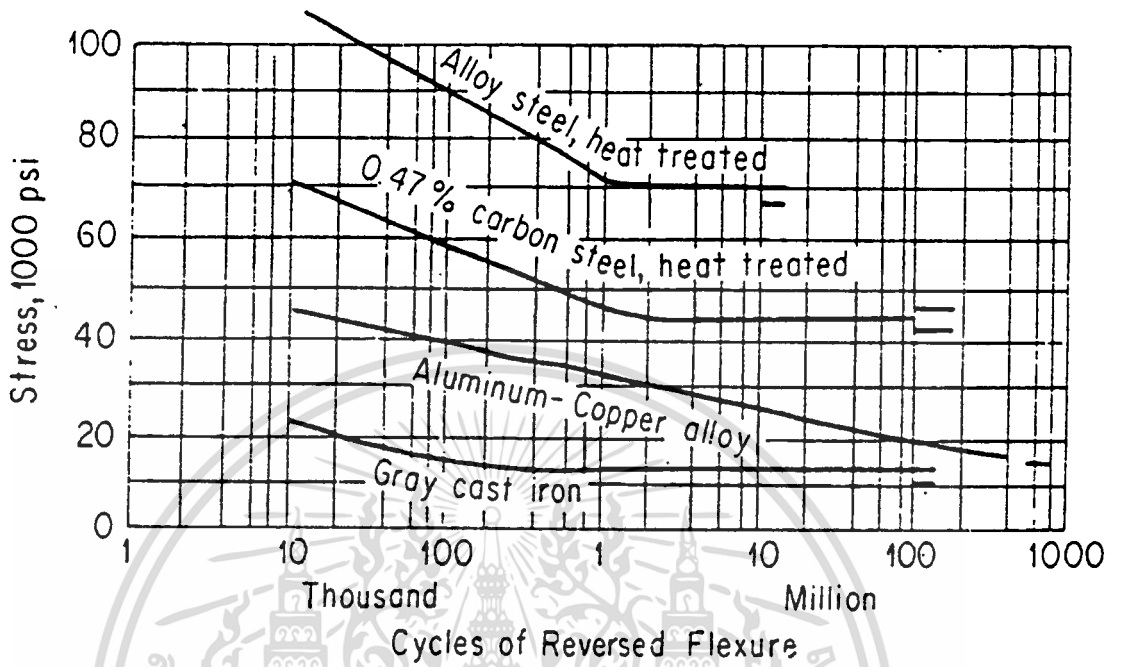
ผลการทดสอบทั้งหมด จะเขียนลงบน semilogarithmic scale มีค่าความเค้น S เป็นแกน y และ จำนวนรอบ N ที่วัสดุขาดหรือแตกหักเป็นแกน x

endurance limit ของวัสดุใด ๆ คือ ค่าความเค้นจำกัดสูงสุด ซึ่งถ้ามีค่าต่ำกว่าช่วงนี้แล้ว วัสดุจะสามารถทนความเค้นเป็นรอบได้ เป็นเวลานาน หรือเป็นรอบจำนวนมาก โดยปราศจากการแตกหัก ที่จุดนี้ในกราฟ $S-N$ curve กราฟจะขนานกับแกน x สำหรับโลหะเหล็ก ค่าความเค้นของจุดนี้ จะอยู่ประมาณ 10^7 รอบ

อย่างไรก็ตาม โลหะผสมที่ไม่ใช่เหล็ก (Non ferrous alloy) บางชนิด เส้นกราฟจะไม่เป็นเส้นตรง และ endurance limit จะกำหนดโดยการใช้ค่า stress ที่สามารถรับได้เมื่อใช้แรงกระทำตามจำนวนครั้งที่กำหนด

กราฟ $S-N$ โดยทั่วไปของ alloy-steel heat-treated , medium carbon steel heat-treated , aluminium-copper alloy และ gray cast iron แสดงในรูปที่ 1

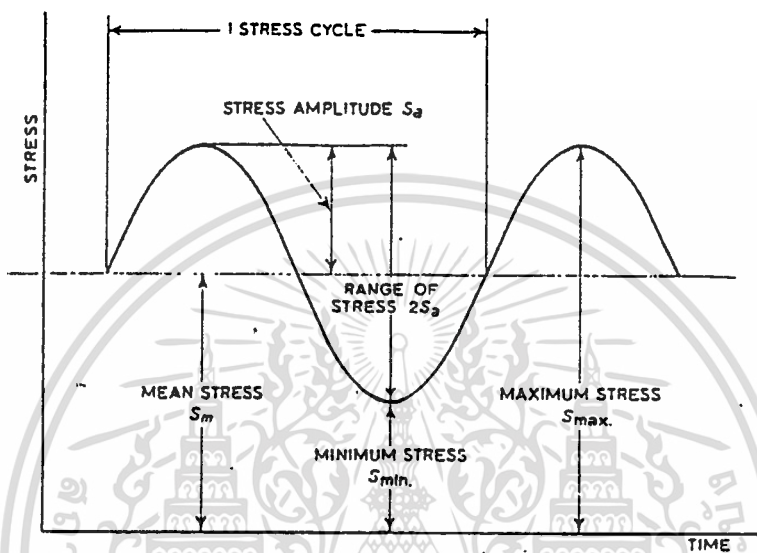
การทดสอบ fatigue นี้ ถูกใช้อย่างกว้างขวาง ในการศึกษาพฤติกรรมของวัสดุ ไม่เพียงแต่ลักษณะ หรือช่วงระยะของแรงแปร แต่ยังศึกษาถึง ผลกระทบของการผูกเรือน , ลักษณะของผิวหน้า , อุณหภูมิ , ขนาด และ stress concentration



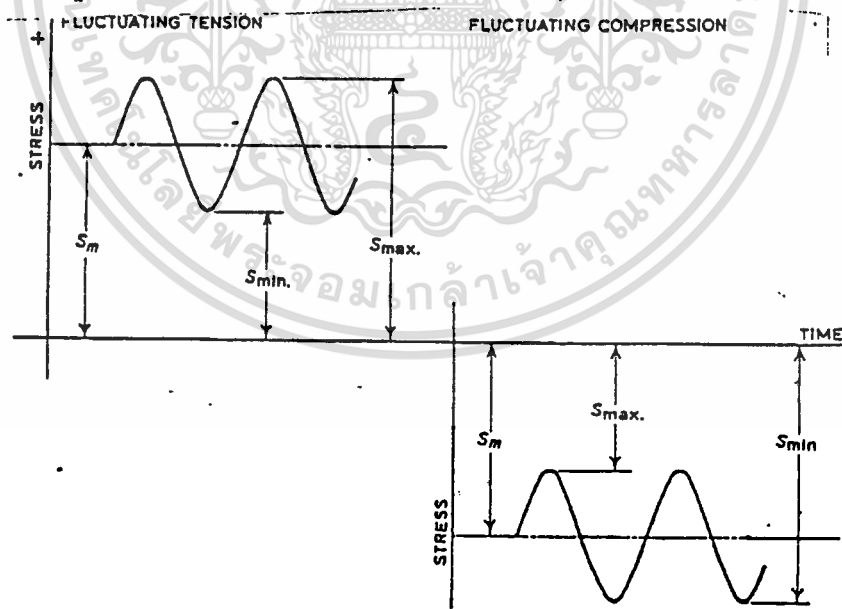
รูปที่ 1 : แสดงตัวอย่างของ S-N Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเรื่องของการล้านี้ สมมติว่ารูปแบบของความเค้น ที่กระทำต่อวัสดุมักเป็นแบบวัฏจักร (stress cycle) ซึ่งกระทำอย่างต่อเนื่องเพื่อจะคำนวณได้ เพราะในชิ้นงานทั่วไปแล้ว แรงจะเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่ไม่สามารถทราบได้อย่างแน่นอน



รูปที่ 2 : คาบของความเค้นในการตัดทอน



รูปที่ 3 : คาบของความเค้นในการตัดทอน (แสดงสัญญาณ)

จากรูปที่ 2 และรูปที่ 3

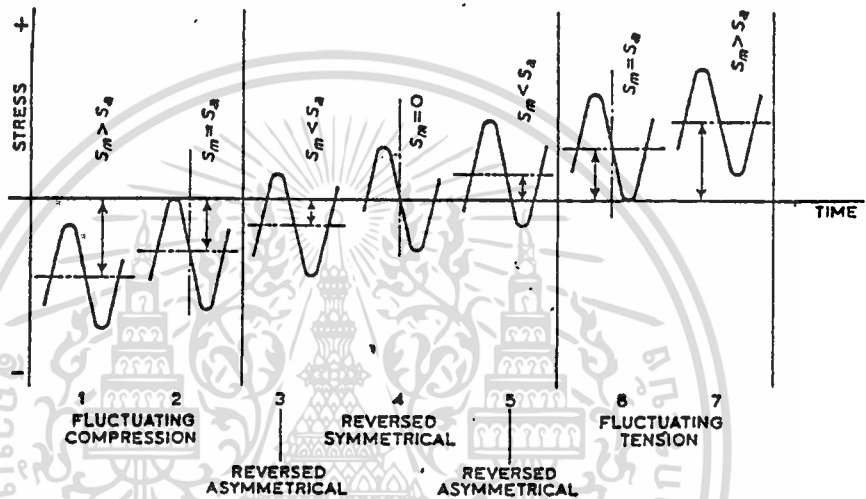
พบว่า Mean stress = $\frac{S_{min} + S_{max}}{2}$; S_{min} คือค่าความเค้นที่ต่ำที่สุดของวัฏจักร
 S_{max} " " "สูง"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของความเค้นที่เป็นวัฏจักรเป็นดังนี้

1. Fluctuating compression $S_m \geq S_a$
2. Reversed asymmetrical $S_m < S_a$
3. Reversed symmetrical $S_m = 0$
4. Fluctuating tension $S_m \geq S_a$

ดังแสดงในรูปที่ 4

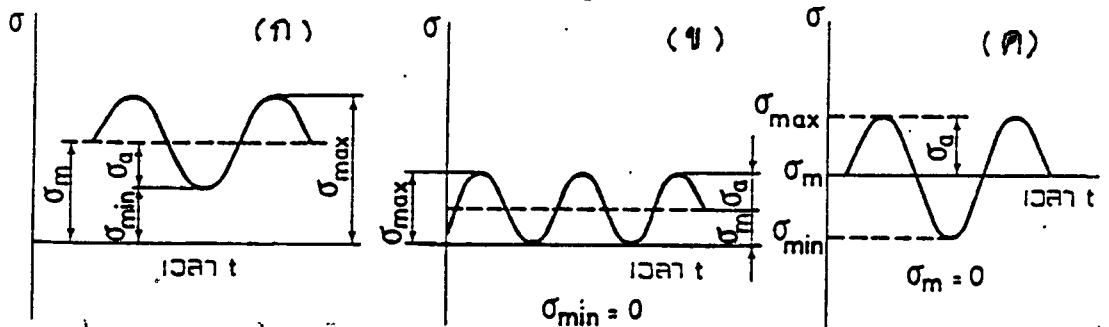


รูปที่ 4 : ประเภทของที่กระทำเป็นรอบ (Fluctuating Stress)

The S/N curve ที่เกิดจากค่า Stress Amplitude กับค่า Endurance cycle (จำนวนรอบที่วัสดุจะทนได้โดยไม่ขาด , หัก)

รูปที่ 6 และ รูปที่ 7 แสดงให้เห็นความแปรเปลี่ยนไปของ S/N curve เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า mean stress และ

$$R_s \text{ (} R_s = \text{ Stress Ratio) } = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$



รูปที่ 5 : การเปลี่ยนแปลงความเค้นแบบไซน์ของดัด

(ก) เป็นบวกตลอดเวลา (ข) กระทำซ้ำ (ค) กระทำกลับไปกลับมา

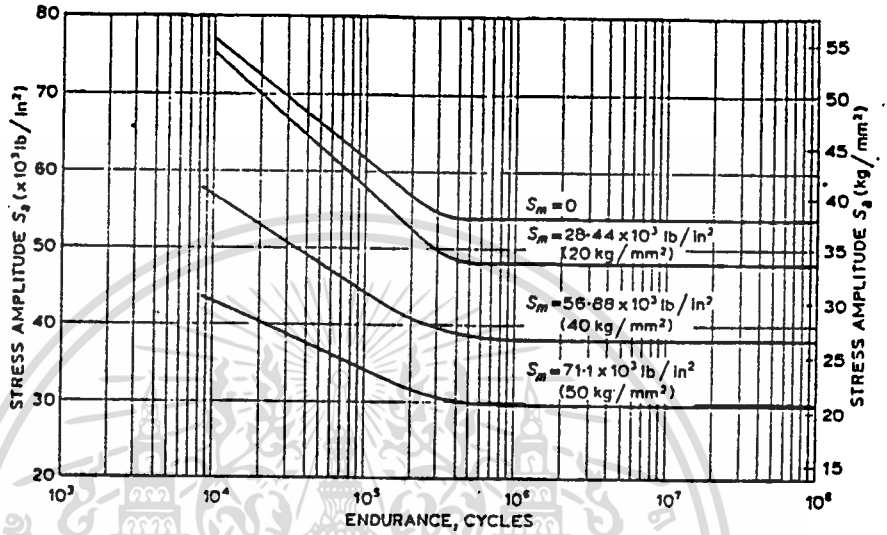
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

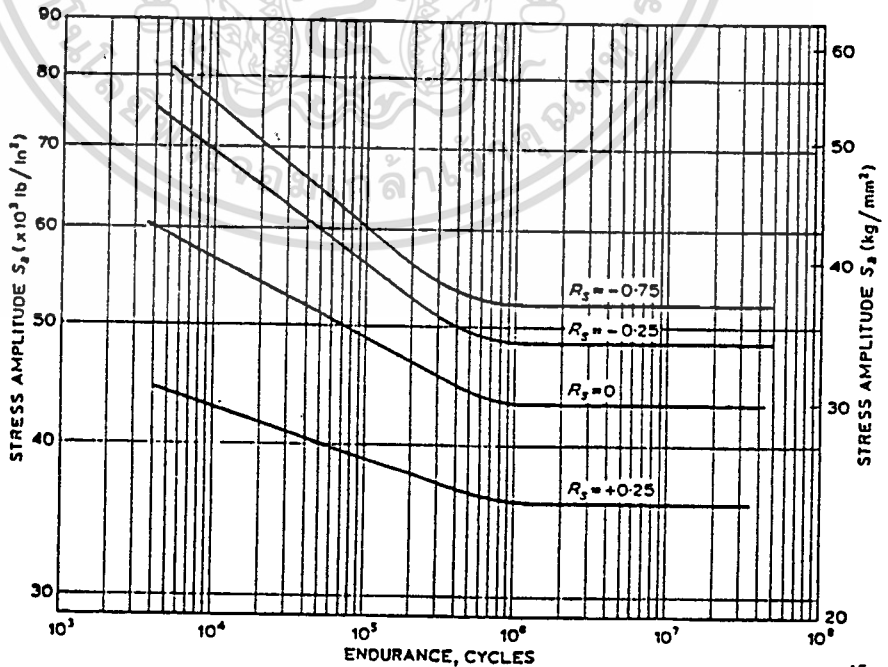
โดยที่ σ_{min} เป็นความเค้นต่ำสุด และ σ_{max} เป็นความเค้นสูงสุด จะได้ค่า

$R = 0$ ในกรณีรูป (ข)

$R = -1$ ในกรณีรูป (ค)



รูปที่ 6 : การเปลี่ยนแปลงของ S-N Curve เมื่อเปลี่ยนค่าความเค้นเฉลี่ย



รูปที่ 7 : การเปลี่ยนแปลงของ S-N Curve เมื่อเปลี่ยนค่าอัตราส่วนความเค้น

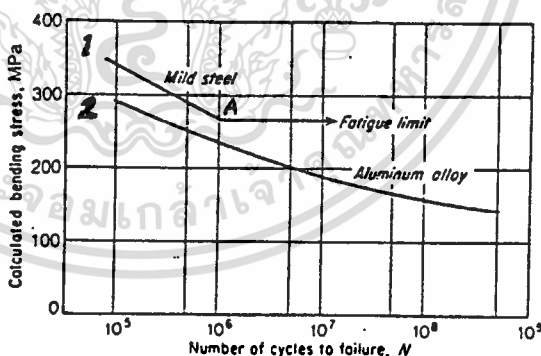
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่รับแรงเปลี่ยนเป็นวัฏจักร จะไม่ใช่ความต้านแรงดึงครากหรือ ความต้านแรงดึงเป็นรากฐาน แต่จะใช้ความต้านทานแรงที่เรียกว่า ความต้านทานรันทาน ซึ่งหาได้จากขีดจำกัดความทนทาน (Endurance limit) หรือจากการทดลอง โดยนิยาม ดังนี้

ขีดจำกัดความทนทานหรือขีดจำกัดความล้า (fatigue limit) หมายถึงค่าความเค้นสูงสุดที่กระทำซ้ำกันสองทิศทาง (Reversed stress) ต่อชิ้นงานทดสอบผิวขัดมัน (mirror polished) เป็นจำนวนวัฏจักรนับไม่ถ้วน โดยที่ชิ้นทดสอบนั้นไม่เกิดการแตกหัก

การทดสอบอาจกระทำได้ 3 วิธี คือ การดึง การบิด และการดัด ข้อมูลจากการทดสอบที่พอมือขูบ้างก็คือ การดัด (Reversed bending) รูป แสดงถึงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบนี้ ในการทดลองให้แขนน้ำหนักที่ต้องการเพื่อทำให้ชิ้นทดสอบเกิดความเค้นดัด จากนั้นเมื่อเตอร์ก็ จะหมุนไปด้วยความเร็วรอบคงที่ (น้ำหนักไม่หมุนไปด้วย) ในขณะที่ชิ้นทดสอบหมุนไปครบหนึ่งรอบ ตำแหน่งคงที่ ณ ผิวของชิ้นทดสอบ ก็จะได้รับ ความเค้นที่เปลี่ยนจาก ความเค้นดึงสูงสุด ไปเป็น ความเค้นอัดสูงสุด แล้วกลับมาความเค้นดึงสูงสุดอีก เรียกว่าหนึ่งวัฏจักร เมื่อนำผลการทดสอบมาเขียนเป็นกราฟจะได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 : แสดงความแตกต่างของ S/N curve ระหว่าง 1047 และ 2014-T6 aluminum

จากตำแหน่ง A ในรูป 8 จะเห็นว่ากราฟ เส้นตรงเกือบอยู่ในแนวระดับ แสดงว่าถ้าให้ ความเค้นต่อชิ้นทดสอบต่ำกว่านี้แล้ว ชิ้นทดสอบจะไม่หักเลย (ทางทฤษฎี) แต่ในทางปฏิบัติ ชิ้น ทดสอบจะต้องขาดออกเมื่อจำนวนวัฏจักรสูงมาก ความเค้น A บนเส้น การคงอยู่ 50% (SURVIVAL) เรียกว่าขีดจำกัดความทนทาน และชิ้นทดสอบที่ได้รับความเค้นระดับนี้ให้ถือว่า มีอา สุนไม่จำกัด (infinite life) ในทางปฏิบัติถือว่า ชิ้นงานที่สามารถรับแรงได้จำนวนวัฏจักร มากกว่า 1 ล้าน เป็นชิ้นงานมีอายุไม่จำกัด (เส้น ๑)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สำหรับวัสดุบางชนิด เช่น ทองเหลือง ทองแดง อลูมิเนียม และ แมกนีเซียม เส้นกราฟจะไม่มีรอยหักมุม ดังเช่นในรูป 8 (เส้น 2) แต่เส้นกราฟจะลดลงเรื่อยๆ แสดงว่าวัสดุเหล่านี้ไม่มีขีดจำกัดความทนทาน วัสดุเหล่านี้จะต้องระบุจำนวนรอบ และระดับความเค้นที่ทำให้ขึ้นทดสอบแตกหักด้วย และความเค้นนี้เรียกว่า ความต้านทานแรงทนทาน

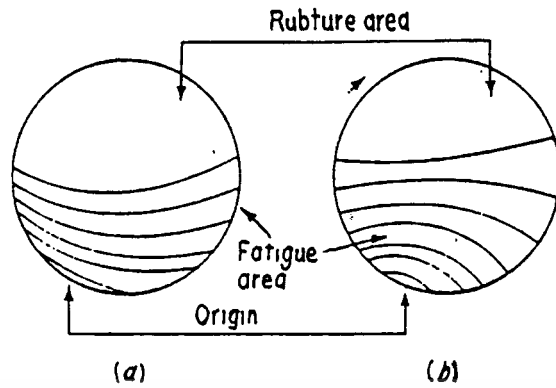
ชิ้นงานทั่วไป จะมีขนาดไม่เท่ากับชิ้นทดสอบ และผิวหน้าก็อาจจะไม่ได้ขัดมันตลอด จนแรงกระทำก็อาจจะเป็แรงอย่างอื่นๆ เช่น แรงบิด เป็นต้น จากการทดลองพบว่า ขีดจำกัดความทนทานจะผิดไปจากชิ้นทดสอบมาตรฐาน (12 มม.) ในกรณีเช่นนี้ก็จะเรียกว่าความต้านแรงทนทานเช่นกัน เพราะฉะนั้นเมื่อกล่าวอย่างกว้างๆแล้ว ความต้านแรงทนทานหมายถึง ความต้านแรงทนทานของชิ้นทดสอบที่ไม่มีขีดจำกัด ความทนทานหรือความต้านแรงทนทานของชิ้นงานจริง

Case	No stress concentration		Mild stress concentration		High stress concentration	
	Low overstress	High overstress	Low overstress	High overstress	Low overstress	High overstress
One-way bending load						
Two-way bending load						
Reversed bending and rotation load						

รูปที่ 9 : ลักษณะหน้าตัดรอยขาดของชิ้นทดสอบ (รอยขาดสุดท้าย แสดงด้วยเส้นดาบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิง (028779) สารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้



รูปที่ 10 : สำหรับเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง รอยเส้น beach mark จะโค้งออกจากจุดเริ่มต้นของการเสียหาย (ดังรูป a)



การเตรียมชิ้นงานทดสอบ (Specimen Preparation)

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดสอบนี้ วัสดุที่ใช้คือ Aluminium Alloy AC8A ซึ่งมีคุณสมบัติและส่วนประกอบทางเคมีตามมาตรฐาน JIS H 5202 ดังในตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 : ประเภทของอลูมิเนียมผสมหล่อ

Grade	Designation	Category of alloy	Classification of mold	Reference		
				Equivalent name of alloy	Specific feature of alloy	Example of application
Aluminium alloy casting Grade 7 B	AC 7 B	Al-Mg alloy	Metal mold, sand mold, shell mold	AA 520.0	Superior corrosion resistance, good mechanical properties, however, poor castability. Due to aged deterioration, especially, elongation reduces.	Optical instrument frame, case, aircraft parts, parts of airframe for aircraft
Aluminium alloy casting Grade 8 A	AC 8 A	Al-Si-Cu-Ni-Mg alloy	Metal mold	AA F332.0	Superior heat resistance, good abrasion resistance, low coefficient of thermal expansion, high tensile strength.	Automobile piston, Diesel engine piston, marine engine piston, pulley, bearing
Aluminium alloy casting Grade 8 B	AC 8 B	Al-Si-Cu-Mg alloy	Metal mold		Superior heat resistance, good abrasion resistance, low coefficient of thermal expansion, high tensile strength.	Automobile piston, pulley, bearing
Aluminium alloy casting Grade 8 C	AC 8 C	Al-Si-Cu-Mg alloy	Metal mold	AA A332.0	Superior heat resistance, good abrasion resistance, low coefficient of thermal expansion, high tensile strength.	Automobile piston, pulley, bearing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 : ส่วนประกอบทางเคมีของ Aluminium Alloy

Designation	Chemical composition %											
	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Ti	Pb	Sn	Cr	Al
AC 7 A	0.10 max.	0.20 max.	3.5 to 5.5	0.15 max.	0.30 max.	0.6 max.	0.05 max.	0.20 max.	0.05 max.	0.05 max.	0.15 max.	Residual
AC 7 B	0.10 max.	0.20 max.	9.5 to 11.0	0.10 max.	0.30 max.	0.10 max.	0.05 max.	0.20 max.	0.05 max.	0.05 max.	0.15 max.	Residual
AC 8 A	0.8 to 1.3	11.0 to 13.0	0.7 to 1.3	0.15 max.	0.8 max.	0.15 max.	0.8 to 1.5	0.20 max.	0.05 max.	0.05 max.	0.10 max.	Residual
AC 8 B	2.0 to 4.0	8.5 to 10.5	0.50 to 1.5	0.50 max.	1.0 max.	0.50 max.	0.10 to 1.0	0.20 max.	0.10 max.	0.10 max.	0.10 max.	Residual
AC 8 C	2.0 to 4.0	8.5 to 10.5	0.50 to 1.5	0.50 max.	1.0 max.	0.50 max.	0.50 max.	0.20 max.	0.10 max.	0.10 max.	0.10 max.	Residual
AC 9 A	0.50 to 1.5	22 to 24	0.50 to 1.5	0.20 max.	0.8 max.	0.50 max.	0.50 to 1.5	0.20 max.	0.10 max.	0.10 max.	0.10 max.	Residual
AC 9 B	0.50 to 1.5	18 to 20	0.50 to 1.5	0.20 max.	0.8 max.	0.50 max.	0.50 to 1.5	0.20 max.	0.10 max.	0.10 max.	0.10 max.	Residual

Remark: Vanadium and bismuth shall be up to and including 0.05 %. However, such elements as vanadium, bismuth, and those not specified in Table 2 should be analyzed only when requested by the purchaser.

สำหรับส่วนประกอบทางเคมีโดสละเอีศ เป็นดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 : ส่วนประกอบทางเคมีของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ

Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Ni	Ti	Mn
1.01	11.71	1.14	0.08	0.11	1.20	0.09	0.01

(ข้อมูลจากบริษัทผู้นำเข้า)

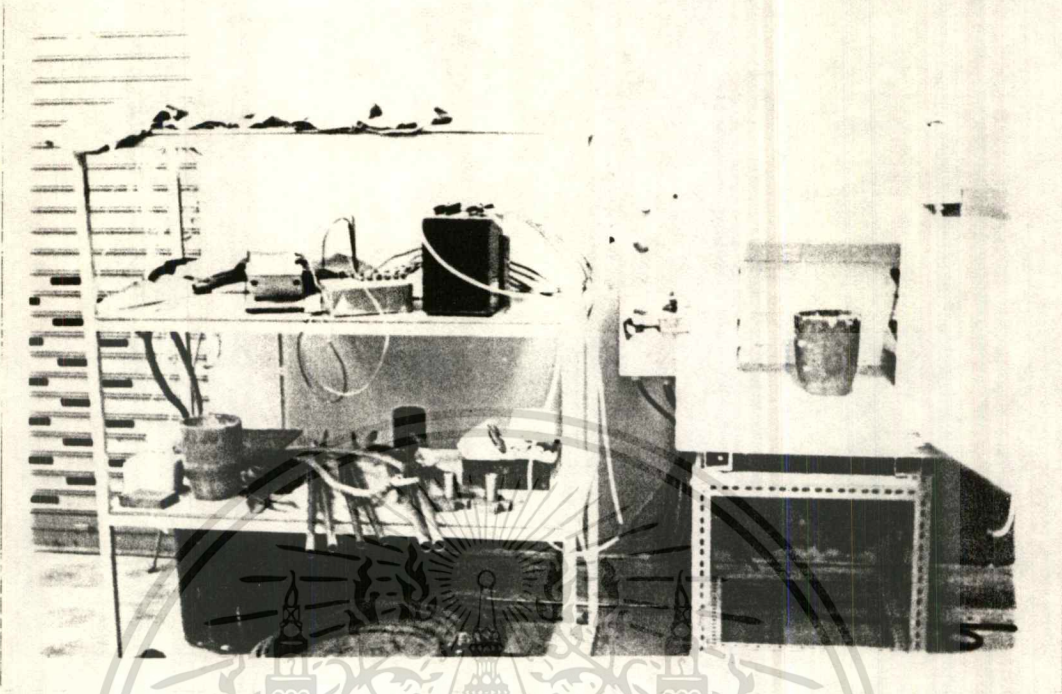
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหล่อ โดยการควบคุมการถ่ายเทความร้อน

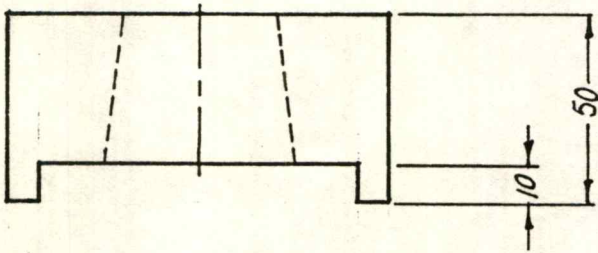
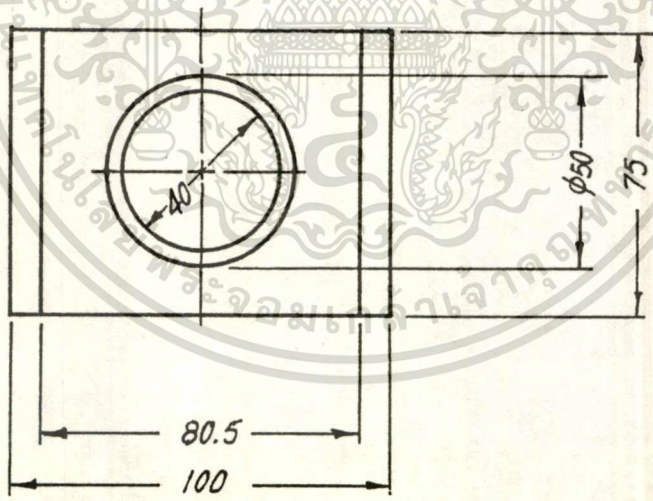
เป็นขั้นตอนในการควบคุมการเย็นตัวของ molten AC8A ภายในแบบหล่อ โดยการเย็นตัวจะเริ่มจากด้านล่างของ mold ที่หล่อเย็นไว้ ขึ้นไปสู่ด้านบน เพื่อที่จะให้ได้ชิ้นงานหล่อที่มีคุณภาพดี เนื้อไม่เป็นโพรง เนื่องจาก ในขณะที่อุณหภูมิลดลง ก๊าซที่ละลายอยู่ในโลหะหลอมเหลว จะถูกปลดปล่อยเป็นอิสระ และจะลอยตัวขึ้น สู่อากาศข้างและด้านบนของแบบหล่อ ถ้า molten ที่อยู่ใน mold เย็นตัวอย่างรวดเร็วเกินไป ฟองอากาศจะไม่สามารถออกไปได้ จึงเกิดเป็นโพรงขึ้นภายในเนื้อโลหะหลังจากการแข็งตัว แต่ถ้าควบคุมการเย็นตัว ให้เป็นไปในลักษณะ จากล่างขึ้นบนอย่างช้า ๆ ได้ ฟองอากาศก็จะถูกไล่ให้ไปอยู่รวมกันทางช่องเปิดด้านบนของแบบหล่อแทน นอกจากนั้น การเย็นตัวจากล่างขึ้นบนนี้ ยังช่วยให้การหดเซยเนื้อโลหะ เนื่องจากการหดตัวเมื่อเย็น เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย

1). อุปกรณ์ที่ใช้ มีดังต่อไปนี้

- แบบหล่อ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน เพื่อให้ง่ายต่อการถอดแบบ, ช่วยการเย็นตัว และไล่ฟองอากาศในชิ้นงานขณะเย็นตัว โดยส่วนบนและส่วนกลาง ทำจากกราไฟท์ ส่วนล่างทำจากเหล็ก ดังในรูปที่ 1, 2 และ 3
- เต้าไฟฟ้า สำหรับใช้หลอมอลูมิเนียม
- เบ้าหลอม
- คีมจับเบ้าและแบบหล่อ
- ชุดหล่อเย็น
- อิฐทนไฟ
- Thermocouple

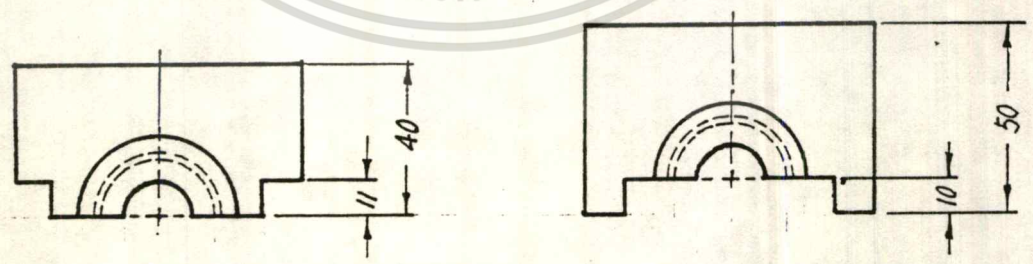
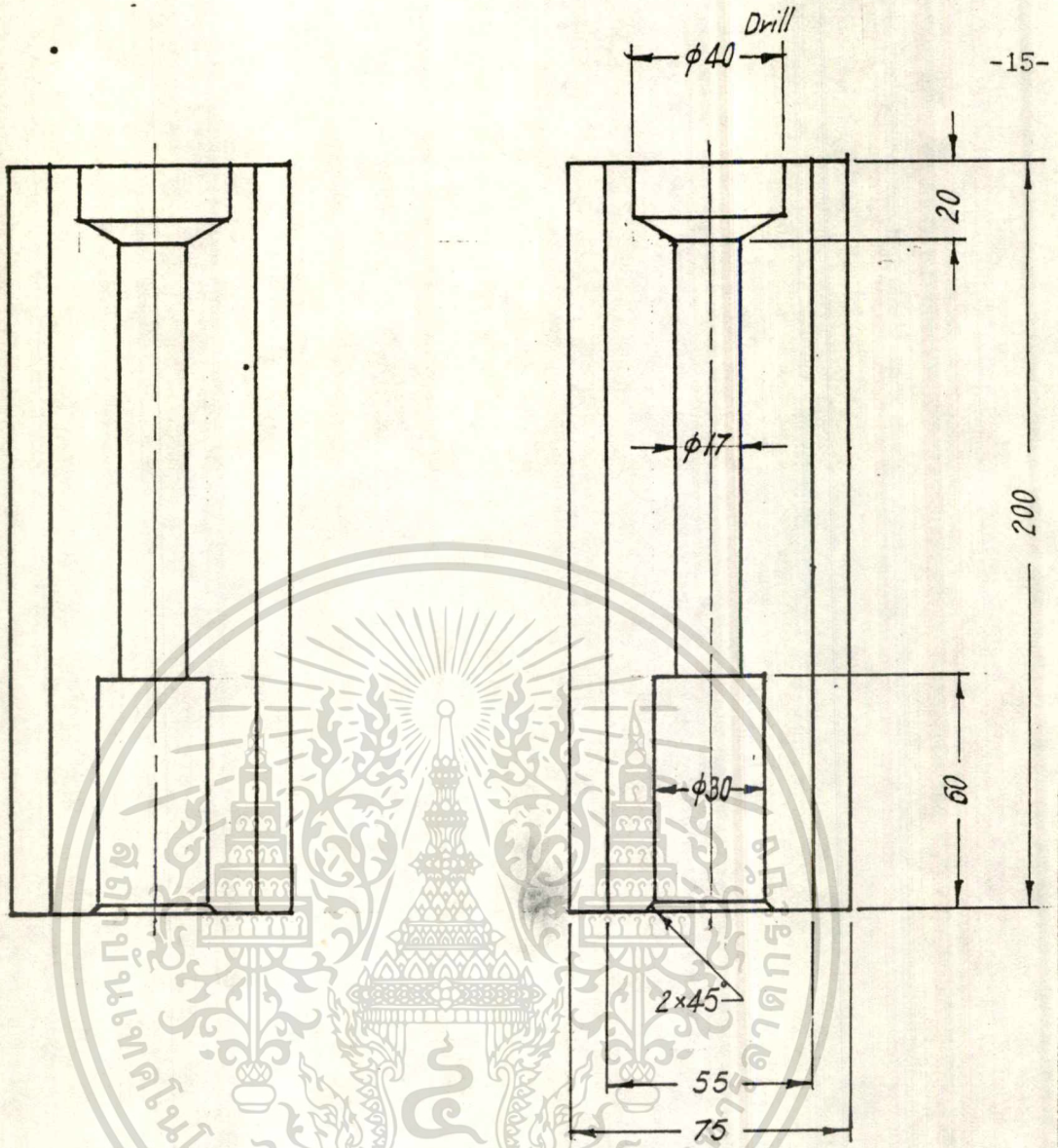


รูปที่ 11 : อุปกรณ์ที่ใช้ในการหล่อ



รูปที่ 12 : แบบของแบบหล่อส่วนบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

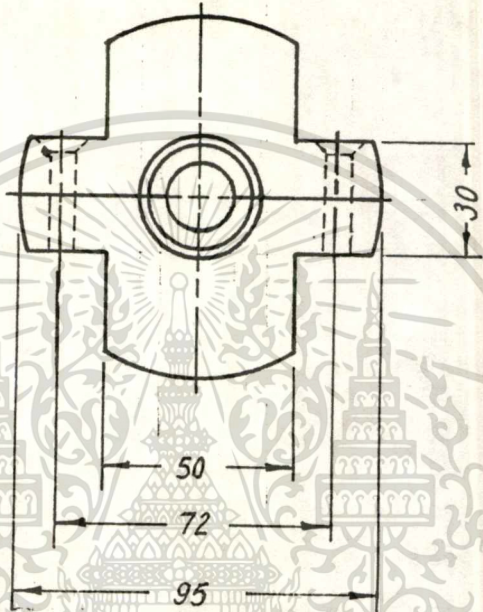
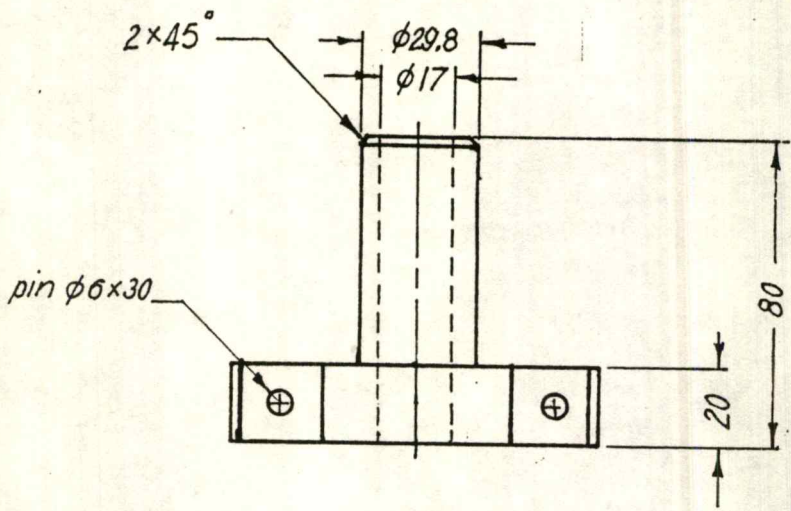


Scale 1 : 2

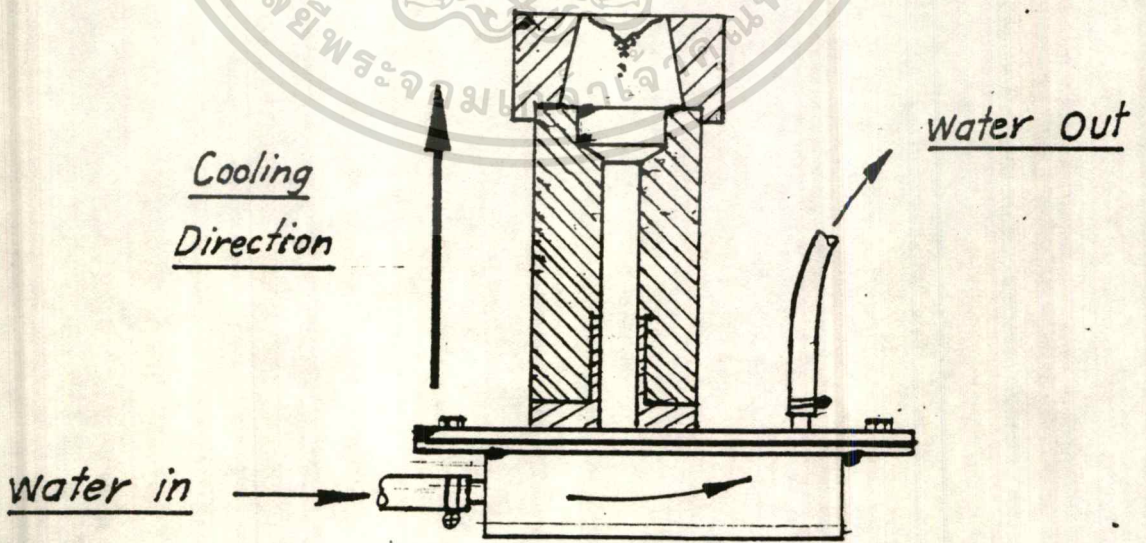
Note All dimension are in millimetre.

รูปที่ 13 : แบบหล่อส่วนกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14 : แบบหล่อส่วนล่าง



รูปที่ 15 : ระบบการหล่อเย็นในกระบวนการหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

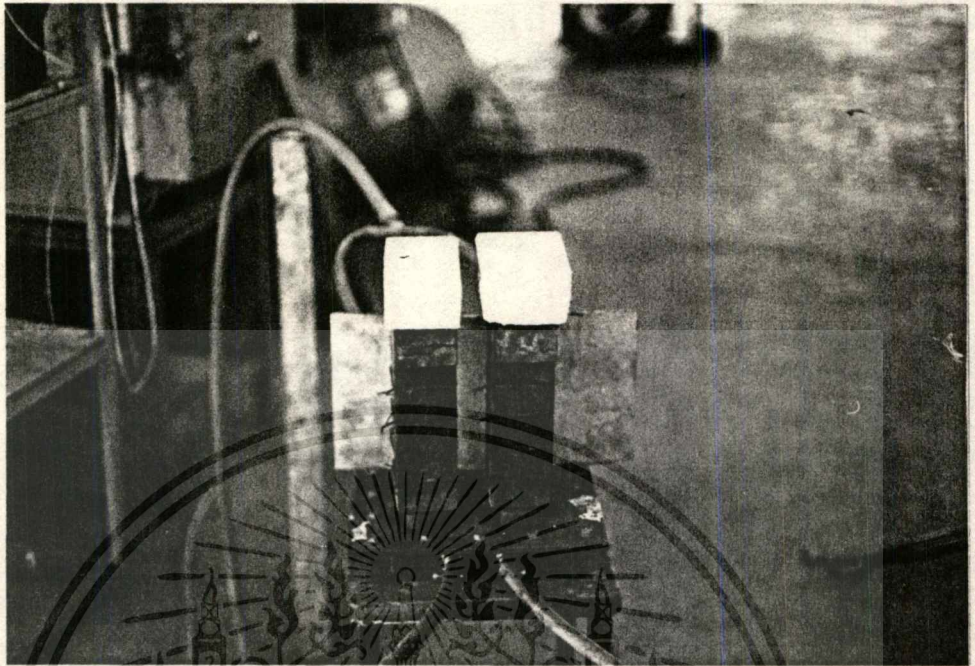
2). กรรมวิธีการหล่อ

1. เตา Aluminium alloy AC8A และ Graphite mold (ส่วนกลางและส่วนบน) ในเตาหลอมไฟฟ้า (Electric furnace) จนมีอุณหภูมิสูงประมาณ 720°C
2. นำ graphite mold ส่วนบนและส่วนกลาง ออกมาสวมเข้ากับส่วนล่าง ซึ่งวางอยู่บนชุดหล่อเย็น (water cooling system)
3. นำ AC8A หลอมเหลวออกจากเตา วัดอุณหภูมิโดยใช้ thermocouple พร้อมกับตัก slag ออก และกวนเข้า ๆ จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงถึงประมาณ 700°C
4. เท AC8A หลอมเหลว ลงในแบบหล่อ พยายามให้เต็ม แต่ไม่ถึงกับล้น
5. นำอิฐทนไฟ (ประมาณ 700°C) ออกจากเตา แล้ววางทับเหนือส่วนบนของ mold เพื่อควบคุมการเย็นตัวของ AC8A หลอมเหลวให้ไล่จากส่วนล่างขึ้นมาหาส่วนบนของ mold เพื่อเป็นการไล่ฟองอากาศที่จะทำให้เกิดโพรงในชิ้นงาน ให้เหลือน้อยที่สุด
6. บันทึกอุณหภูมิขณะเท AC8A หลอมเหลวลงเบ้า ลงในตารางการหล่อ



รูปที่ 16 : การเท AC8A หลอมเหลว ลงในแบบหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

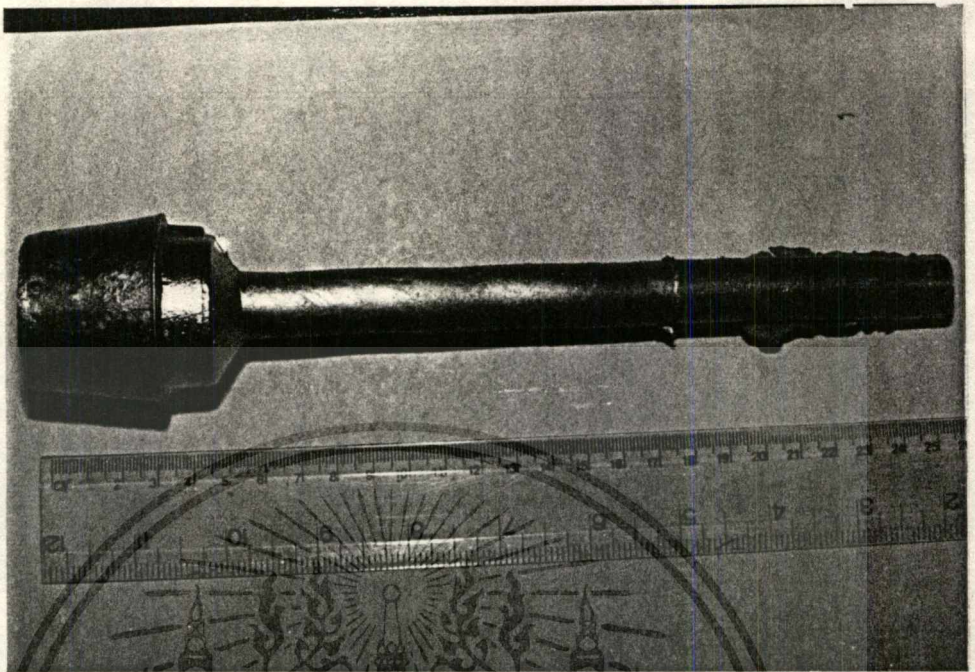


รูปที่ 17 : หลังการเท AC8A หลอมเหลว, วางอิฐทนไฟกับไว้บนแบบหล่อ

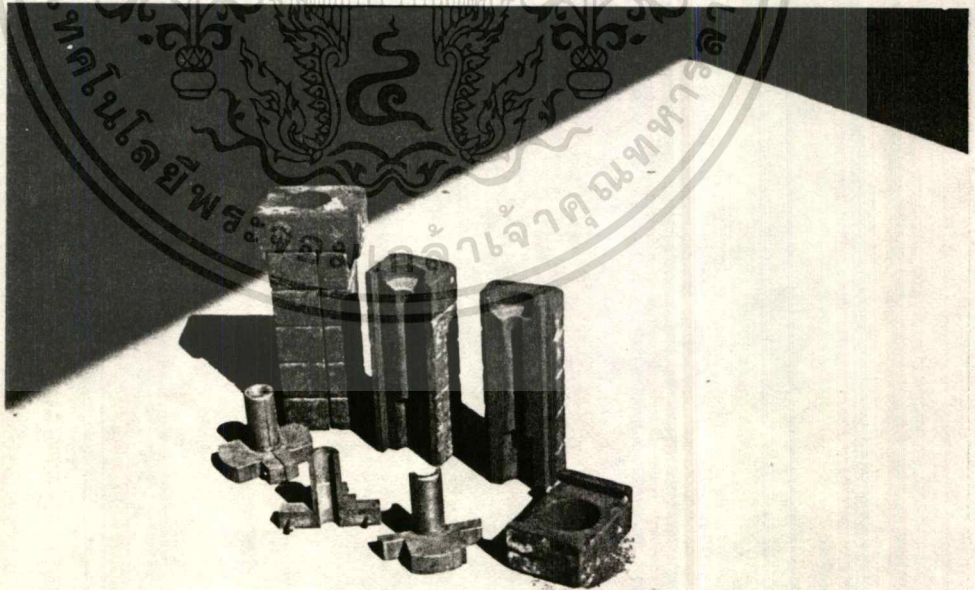


รูปที่ 18 : ขณะถอดแบบออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 19 : ชิ้นงานสำเร็จที่ได้จากการหล่อ



รูปที่ 19.1 : ลักษณะของ mold ทั้ง 3 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Heat Treatment

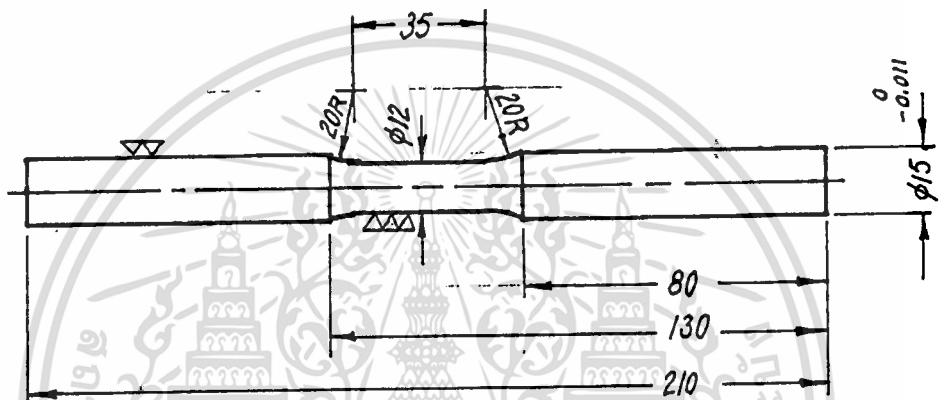
เนื่องจากการทดสอบในครั้งนี้ ไม่สามารถกระทำที่อุณหภูมิใช้งานปกติของ AC8A ได้ เพราะเครื่องมือไม่พร้อม จึงต้องทำการ heat treatment กับชิ้นทดสอบ ให้มีค่า strength สูงขึ้น เพื่อชดเชยกับความแข็งแรงที่ลดลงจากการใช้งานที่อุณหภูมิสูง ซึ่งในที่นี้ เลือกใช้ที่ T-5 (Tempered) ตามมาตรฐาน JIS H 5202 ดังในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 : คุณสมบัติทางกลของชิ้นงานทดสอบ

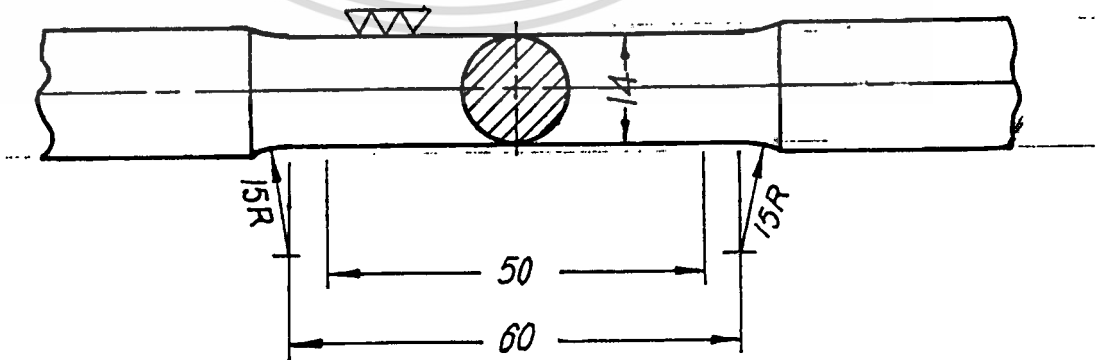
Grade	Subdivision of quality	Designation	Tensile test			Reference					
			Tensile strength kgf/mm ² {N/mm ² }	Elongation %	Brinell hardness HB(10/ 500/30)	Heat treatment					
						Annealed		Solution treated		Tempered	
Temp. °C	Period h	Temp. °C	Period h	Temp. °C	Period h						
Grade 7 A	As cast	AC 7 A-F	22 min. {216 min.}	12 min.	Approx. 60						
Grade 7 B	Solution treated, and quenched (air cooling)	AC 7 B-T 4	30 min. {294 min.}	10 min.	Approx. 75			Approx. 430	Approx. 18		
Grade 8 A	As cast	AC 8 A-F	18 min. {177 min.}	—	Approx. 85						
	Tempered	AC 8 A-T 5	20 min. {196 min.}	—	Approx. 90					Approx. 200	Approx. 4
	Solution treated, and quenched and tempered	AC 8 A-T 6	28 min. {275 min.}	—	Approx. 110			Approx. 510	Approx. 4	Approx. 170	Approx. 10
Grade 8 B	As cast	AC 8 B-F	18 min. {177 min.}	—	Approx. 85						
	Tempered	AC 8 B-T 5	19 min. {186 min.}	—	Approx. 90					Approx. 200	Approx. 4
	Solution treated, and quenched and tempered	AC 8 B-T 6	28 min. {275 min.}	—	Approx. 110			Approx. 510	Approx. 4	Approx. 170	Approx. 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากการทำ Heat Treatment แล้ว ชิ้นงานที่ได้จากการหล่อจำนวน 50 ชิ้น จะนำไปกลึง เพื่อให้ได้เป็นชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน โดยแบ่งเป็น 4 ชิ้น สำหรับทดสอบ ทา Tensile Strength และอีก 46 ชิ้น สำหรับ Fatigue Testing ขนาดและรูปร่าง ดังแสดงในรูปที่ 20 และ 21



รูปที่ 20 : รูปร่างของชิ้นงานสำหรับการทดสอบที่อุณหภูมิห้องของการทดสอบ ความทนทานต่อความเค้นัดัดหมุน



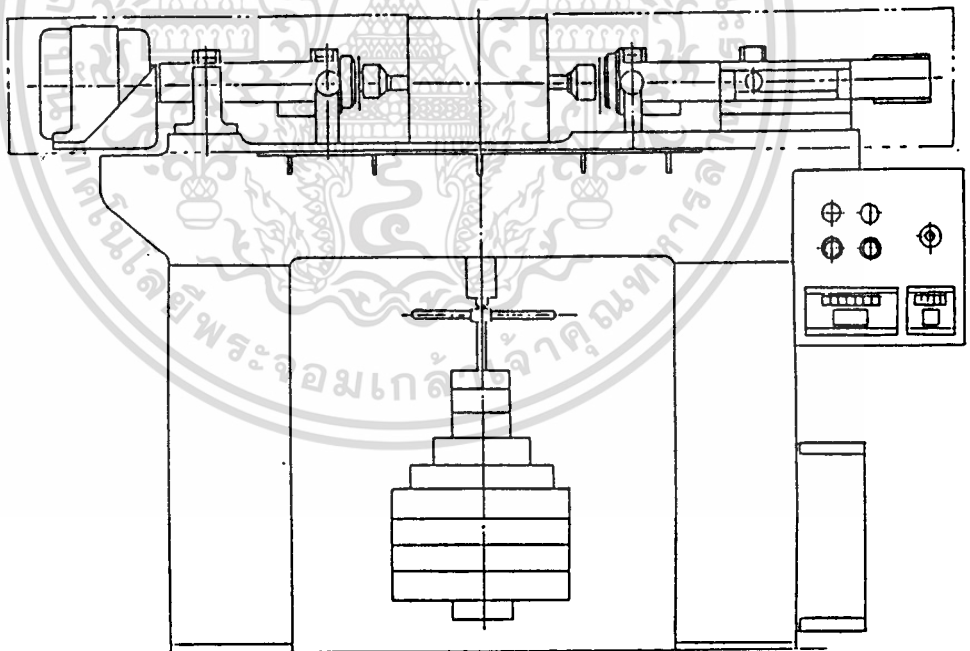
รูปที่ 21 : ชิ้นงานทดสอบแรงดึง (มาตรฐาน JIS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบ (Testing)

Rotating Bending Fatigue Strength Testing

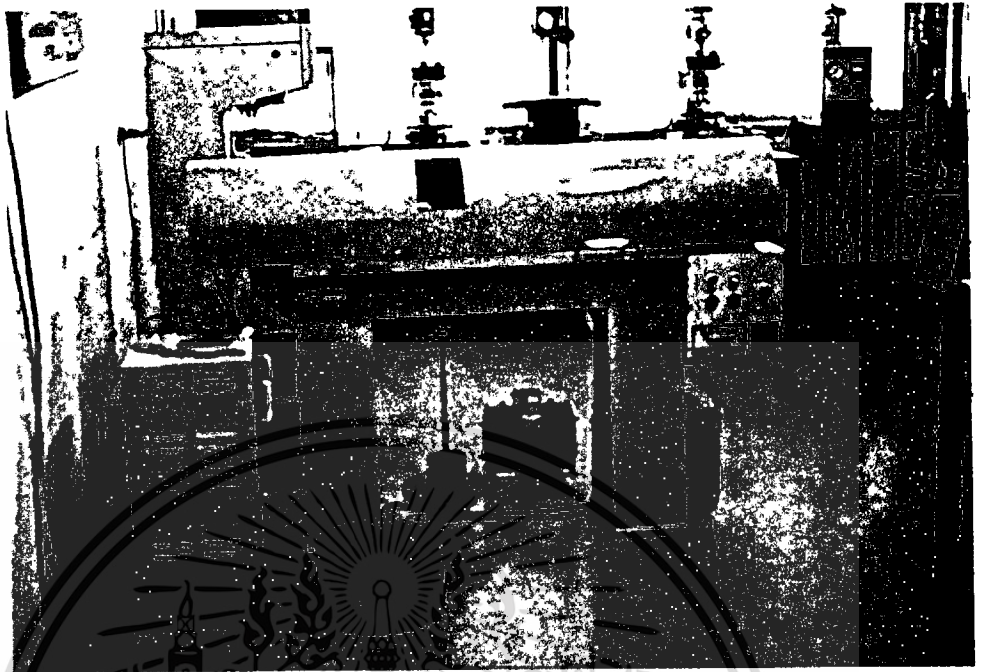
- 1). อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ เครื่อง Ono's High Temperature Rotary Bending Fatigue Testing Machine Model H7 ที่สามารถทำการทดสอบได้ ตั้งแต่ที่อุณหภูมิห้อง จนกระทั่งสูงถึง 850 °c
รายละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 22, 23 และ 24



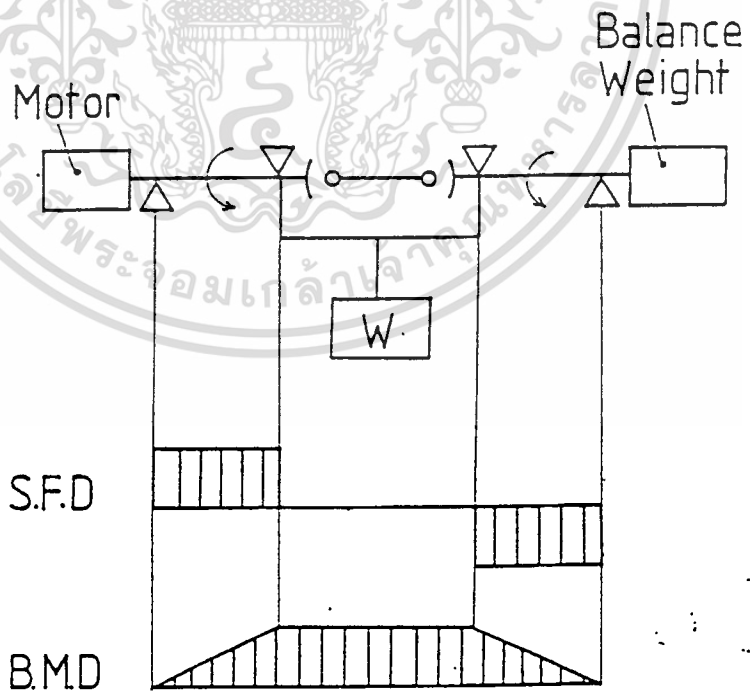
รูปที่ 22 : Ono's High Temperature Rotary Bending Fatigue

Testing Machine Model H7 (Schematic Representation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 23 : Ono's High Temperature Rotary Bending Fatigue Testing Machine Model H7



รูปที่ 24 : หลักการของเครื่องทดสอบความทนทานต่อความเค้นดัดหมุน
(แสดงแผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2). ขั้นตอนการทดสอบ

1. จับชิ้นงานที่จะใช้ทดสอบเข้ากับหัวจับชิ้นงาน (chuck) ทั้งสองด้าน (ต้องระวัง ไม่ตัดชิ้นงานขณะกวดชิ้นงานให้แน่น ..ควรรีใช้ไม้รอง)
2. ใส่ load ตามที่กำหนดไว้ (ในที่นี้ใช้ ตั้งแต่ 13 ถึง 20 kg, และถ้าเป็นการทดสอบที่ room temperature จะต้องใส่ based weight เข้าไปด้วย)
3. เปิดเครื่อง, ปรับความเร็วรอบให้คงที่ ที่ระดับที่ต้องการ (ในที่นี้ใช้ค่าประมาณ 3310 rpm ตลอด)
4. Reset วงจรนับรอบ, พร้อมกับปล่อยน้ำหนักให้กระทำกับชิ้นทดสอบอย่างอิสระ
5. เมื่อชิ้นงานขาด บันทึกจำนวนรอบ และน้ำหนักที่ใช้ ในตารางบันทึกผล

3). การคำนวณหา Bending Stress

- Distance Between Load Supporting Point : L cm (20 cm)
- Weight : W kg
- Diameter of Specimen : d cm
- Uniform Bending Moment : M kgf cm
- Bending Stress given to Specimen : S kgf/cm²

จะได้

$$M = W L / 2 = 10 W \text{ kgf cm}$$

$$S = 32 M / \pi d^3$$

$$= 320 W / \pi d^3$$

$$= 101.86 W / d^3 \text{ kgf/cm}^2$$

$$= 9982.18 W / d^3 \text{ MPa}$$

(ค่า Maximum Stress ใน Pure Bending = M c / I

ค่า I ของหน้าตัดกลม = $\pi d^4 / 64$)

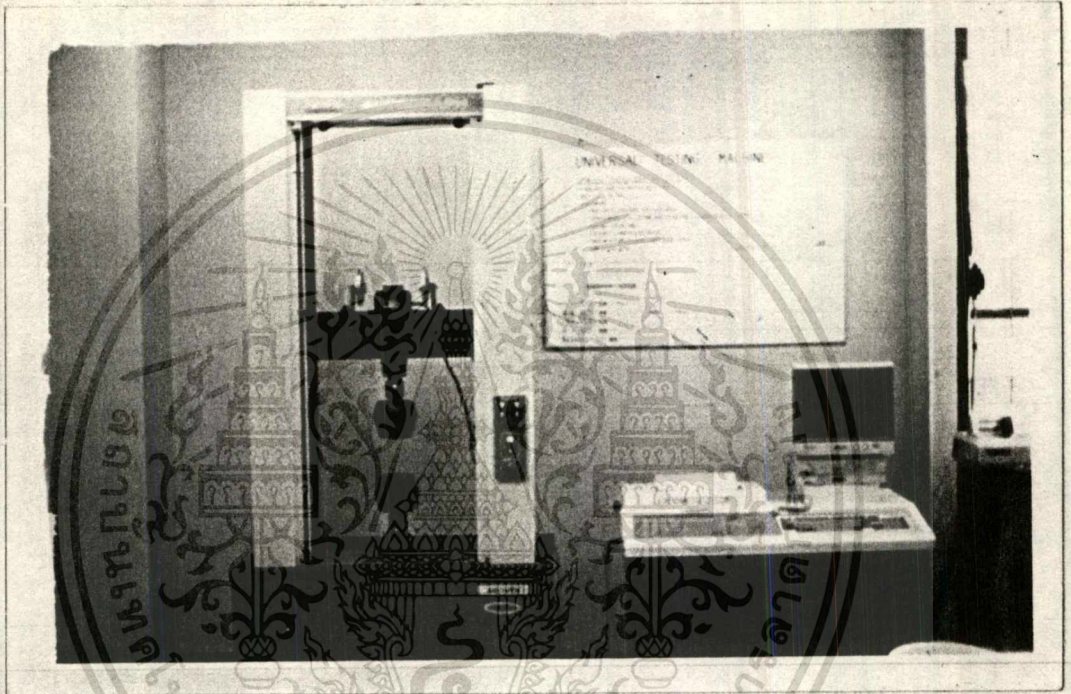
ตารางที่ 5 : ความเค้นสูงสุดที่ผิวของชิ้นงานทดสอบ เนื่องจากโหลดแต่ละค่า
(สำหรับเส้นผ่าศูนย์กลางของ Specimen = 12 mm)

Weight (kgf)	Stress (MPa)
20	115.535
19	109.758
18	103.981
17	98.205
16	92.428
15	86.651
14	80.874
13	75.098

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tensile Testing

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่า Ultimate Tensile Strength ของ Specimen AC8A T5 เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS H 5202



รูปที่ 25 : เครื่องทดสอบแรงดึง

สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ Tensile Strength

- Test Mode Single Tension
- Test Speed .20000 mm/min (1/10)
- Traverse Speed 50.000 mm/min
- Return Position 10 mm
- Recorder Mode X-P
- X-Axis Load
- Load Cell 10000 kgf
- F/S Load 5000 (*2) kgf (auto)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบ Microstructure

เพื่อดูลักษณะของเนื้อโลหะ และการกระจายตัวของส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเนื้อของ Specimen โดยการกัดผิวชิ้นงานแล้วนำไปส่องกับกล้องขยาย สำหรับ AC8A ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งในการทดสอบนี้ ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร

โซเดียมไฮดรอกไซด์จะกัดผิวงาน ทำให้เกิดลักษณะแตกต่างกันในแต่ละเฟส ซึ่งแต่ละธาตุองค์ประกอบของ AC8A จะถูกกัดกร่อนไม่เท่ากัน ทำให้แสงที่สะท้อนกลับมีทิศทางต่างกัน โดยส่วนที่ถูกกัดกร่อนน้อย แสงจะสะท้อนกลับมากมองเห็นเป็นบริเวณสว่าง ส่วนที่ถูกกัดกร่อนเป็นร่องลึก แสงจะสะท้อนออกนอกเลนส์ จึงเห็นเป็นบริเวณที่มีสีเข้ม

ขั้นตอนในการตรวจสอบ

1. สุ่มเลือก Specimen มาตัดแบ่งตามขวางออกเป็น 3 ส่วน แล้วจึงตัดแบ่งครึ่งแต่ละส่วนตามยาวอีกที
2. ดริ้งชิ้นงานลงใน resin โดยวิธีการดริ้งร้อน (hot mounting) เพื่อให้จับถือหรือทำงานได้สะดวก
3. ขัดผิวหน้าตัดด้วยกระดาษทราย เริ่มจากเบอร์ 240 แล้วเปลี่ยนเป็นเบอร์ที่ละเอียดขึ้น คือ 320 400 800 และ 1000 ตามลำดับ ให้เครื่องขัดแบบจานหมุน ขัดไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อเปลี่ยนเบอร์กระดาษทราย จึงเปลี่ยนทิศทางให้ตั้งฉากกับทิศทางเดิม ขณะขัดเปิดน้ำให้ไหล ช่วยในการคายเศษ
4. ขัดผิวงานให้เรียบเป็นเงา ด้วยจานขัดผ้าสักหลาด และใช้ผงขัดขนาด 0.3 และ 0.5 ไมครอน ตามลำดับ
5. นำโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เจือจางแล้ว หยดลงบนผิวชิ้นงาน ทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที แล้วล้างออกด้วยแอลกอฮอล์ทันที เป่าให้แห้ง และไม่ควรรีสัมผัสผิวงานอีก
6. นำไปส่องกล้อง ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและถ่ายภาพ

ผลการทดสอบ

Rotating Bending Fatigue Strength Testing

ตารางที่ 6 : ผลการทดสอบความทนทานต่อความเค้นดัดหมุน

Specimen Number	Load (kg)	Number of Cycles to Failure	Pouring Temperature (in Casting Procedure)
46	20	145 300	700
26	20	64 100	700
45	20	328 900	700
55	20	60 900	700
54	20	469 200	700
36	19	326 100	695
32	19	278 100	700
47	19	273 300	680
40	19	210 600	700
06	19	244 000	685
18	19	165 100	700
39	18	504 200	700
52	18	987 900	700
41	18	421 800	700
17	18	517 200	700
53	18	2 858 700	700
51	18	247 800	700
11	18	190 900	695

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 (ต่อ) : ผลการทดสอบความทนทานต่อความเค้นดัดหมุน

Specimen Number	Load (kg)	Number of Cycles to Failure	Pouring Temperature (in Casting Procedure)
01	17	198 800	680
09	17	315 300	695
08	17	676 200	700
50	17	509 600	700
16	17	759 000	695
05	17	288 900	685
23	16	1 056 900	700
42	16	224 000	700
33	16	721 800	690
12	16	2 169 500	695
29	16	1 257 800	690
25	16	854 100	700
30	16	1 013 300	690
28	15	2 125 000	680
31	15	1 897 100	700
49	15	5 505 200	700
35	15	1 610 200	695
19	15	7 656 200	700
43	15	1 147 600	680

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

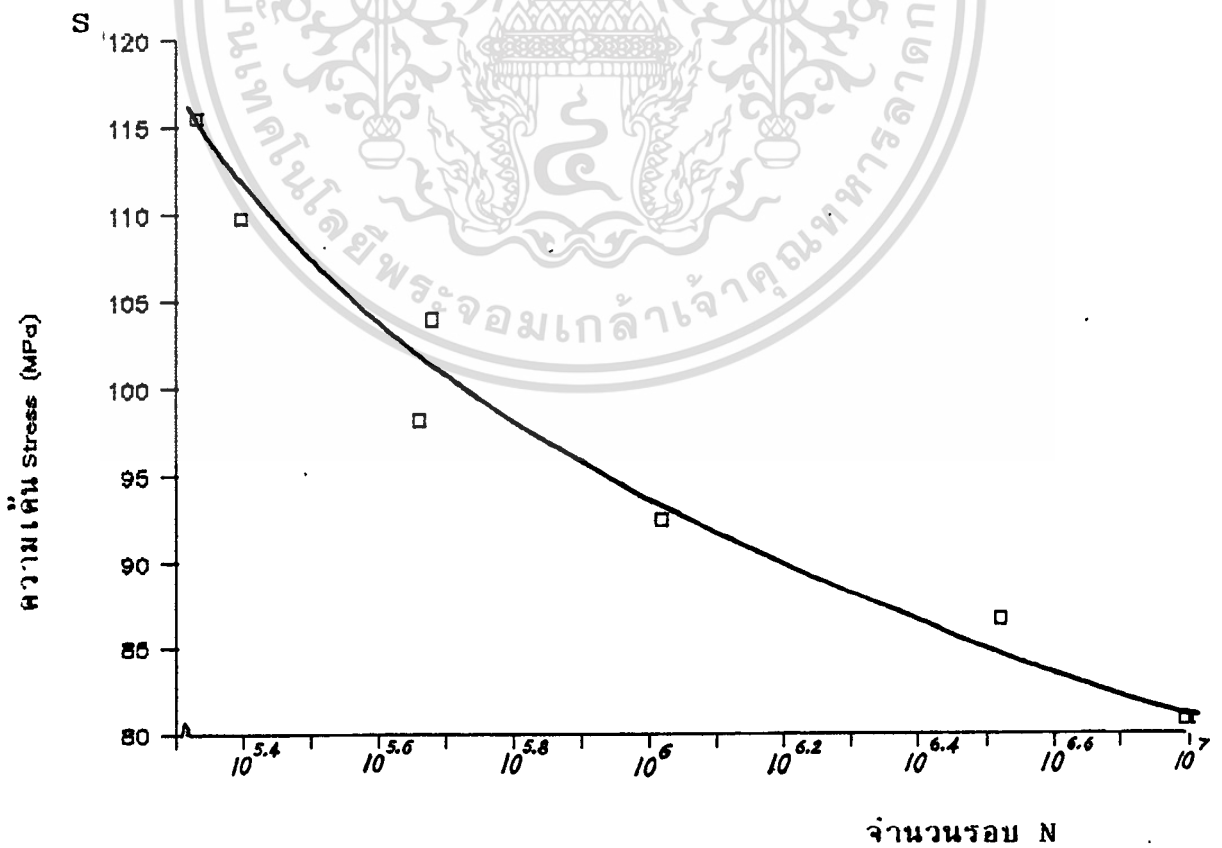
ตารางที่ 6 (ต่อ) : ผลการทดสอบความทนทานต่อความเค้นัดัดหมุน

Specimen Number	Load (kg)	Number of Cycles to Failure	Pouring Temperature (in Casting Procedure)
34	14	2 877 900	690
38	14	5 578 400	700
13	14	> 10 152 000	700
22	14	1 664 900	700
24	14	> 11 000 100	700
37	13	> 10 855 000	700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 26 : S-N Curve (คำนวณจากผลการทดสอบ)



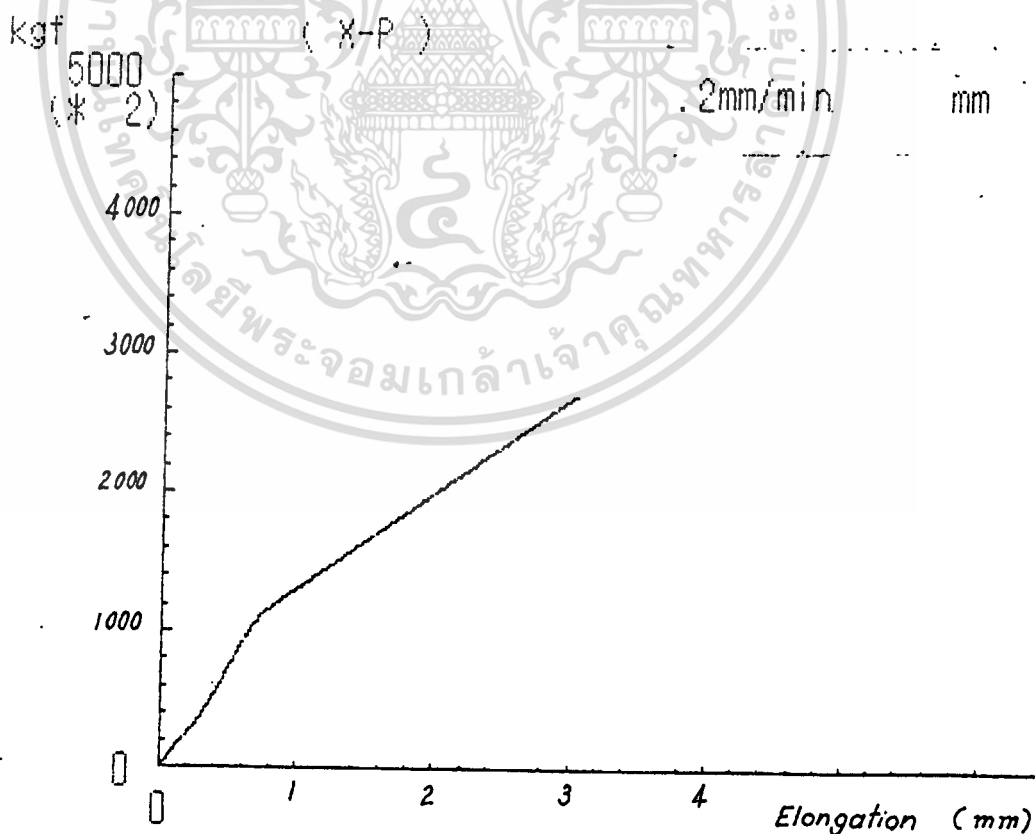
รูปที่ 27 : S-N Curve (เฉลี่ย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tensile Strength Testing

ตารางที่ 7 : ผลการทดสอบแรงดึง (Tensile Strength)

	No.1	No.2	No.3	No.4
Maximum Load (kgf)	3357.5	3123.5	2788.5	2728.0
Elongation (mm)	1.5490	4.1430	3.4160	3.0390
Maximum Stress (kgf/mm ²)	21.81	20.29	18.11	17.72
Maximum Stress (MPa)	213.74	198.85	177.52	173.67
Strain (%)	3.0980	8.2860	6.8320	6.0780

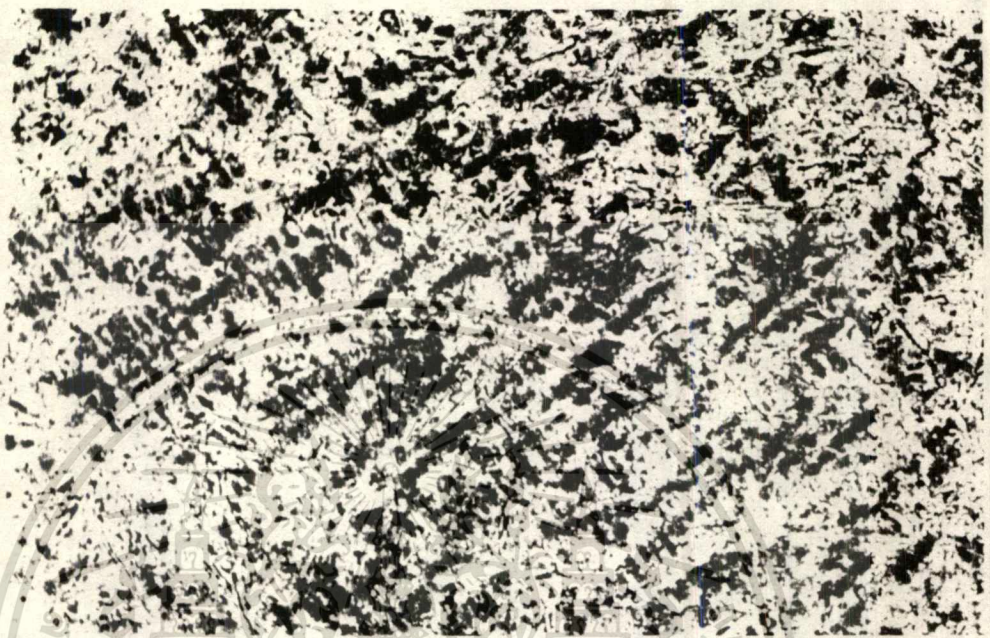


รูปที่ 28 : กราฟจากการทดสอบแรงดึงของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบ Microstructure



รูปที่ 29 : แสดงโครงสร้างภายในของชั้นทดสอบ, ขยาย 50 เท่า



รูปที่ 30 : แสดงโครงสร้างภายในของชั้นทดสอบ, ขยาย 100 เท่า

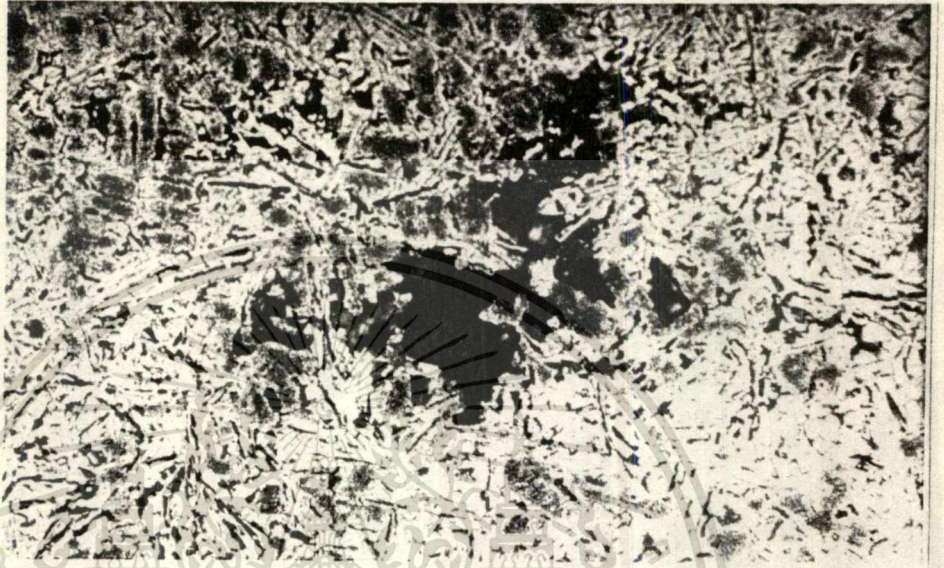
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 31 : แสดงโครงสร้างภายในของชั้นทดสอบ, ขยาย 200 เท่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 32 : แสดงโครงสร้างภายในของชั้นทดสอบ, ขยาย 500 เท่า
 นี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้
 ใ้ในทางอื่นได้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยไว้ ณ ที่นี้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 33 : ภาพขยาย 100 เท่า, แสดงให้เห็นไฟรงอากาศที่เกิดขึ้นในชั้นทดสอบ



สรุปผล & วิเคราะห์

การทดสอบหาความทนทานต่อความเค้นดัดหมุน ของ AC8A-T5 ที่อุณหภูมิห้อง (room temperature) แสดงผลในรูปกราฟ s-n curved โดยกำหนดจำนวนรอบที่ใช้แรงกระทำที่ 10^7 รอบ

จากกราฟขีดจำกัดความล้า (Fatigue Limit) จะอยู่ที่ค่าความเค้น 80 MPa หรือ load 14 kg. แสดงว่าในการใช้งานเป็นรอบ ค่าความเค้น (ในทางทฤษฎี) ที่ต่ำกว่า 80 MPa ขึ้นงานจะมีความต้านทาน หรือ ความทนทานต่อแรงแปร นี้ได้เป็นจำนวนรอบสูงมาก โดยไม่เกิดการแตกหัก

ลักษณะการขาดของชิ้นงานทดสอบ เนื่องจากการล้า (fatigue failure) จะเป็นตามรูป 9 หน้า 9 เป็นกรณีของการดัดกลับไปกลับมา (Reversed bending) และ ภาระที่เป็นรอบ (Rotation load) ส่วนใหญ่เป็นชนิด No stress concentration over load เนื่องจากต้องการลดความเค้นลง จนกระทั่งชิ้นงานสามารถทนได้มากกว่า 10^7 รอบ

โครงสร้างของชิ้นงานทดสอบ มีการกระจายตัวของ silicon (ในรูปเป็นขี้ดสีดากระจายรอบ ๆ ทั่วบริเวณ เนื่องจากถูก NaOH กัดออกไป) อยู่มากในส่วนต่างๆ ชิ้นงานจะมีคุณสมบัติความแข็งแกร่งการขีด (abrasive) เท่ากันสม่ำเสมอ และบริเวณ ส่วนบน,ล่าง ของชิ้นงานมีโพรงอากาศมากกว่าช่วงส่วนทดสอบ (Gauge Length)

การทดสอบความเค้นดึง (Tensile Test) ลักษณะรอยขาดที่ตรง และกราฟแสดงว่า AC8A-T5 เป็นวัสดุค่อนข้างแข็ง,เปราะ, มีกำลังสูง กราฟที่ได้มีจุด Yield Point ไม่ชัดเจน ค่า Tensile Strength ที่วัดได้ใกล้เคียง 196 MPa โดยมีค่าสูงกว่า 2 ค่า ต่ำกว่า 2 ค่า ทำให้ทราบว่า ในการทดสอบการล้าจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

ค่าความเค้นที่ ขีดจำกัดความล้า มีค่าเพียง 40 % ของ ความเค้นสูงสุด (Maximum Stress) ในการทดสอบ Tensile Strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความผิดพลาดในการทดสอบที่เกิดขึ้น

การควบคุมการเย็นตัวของ ingot ไม่สมบูรณ์ ที่ผิวของ ingot เริ่มเกิดการแข็งตัวก่อน ส่วนข้างใน เนื่องจากแบบหล่อ graphite เป็นตัวลงมากเกินไป เพราะว่าจะต้องรอการวัด อุณหภูมิ AC8A หลอมเพื่อให้ได้ประมาณ 700 C ก่อนที่จะเทลงใน แบบหล่อ ขั้นตอนนี้ควรใช้เวลา น้อยที่สุด หมายถึงจะต้องหลอม AC8A ไม่ให้มีอุณหภูมิสูงมากเกินไป อุณหภูมิที่เหมาะสมทั้งแบบหล่อ graphite (ไม่ทำลายแบบหล่อ) และ AC8A คือ 720 C

ระบบการหล่อเย็น เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ แบบหล่อ graphite เป็นตัวลงเร็วเกินไป เพราะว่าการเปิดน้ำหล่อเย็นก่อน ขณะรอ

ชิ้นงานบางชิ้น เกิดการขาดก่อนจนวนรอบที่ควรเป็น ที่บริเวณส่วนโค้งลดขนาด (Fillet) เนื่องจาก ส่วนนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 12 มม. หรือ มีรอยต่อที่ส่วนโค้ง เป็นข้อผิดพลาดจากการกลึง การบอเน็ดฟอร์มโค้งที่ตรงกลางจะตัดชิ้นงานให้โค้งงอ เมื่อหยุดบอเน็ดจะเกิดการคืนตัว กดมิดกลึงกินผิวชิ้นงานเป็นรอยโดยรอบได้

AC8A เป็นวัสดุที่ใช้ผลิตลูกสูบ ซึ่งจะต้องใช้งานที่อุณหภูมิสูง อุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญ อย่างหนึ่งในการหา ความทนทานต่อความเค้นดัดหมุน การทดสอบที่อุณหภูมิห้องนี้จะเป็น ส่วนเปรียบเทียบกับแสดงถึง ความทนทาน ที่ลดลงเนื่องจากอุณหภูมิได้อย่างมาก.

เอกสารอ้างอิง

1. วัฒนิต ใจชื่น, โลหะวิทยาภาพ 1
2. พรศักดิ์ อรรถวานิช, วัสดุวิศวกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
3. Pornsak Attavanich, Rotating Bending Fatigue Strength of Cast Heat Resisting Aluminium Alloy AC8A
4. วิทยานิพนธ์ ปีการศึกษา 2531,
5. Instruction for Use of Ono's High Temperature Rotary Bending Fatigue Testing Machine Model H7
6. JIS Handbook 1986, Non-Ferrous Metals and Metallurgy



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้