



การทดสอบความต้านทานการล้าแบบหมุนัดของอลูมิเนียมอัลลอย (AC8A) ที่อุณหภูมิสูง  
ROTATING BENDING FATIGUE TESTING OF ALUMINUM ALLOY (AC8A)  
AT HIGH-TEMPERATURE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2534

การทดสอบความต้านทานการฉ้อแบบหมุนเค็ดของอคูมิเเิมอัลลอย (AC8A)  
ที่อุณหภูมิลุง

โดย

|              |                 |         |
|--------------|-----------------|---------|
| นายสุจิต     | จักรกุลกวิน     | 31.1339 |
| นายสุบม      | ธำรงค์พรสวัสดิ์ | 31.1338 |
| นายอภิสิทธิ์ | ชาณสมร          | 30.1352 |

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. พรศักดิ์ อรรณวนิช)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดตทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การทดสอบความต้านทานการส้าแบบหมุนตัดที่อุณหภูมิสูงของอลูมิเนียมอัลลอยด์ (AC8A)

ลจจิต ฉัตรกุลกรวิน

สุขุม ธารรงค์พรสวัสดิ์

อภิสิทธิ์ ชาเขลมาร

ผศ. พรศักดิ์ อรรถภาณีช (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2534

## บทคัดย่อ

โลหะอลูมิเนียมผสมทนความร้อน (AC8A) ใช้กันมากในการผลิตลูกสูบเครื่องยนต์ ปัจจุบันคุณสมบัติที่สำคัญอย่างเช่น ความต้านทานการส้าของโลหะชนิดนี้ที่สภาวะงานจริง มีน้อยมาก ดังนั้นการศึกษาถึงความต้านทานการส้าแบบหมุนตัดที่อุณหภูมิสูง เพื่อที่จะใช้ในงานที่เหมาะสม รวมไปถึงการตรวจสอบจุลโครงสร้าง การทดสอบความต้านทานแรงดึง โดยเปรียบเทียบกับเกรดผลอบแบบเดียวกันที่อุณหภูมิห้อง ในปริศนาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบไปด้วยพิภคความถี่ และความสัมพันธ์ของความเค้นตัดกับอายุของการส้า

Rotating Bending Fatigue Testing of Aluminum Alloy ( AC8A )  
at High-Temperature

by Mr.Sujit Chatkulkawin

Mr.Sukhum Thumrongpornswat

Mr.Apsit Chansamorn

Asistant Professor Pornsak Attavanich (Adviser)

Abstract

The heat Resisting Aluminum Alloy which widely used in automobile engine piston. Recently, important property as fatigue strength of this alloy at actual applications have not or less data. So that discussion of its rotating bending fatigue testing at high-temperature is necessary to favourable applications of the materials. Including fracgraphy, tensile test and surface roughness. In order to compare with room temperature testing. This thesis involves fatigue limit and relation of bending stress to fatigue life or cycle of failure

## สารบัญ

| เรื่อง                                   | หน้า |
|------------------------------------------|------|
| วิศุคและที่เงานทดสอบ                     | 1    |
| การคำนวณ                                 | 17   |
| การทดสอบแรงดึง ความล้า และความหยาบของผิว | 21   |
| ภาคผนวก                                  |      |
| กิตติกรรมประกาศ                          |      |
| หนังสืออ้างอิง                           |      |

## วัสดุและชิ้นงานในการทดสอบ

1.1 บทนำ วัสดุที่ใช้ในงานวิศวกรรมส่วนใหญ่ ที่นำมาใช้งานจะอยู่ในรูปของธาตุผสมหรือสารประกอบ ซึ่งอาจจำแนกออกได้เป็นพวกโลหะและพวกอโลหะ ตามคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุ และการที่จะนำวัสดุมาใช้ได้อย่างเหมาะสม จึงจำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติของวัสดุ ทำการตรวจสอบจุลโครงสร้าง การทดสอบแรงดึง การทดสอบความต้านทานการล้า เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ ให้ถูกต้องกับลักษณะของงาน

1.2 วัสดุที่ใช้ในงานวิศวกรรม แบ่งออกได้เป็น 2 พวกคือ

ก. โลหะ (Metals)

ข. อโลหะ (Non-metals)

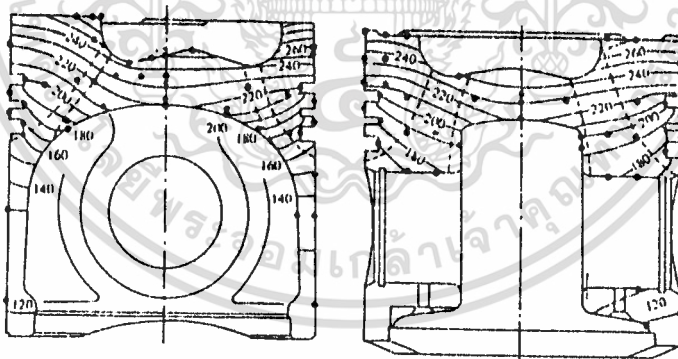
1.2.1 โลหะ (Metals) โลหะที่ใช้ในงานวิศวกรรมสามารถแบ่งออกได้เป็นกลุ่มใหญ่ ๆ เป็น 2 กลุ่ม คือ โลหะเหล็ก (Ferrous metals) และโลหะไม่ใช่เหล็ก (Non-ferrous metals)

1.2.1.1 โลหะเหล็ก (Ferrous metals) คือกลุ่มโลหะที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบหลัก และมีผลใช้กันมากที่สุด มีหลายชนิดด้วยกัน เช่น เหล็กหล่อ

1.2.1.2 โลหะไม่ใช่เหล็ก (Non ferrous metals) ได้แก่ โลหะหรือโลหะผสมที่ไม่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบสำคัญ เช่น ทองแดง (copper) โลหะผสมของทองแดง (copper base alloy) อะลูมิเนียม (aluminium) โลหะผสมของอะลูมิเนียม (aluminium base alloy) เป็นต้น

1.2.2 อโลหะ (Non-metals) อโลหะจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ สารธรรมชาติ (Natural substance) กับสารสังเคราะห์ (Synthetic substance) ซึ่งก็มีใช้กันอยู่มากมายในวงการอุตสาหกรรม

1.3 Aluminum Alloy AC8A ใช้ในการทำลูกสูบเครื่องยนต์ ซึ่งจะต้องรับความเค้นเนื่องจากแรงแปรแบบสลับที่อุณหภูมิสูงอยู่ตลอดเวลา สภาวะของลูกสูบขณะเครื่องยนต์ทำงาน โดยปกติแล้วจะมีจังหวะ ดูด-อัด-ระเบิด-คาย ทำให้เกิดความดันสูง และต่ำสลับกันไป และอุณหภูมิขณะเครื่องยนต์ทำงานนั้น มีค่าสูงตลอดเวลา การกระจายของอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้ว heat-flux จะสูงที่สุดที่หัวกระบอกสูบ ตำแหน่งที่วาล์วไอเสีย และบริเวณศูนย์กลางของกระบอกสูบ และต่ำสุดที่ผนังกระบอกสูบ โดยทั่ว ๆ ไปแล้วลูกสูบเหล็กหล่อ จะทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า Aluminum ประมาณ 40-80 c ในกรณีของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ลูกสูบจะร้อนที่สุด ตรงศูนย์กลาง ส่วนเครื่องยนต์ดีเซล จะร้อนที่สุดบริเวณผิวขอบ และบริเวณ Pre-chamber ดังรูปที่ 1.1 วัดการกระจายของอุณหภูมิของลูกสูบที่ 3000 รอบ/นาที (full load) ระยะชัก 125 mm อัตราส่วนกำลังอัด = 17



รูปที่ 1.1 การกระจายของอุณหภูมิในลูกสูบเครื่องยนต์ดีเซล

อุณหภูมิสูงสุดตาม que เห็นในรูป ใช้ เป็นสภาวะในการทดสอบความล้าของ อลูมิเนียมอัลลอยด์ (AC8A) ที่อุณหภูมิสูง

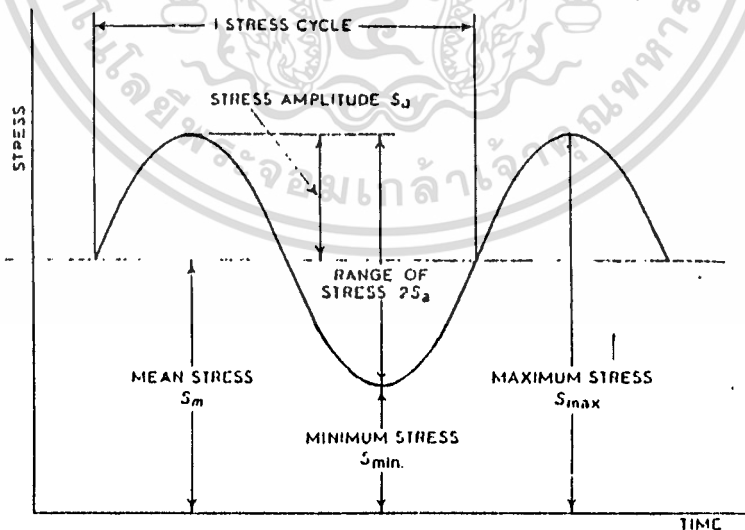
1.4 ความล้าของวัสดุ ปัจจุบันความเสียหายของวัสดุ จะเกิดจากความเสียหายเนื่องจากการล้า คือการที่วัสดุถูกกระทำด้วยแรงแปร (cycle or fluctrating load) ซึ่งจะมีผลให้ ชิ้นงานเกิดการเสียหายที่ค่าความเค้นต่ำกว่าการกระทำด้วยแรงคงที่

สาเหตุสำคัญของ fatigue failure ได้แก่

1. ค่า Maximum Tensile Stress ที่สูงพอ
2. แรงแปรที่มีขนาดใหญ่มากที่มากระทำ
3. จำนวนครั้งหรือรอบมากพอ

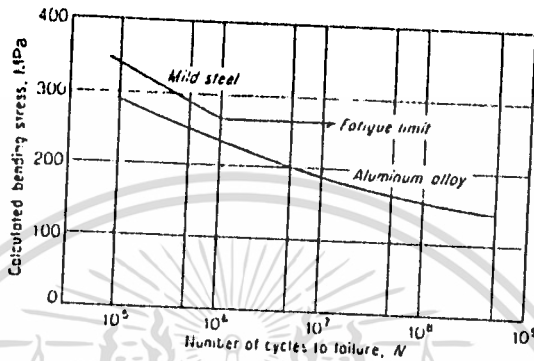
นอกจากนี้ยังมีตัวแปรอื่น ๆ อีก เช่น การสึกกร่อน, อุณหภูมิ, การโอเวอร์โหลด Stress Concentration เป็นต้น

ในเรื่องของความล้านี้ สมมติรูปของความเค้นที่กระทำต่อวัสดุเป็นแบบวัฏจักร (stress cycle) กระทำอย่างต่อเนื่องเพื่อที่จะคำนวณได้ เพราะโดยทั่วไปแล้ว แรงจะเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ไม่ทราบแน่นอน สามารถสมมติแรงแทนโดยการกระทำเป็น cycle ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 Fatigue Stress cycle

การที่วัสดุถูกกระทำด้วยแรงความเค้นสลับกันไป จะทำให้วัสดุเกิดการแตกหักได้ แม้ว่าแรงที่มากระทำนั้นต่ำกว่า yield strength ก็ตาม หากทำการทดลองความล้า สามารถนำผลการทดลองมาเขียนลงบน Semilogarithmic scale จะมีค่าความเค้น  $S$  แทนแกน  $y$  และจำนวนรอบที่วัสดุขาด หรือจำนวนรอบที่กำหนด ( $N$ ) แทนแกน  $x$  จะได้กราฟลักษณะดังรูป 1.3



รูปที่ 1.3 S-N curve

จากกราฟรูปที่ 1.3 กราฟแบ่งเป็น 2 แบบโดย

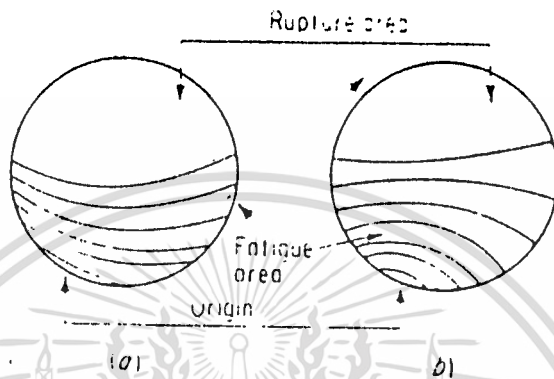
- แบบที่ 1 เป็นโลหะประเภทเหล็ก เมื่อความเค้นลดลง รอบจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง แม้ว่าจะทำการทดสอบเป็นเวลานาน ชิ้นงานก็จะไม่เกิดการเสียหาย ซึ่งที่จุดนี้ กราฟ S-N curve จะขนานกับแกน  $x$  สำหรับโลหะประเภทเหล็กค่าความเค้นของจุดนี้อยู่ที่ประมาณ 10 ล้าน รอบ และกราฟที่จุดนี้มีลักษณะหักมุม

- แบบที่ 2 โลหะผสมที่ไม่ใช่เหล็กบางชนิด เส้นกราฟจะไม่มีส่วนที่ขนานกับแกน  $x$  และไม่มีจุดหักมุม เพราะฉะนั้นขีดจำกัดของความล้าจึงกำหนด โดยการให้ค่า stress ที่รับได้ เมื่อให้แรงกระทำตามจำนวนครั้งที่กำหนด ตัวอย่างของโลหะประเภทนี้ ได้แก่ ทองเหลือง ทองแดง อลูมิเนียม และแมกนีเซียม

สำหรับรอยแตกหักที่เกิดจากการล้าสามารถสังเกตได้จาก fracture Surface ของชิ้นงานโดยเราจะเห็นเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่ค่อนข้างเรียบ และส่วนที่หยาบกว่า ส่วนเรียบจะเกิดจากการเสียดสีกันของพื้นผิว ขณะรอยแตกกำลังก่อตัว

ชั้น ส่วนที่หยาบกว่าเกิดจากพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่เหลือไม่สามารถทนต่อแรงกระทำได้อีก

ลักษณะการกระจายของรอยแตกถ้าหากเรานำชิ้นงานไปตรวจผิว จะเห็นลักษณะของรอยแตกจากการล้า มีลักษณะเป็นคลื่น โดยมีจุดเริ่มต้นที่ผิวก่อนแล้วจึง เกิดเข้าไปด้านใน คลื่นแต่ละวงนั้น จะเกิดจากการกระทำของแรงในแต่ละรอบ ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 ผิวของชิ้นงานที่เกิดความล้าจะมีลักษณะเป็นคลื่น

ส่วนใน รูปที่ 1.5 เป็นรูปของผิวที่เกิดจากการกระทำของแรงในแต่ละแบบ

| Stress condition                   | 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 1.5 ผิวที่เกิดจากการกระทำของแรงในแต่ละแบบ

### 1.5 วัสดุและชิ้นงานในการทดสอบ

ในการทดสอบนี้ วัสดุที่ใช้ในการทดสอบคือ อลูมิเนียมผสม AC8A (Aluminium Alloy AC8A) ซึ่งมีคุณสมบัติและส่วนประกอบทางเคมีตามมาตรฐาน JIS H 5202 ดังในตารางที่ 1 และ 2 ส่วนในตารางที่ 3 เป็นส่วนผสมทางเคมีของวัสดุที่นำมาทดสอบ

| Grade                                | Designation | Category of alloy    | Classification of mold            | Reference                |                                                                                                                                                  |                                                                                |
|--------------------------------------|-------------|----------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
|                                      |             |                      |                                   | Equivalent name of alloy | Specific feature of alloy                                                                                                                        | Example of application                                                         |
| Aluminium alloy casting<br>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<br>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<br>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<br>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                                             |

ตารางที่ 1.1 Classification of Aluminium Alloy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Designation | Chemical composition % |              |             |           |           |           |             |           |           |           |           |          |
|-------------|------------------------|--------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
|             | Cu                     | Si           | Mg          | Zn        | Fe        | Mn        | Ni          | Ti        | Pb        | Sn        | Cr        | Al       |
| AC 7 A      | 0.10 max.              | 0.20 max.    | 1.5 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.

ตารางที่ 1.2 ส่วนประกอบทางเคมีของอลูมิเนียมผสม

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

ตารางที่ 1.3 ส่วนประกอบทางเคมีของหินงานทดสอบ

\*\*\*\*\* (ข้อมูลจากบริษัทผู้นำเข้า) \*\*\*\*\*

คุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือคุณสมบัติทางกล ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการนำไปใช้งานคุณสมบัติทางกลนี้ได้กำหนดจากมาตรฐานของ JIS H 5202 ดังแสดงในตารางที่ 4 และจากมาตรฐานนี้จะได้นำไปเปรียบเทียบกับผลจากการทดสอบชิ้นงานที่ทำมา

| Grade     | Subdivision of quality                       | Designation | Tensile test                                                     |                 |                                       | Reference      |          |                  |               |                |               |
|-----------|----------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|----------------|----------|------------------|---------------|----------------|---------------|
|           |                                              |             | Tensile strength<br>kgf/mm <sup>2</sup><br>{ N/mm <sup>2</sup> } | Elongation<br>% | Brinell hardness<br>HB(10/<br>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.<br>{ 216 min.}                                           | 12 min.         | Approx.<br>60                         |                |          |                  |               |                |               |
| Grade 7 B | Solution treated, and quenched (air cooling) | AC 7 B-T 4  | 30 min.<br>{ 294 min.}                                           | 10 min.         | Approx.<br>75                         |                |          | Approx.<br>430   | Approx.<br>18 |                |               |
| Grade 8 A | As cast                                      | AC 8 A-F    | 18 min.<br>{ 177 min.}                                           | —               | Approx.<br>85                         |                |          |                  |               |                |               |
|           | Tempered                                     | AC 8 A-T 5  | 20 min.<br>{ 196 min.}                                           | —               | Approx.<br>90                         |                |          |                  |               | Approx.<br>200 | Approx.<br>4  |
|           | Solution treated, and quenched and tempered  | AC 8 A-T 6  | 28 min.<br>{ 275 min.}                                           | —               | Approx.<br>110                        |                |          | Approx.<br>510   | Approx.<br>4  | Approx.<br>170 | Approx.<br>10 |
| Grade 8 B | As cast                                      | AC 8 B-F    | 18 min.<br>{ 177 min.}                                           | —               | Approx.<br>85                         |                |          |                  |               |                |               |
|           | Tempered                                     | AC 8 B-T 5  | 19 min.<br>{ 186 min.}                                           | —               | Approx.<br>90                         |                |          |                  |               | Approx.<br>200 | Approx.<br>4  |
|           | Solution treated, and quenched and tempered  | AC 8 B-T 6  | 28 min.<br>{ 275 min.}                                           | —               | Approx.<br>110                        |                |          | Approx.<br>510   | Approx.<br>4  | Approx.<br>170 | Approx.<br>10 |
| Grade 8 C | As cast                                      | AC 8 C-F    | 18 min.<br>{ 177 min.}                                           | —               | Approx.<br>85                         |                |          |                  |               |                |               |
|           | Tempered                                     | AC 8 C-T 5  | 21 min.<br>{ 206 min.}                                           | —               | Approx.<br>90                         |                |          |                  |               | Approx.<br>200 | Approx.<br>4  |
|           | Solution treated, and quenched and tempered  | AC 8 C-T 6  | 28 min.<br>{ 275 min.}                                           | —               | Approx.<br>110                        |                |          | Approx.<br>510   | Approx.<br>4  | Approx.<br>170 | Approx.<br>10 |

ตารางที่ 1.4 คุณสมบัติทางกลของอลูมิเนียมผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

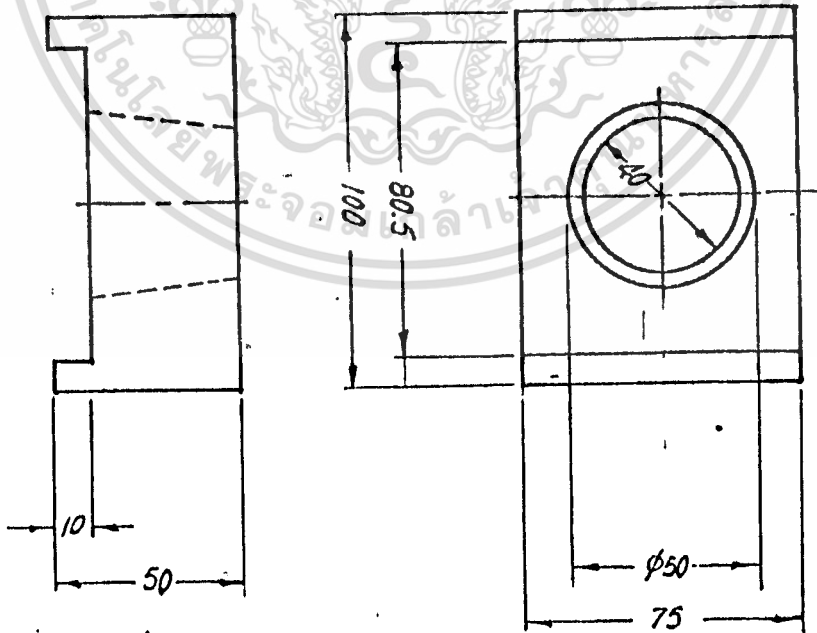
1.6 ขั้นตอนการหล่อ



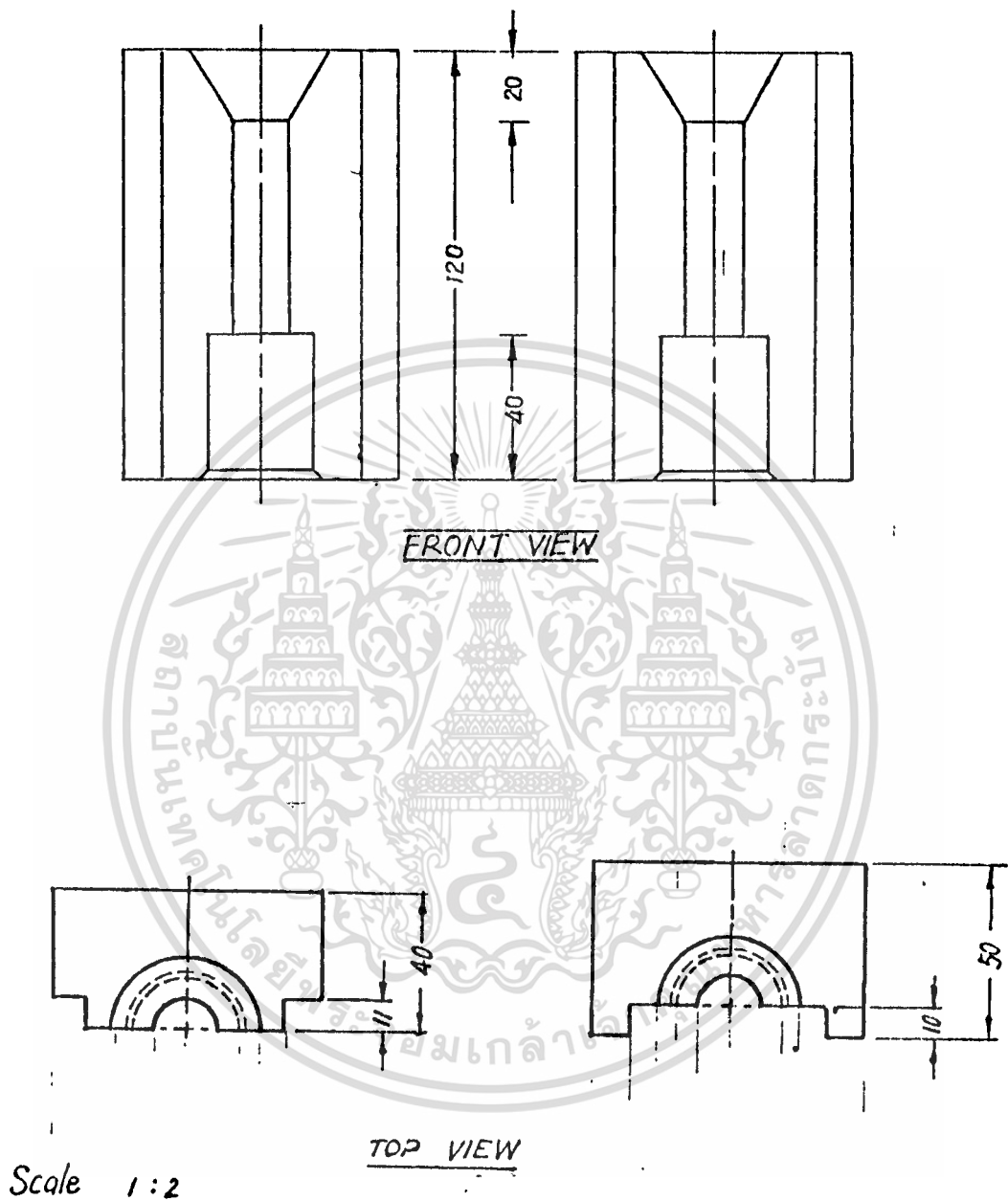
การหล่อโดยวิธีขึ้นตัวเป็นการแข็งตัวในทิศทางเดียว จะต้องควบคุม การเย็นตัวให้เย็นตัวในทิศทางเดียว ฉะนั้นจะต้องมีอุปกรณ์ในการควบคุมการเย็นตัว ในการทดสอบนี้ให้การเย็นตัวจากด้านล่างก่อน แล้วจึงขึ้นไปด้านบน

1.6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการหล่อ มีดังต่อไปนี้

- แบบหล่อ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน เพื่อให้ง่ายแก่การถอดแบบช่วยการเย็นตัว, และช่วยไล่ฟองอากาศในชิ้นงาน ขณะเย็นตัว โดยส่วนบน และส่วนกลางทำมาจากกราฟไฟต์ ส่วนล่างทำมาจากเหล็กดัดแสดงในรูปที่ 1, 2, 3
- เต้าไฟฟ้า ใช้สำหรับหลอมอลูมิเนียม
- เบ้าหลอม
- คีมจับเบ้าหลอมและคีมจับแบบ
- ชุดหล่อเย็น
- อีฐทนไฟ
- Thermocouple

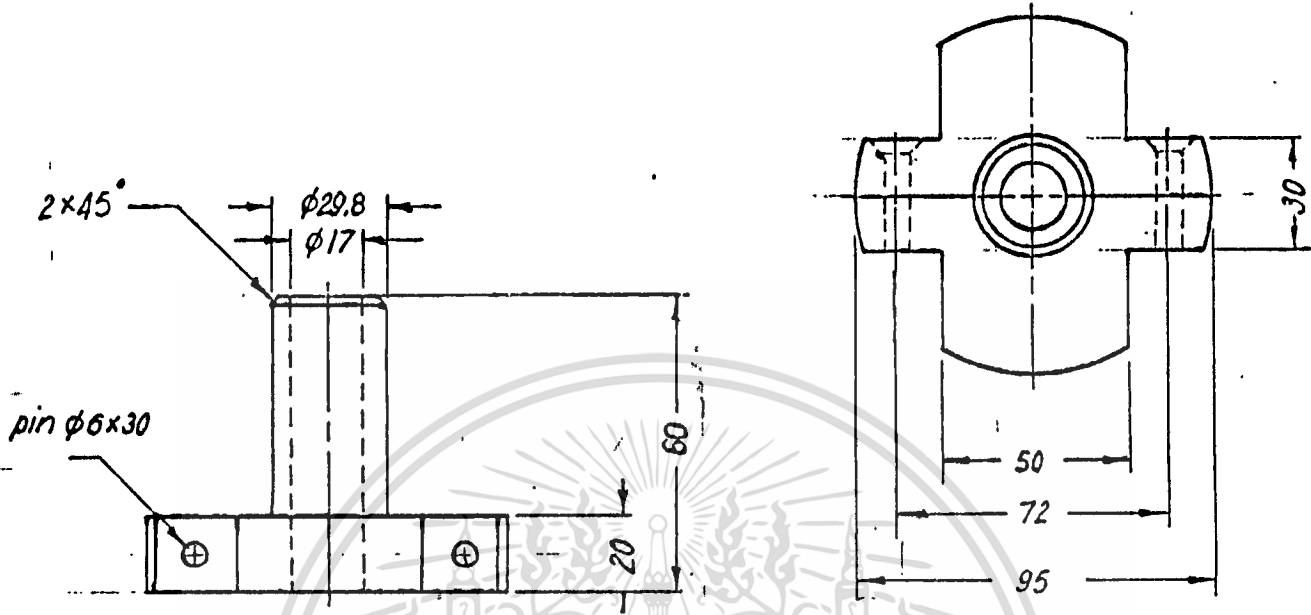


รูปที่ 1.6 โบลส่วนบนเป็นโบลกราฟไฟต์ (Top part of mold or riser mold)

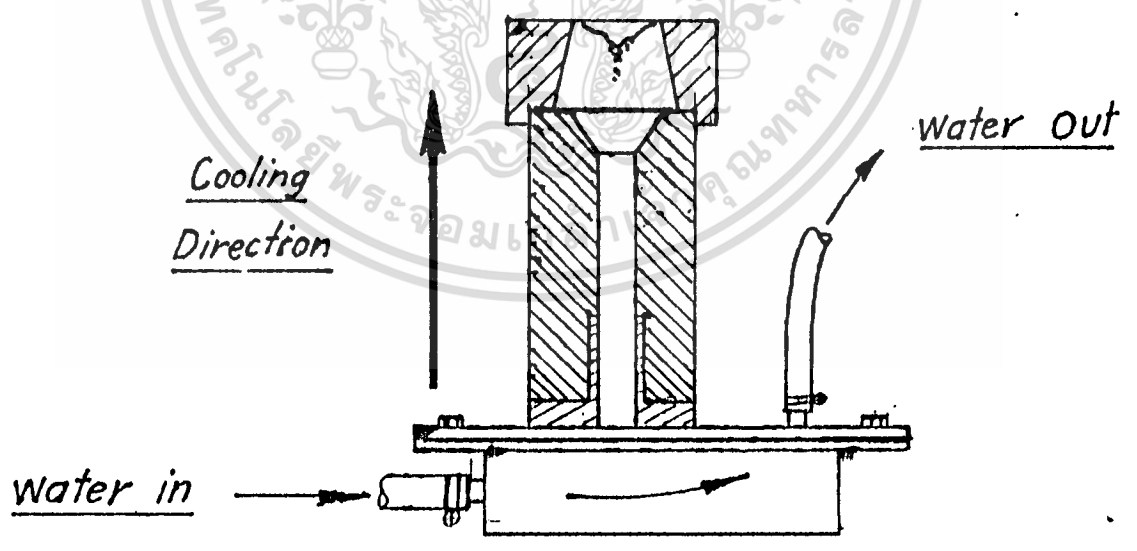


รูปที่ 1.7 โพลส่วนกลางเป็นโพลกราไฟต์ (Middle part of mold)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.8 โหมดส่วนล่างเป็นโมดเหล็ก (Bottom part of mold)



รูปที่ 1.9 ระบบควบคุมความเย็น (Cooling water system)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

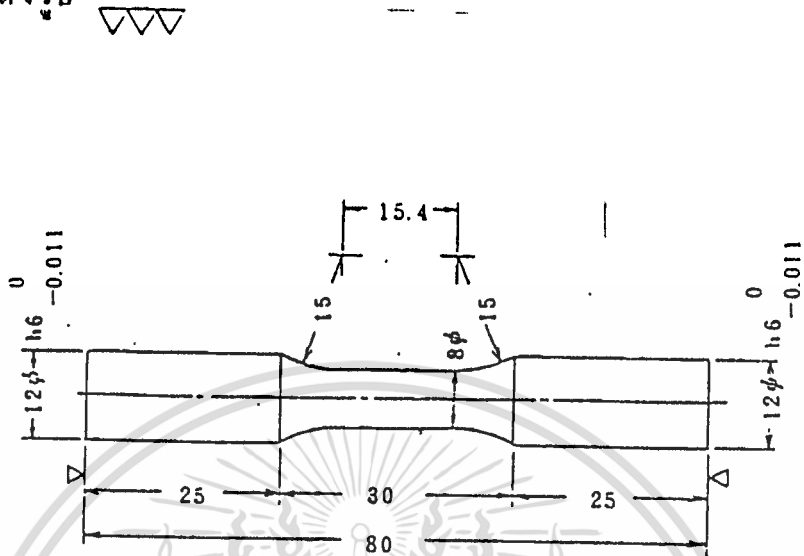
### 1.6.2 กรรมวิธีการหล่อ

- 1 นำอลูมิเนียมใส่เข้าหลอมและนำใส่ในเตา พร้อมทั้งโมลกราไฟต์ (ส่วนกลางและส่วนบน) จนมีอุณหภูมิถึง 700 C
- 2 นำเอาโมลกราไฟต์ส่วนกลาง มาสวมเข้ากับโมลเหล็ก และนำโมลส่วนบนมาสวมเข้ากับโมลส่วนกลาง ซึ่งโมลทั้งหมดนี้วางอยู่บนชุดหล่อเย็น
- 3 นำอลูมิเนียมหลอมเหลวออกมาจากเตา วัดอุณหภูมิ ด้วย tercouple พร้อมทั้งตัก slag ออกช้า ๆ และกวานอย่างช้า ๆ จนกระทั่งมีอุณหภูมิ 670 C
- 4 เทนำอลูมิเนียมเหลว ลงไปในแบบหล่อ ที่เตรียมไว้ อุณหภูมิ 650
- 5 นำอิฐทนไฟอุณหภูมิ 650 C ปิดส่วนบนของโมลไว้ พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่อเย็น



### 1.7 การเตรียมชิ้นงาน

ชิ้นงานที่นำมาทดสอบ จะต้องมีขนาดได้มาตรฐานการทดสอบ มีขนาด และรูปร่างดังรูป

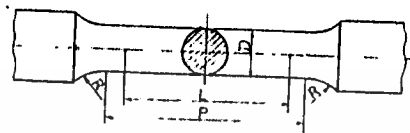


รูปที่ 1.10 รูปร่างและขนาดในการทดสอบการล้า

#### กรรมวิธีการทำที่งาน

1. ตัดส่วนที่เป็น riser mold ออก
2. นำไปกลึงหยาบและกลึงละเอียดตามลำดับ
3. ทำการขัดผิวตามแนวยาว เพื่อลบรอยที่เกิดจากการกลึงด้วย

กระดาษทราย ขนาด 1000 ขัดด้วยน้ำ

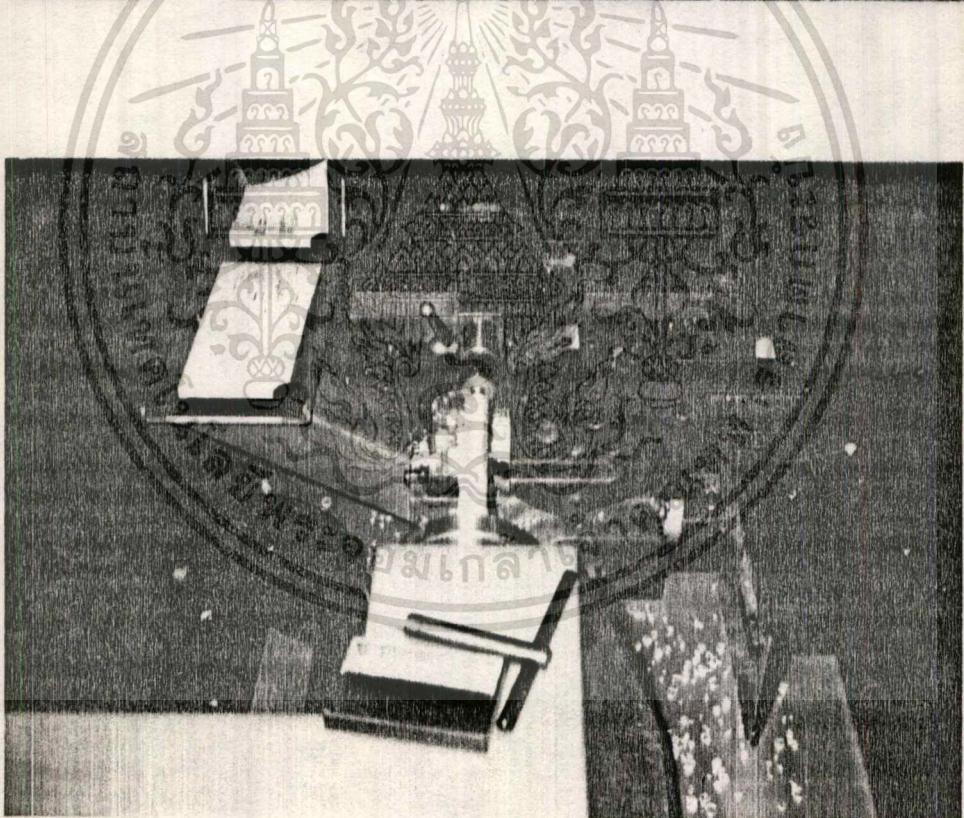
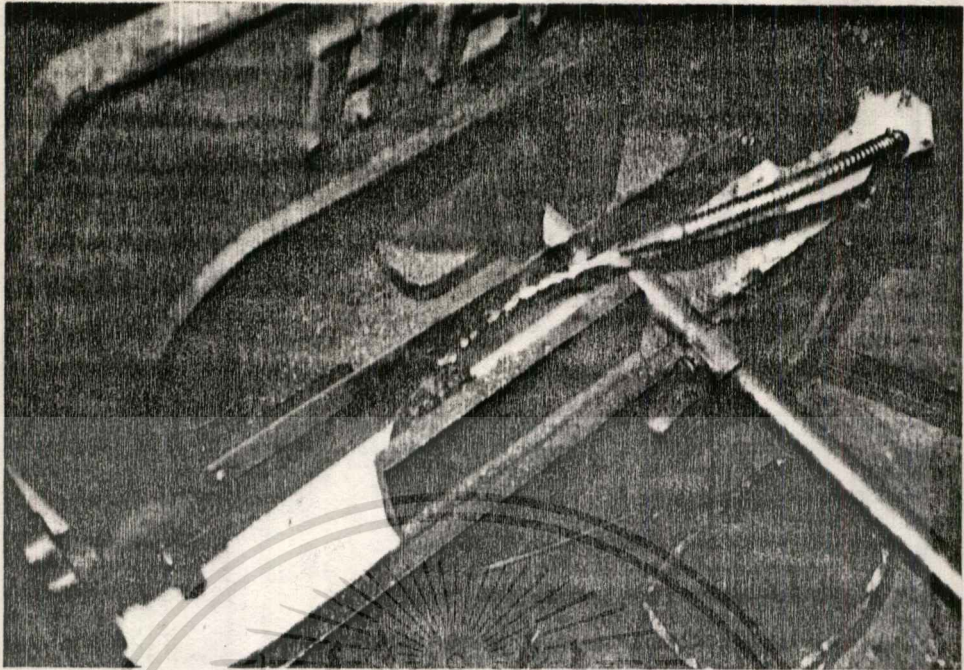


Unit: mm

| Diameter<br>D | Gauge length<br>L | Parallel length<br>P | Radius of fillet<br>R |
|---------------|-------------------|----------------------|-----------------------|
| 14            | 50                | approx. 60           | 15 min.               |

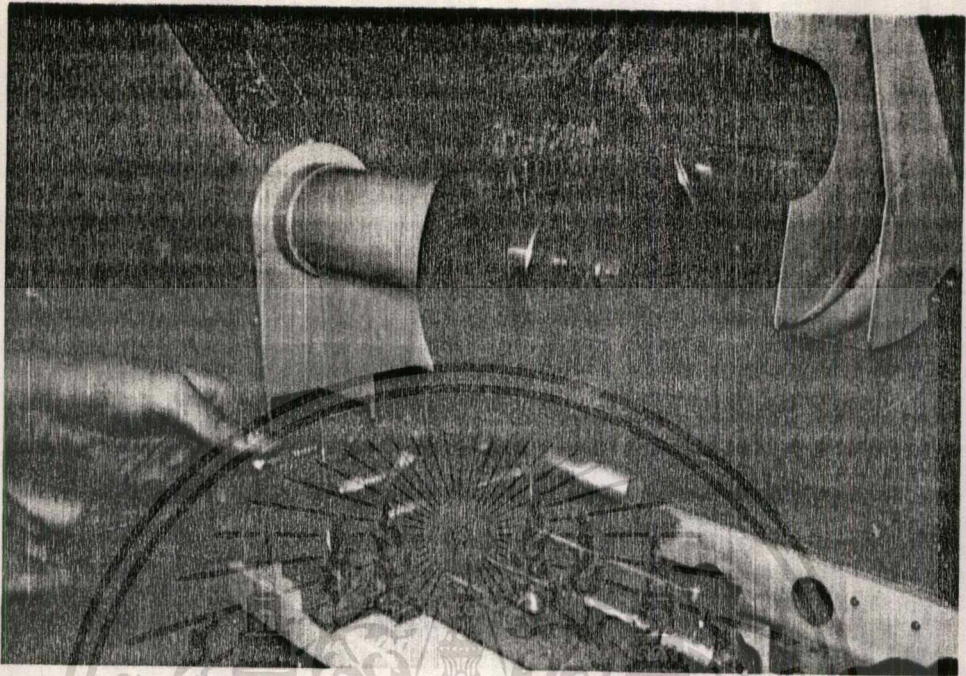
- Remarks
1. The parallel portion of this test piece shall be machine-finished. However, that of malleable casting shall, as a rule, not be finished.
  2. If the test piece of the dimensions as specified in Fig. 4 can not be obtained, the diameter of parallel portion and the gauge length may be determined in accordance with the formula  $L = 4/\sqrt{A}$ , where A is the cross-sectional area of parallel portion.

รูปที่ 1.11 รูปร่างและขนาดในการทดสอบแรงดึง



รูปที่ 1.12 กระบวนการเตรียมทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.13 การตัดหัวชิ้นงานส่วนที่เกินมาจากการกลึงให้ได้ขนาด



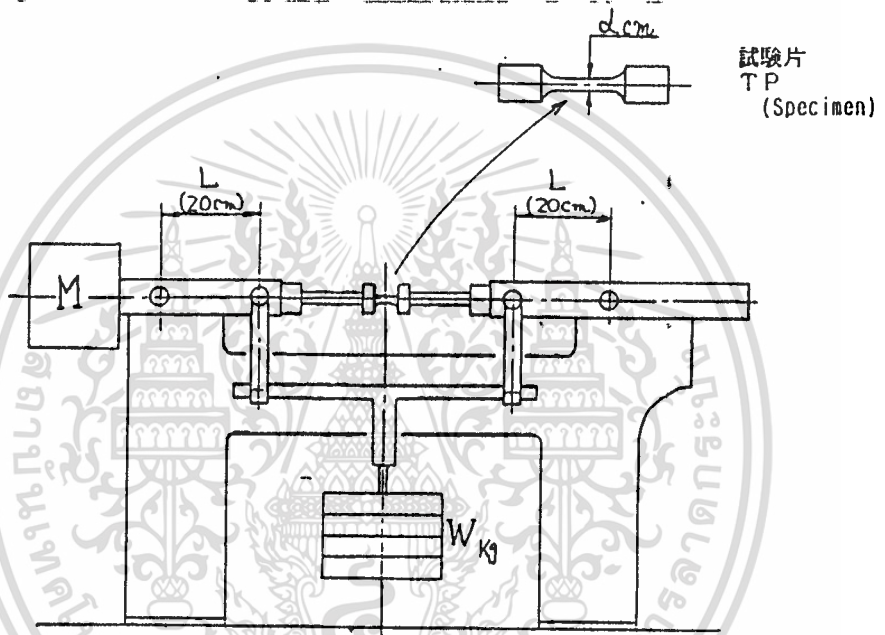
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การคำนวณ

2.1 การคำนวณ Bending Stress

การคำนวณหา Bending Stress สามารถหาได้โดยดูลักษณะของ เครื่องที่ทำการทดสอบแล้วทำการหาโมเมนต์และคิด Bending Stress รูปที่ 2.1 เป็นลักษณะของ เครื่องที่ใช้ในการทดสอบในครั้งนี้ เขียนเป็น Diagram ได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 เครื่องทดสอบความต้านทานการส้า

จากรูปสามารถคำนวณค่า Bending Stress ได้ดังนี้

|       |                                        |   |                       |
|-------|----------------------------------------|---|-----------------------|
| กำหนด | Distance Between Load Supporting Point | : | L cm (20 cm)          |
|       | Weight                                 | : | W kg                  |
|       | Diameter of Specimen                   | : | d cm                  |
|       | Uniform Bending Stress                 | : | M kgf/cm              |
|       | Bending Stress given to specimen       | : | S kgf/cm <sup>2</sup> |

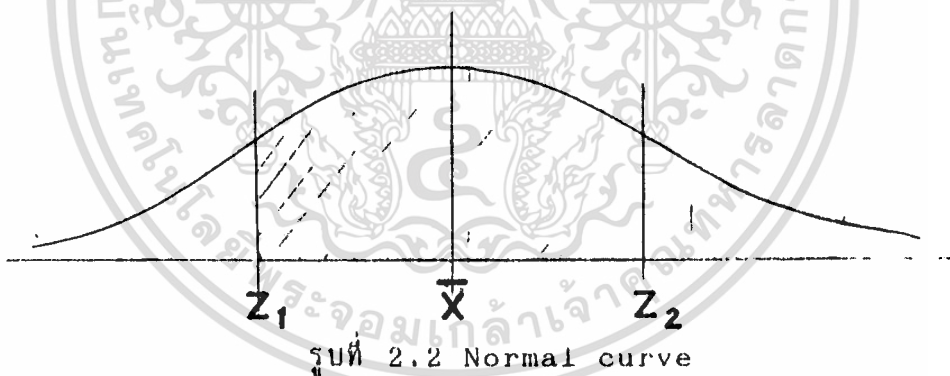
จะได้  $M = WL/2$  (1)

$$\begin{aligned}
 S &= 32M/d^3 \\
 &= 320W/d^3 \\
 &= 101.81W/d^3 \text{ kgf/cm}^2 \\
 &= 9982.18W/d^3 \text{ MPa}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

\* (สำหรับ One'high temperature rotary bending fatigue testing machine model H7 มีค่า  $L = 20$ )\*

### 2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง มีจำนวนมาก และมีกระจายกันออกไป จึงต้องหาข้อมูลที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน โดยใช้วิธีการทางสถิติพิจารณา ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ (Normal curve) ซึ่งมีลักษณะกราฟดัง รูปที่ 2.2



ให้  $Pr$  เป็นความน่าจะเป็นที่ข้อมูลจะถูกตัดออก (ยอมรับได้) หรือความน่าเชื่อถือของข้อมูล ดังนั้นความน่าจะเป็นที่ข้อมูลจะถูกตัดออก คือ พื้นที่ใต้กราฟ จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 Pr &= Pr( Z_1 < Z < Z_2 ) \\
 &= Pr(Z_2) - Pr(Z_1)
 \end{aligned}$$

ในกรณีการกระจาย 2 ซ้ำกันเท่ากัน  $-Z_1 = Z_2 = Z$

จากสมการ

$$Z = \frac{x - \bar{X}}{\sigma}$$

จะได้ว่า

$$x = \bar{X} + Z_{1,2}\sigma \tag{3}$$

$$= \bar{X} \pm Z\sigma \tag{4}$$

เมื่อ  $x$  เป็นช่วงของข้อมูลที่ความน่าจะเป็น

$\bar{X}$  เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูล

$\sigma$  เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$Z$  ได้จากตาราง\*(ในภาคผนวก)

ดังนั้นหากวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมาก และทำการทดลองซ้ำ ๆ กัน  
หลายครั้งในแต่ละเหตุการณ์ จะมีลักษณะ เช่นดัง รูปที่ 2.3 ซึ่งเป็นลักษณะของการทดสอบนี้



รูปที่ 2.3

เมื่อทำการตัดข้อมูลที่ไม่ว่ายในขอบเขตที่ต้องการแล้วนำข้อมูลมาหา  
ความสัมพันธ์ โดยวิธีการทดสอบ ( Regression analysis )

ให้ความสัมพันธ์คือ

$$s_b = A \cdot N^B \quad (2)$$

เมื่อ  $s_b$  = bending stress (MPa)

$N$  = number of cycle

ทำการ take ln ทั้งสองข้างเพื่อให้เป็นสมการเส้นตรง

$$\ln s_b = \ln A + B \ln N$$

สามารถหาค่า B ได้โดย

$$B = \frac{\sum \ln s_b \cdot \ln N - n \ln N \cdot \sum \ln s_b}{(\ln N)^2 - n(x)^2} \quad (3)$$

$$\ln A = \ln s_b - B \cdot \ln N \quad (4)$$

ส่วนค่า R หาได้จากสมการ

$$R = \frac{n \cdot \sum \ln s_b \cdot \ln N - (\sum \ln N)^2}{(n \cdot \sum (\ln s_b)^2 - (\sum \ln s_b)^2)} \quad (5)$$

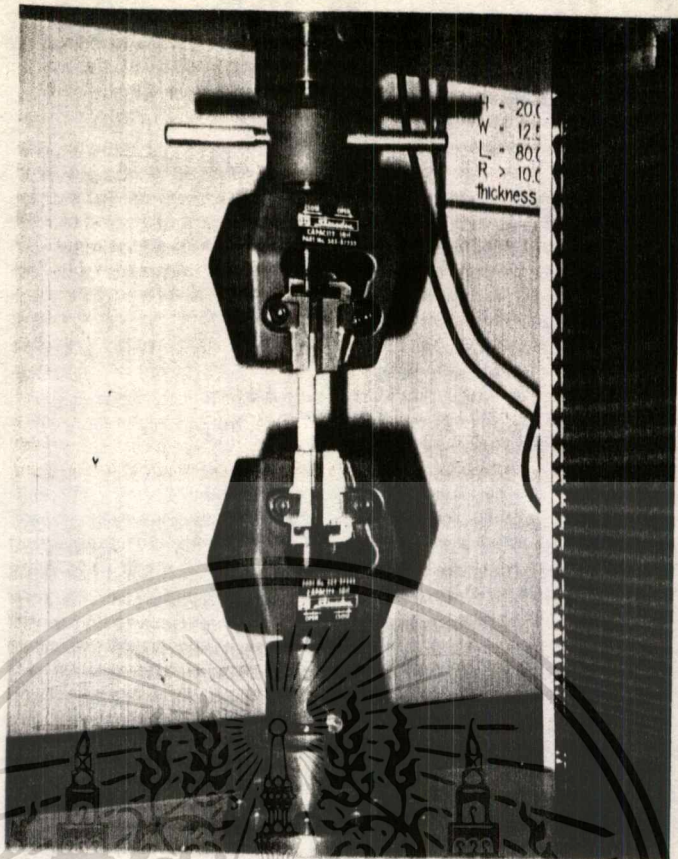
### บทที่ 3

การทดสอบแรงดึง, การล้า, การตรวจสอบความหยาบของผิว

#### 3.1 การทดสอบแรงดึง

เป็นการทดสอบเพื่อหา ความแข็งแรงพื้นฐานของวัสดุ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ มีวิธีการคือ เมื่อได้ชิ้นงานตามขนาดแล้วนำไปยึดเข้ากับหัวยึดชิ้นงาน ทนให้แน่น ทำการหีดค่าต่างๆดังนี้

- Test mode                    single tention
- Test speed                    0.10 mm/min
- Traverse speed                50.0 mm/min
- Return position                5.00 mm
- Record mode                    x-p
- x-axis                            load
- Load cell                        10000 kgf
- F/S load                         5000 (\*) kgf



รูปที่ 3.1 การทดสอบ tensile test.

3.2 การตรวจสอบความหยาบของผิว

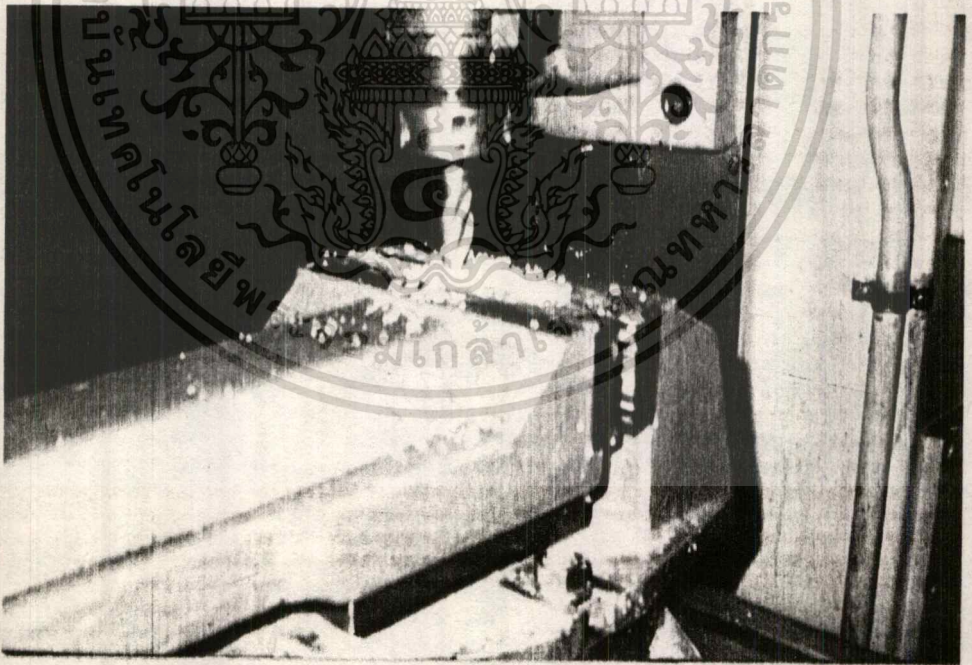
เนื่องจากกรรมวิธีการเตรียมชิ้นงาน จะต้องผ่านการตัด และการขัด ซึ่งกรรมวิธีการเหล่านี้จะทำให้เกิดรอยขีด และ เป็นจุดอ่อนของชิ้นงานได้ จึงต้องขัดให้ละเอียด และทำการตรวจสอบความหยาบ ไม่ควรเกินเกิน  $0.15 \mu\text{mRa}$  ในการทดสอบ จะต้องทำการสุ่มเลือกชิ้นงานขึ้นมาแล้วนำไปทดสอบกับเครื่องทดสอบความหยาบ

3.2.1 การตรวจสอบ Microstructure เป็นการตรวจสอบเพื่อ

ดูลักษณะ และการกระจายตัวของอนุภาคนิยมภายในเนื้อของชิ้นทดสอบ โดยการตัดผิวที่งานแล้วนำไปส่องกล้องขยาย

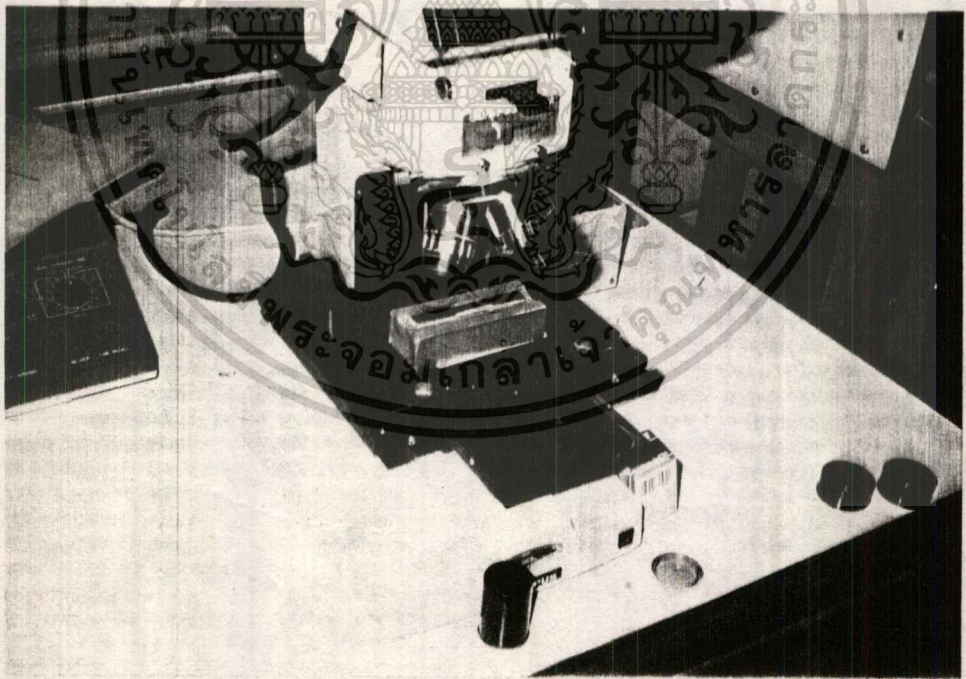
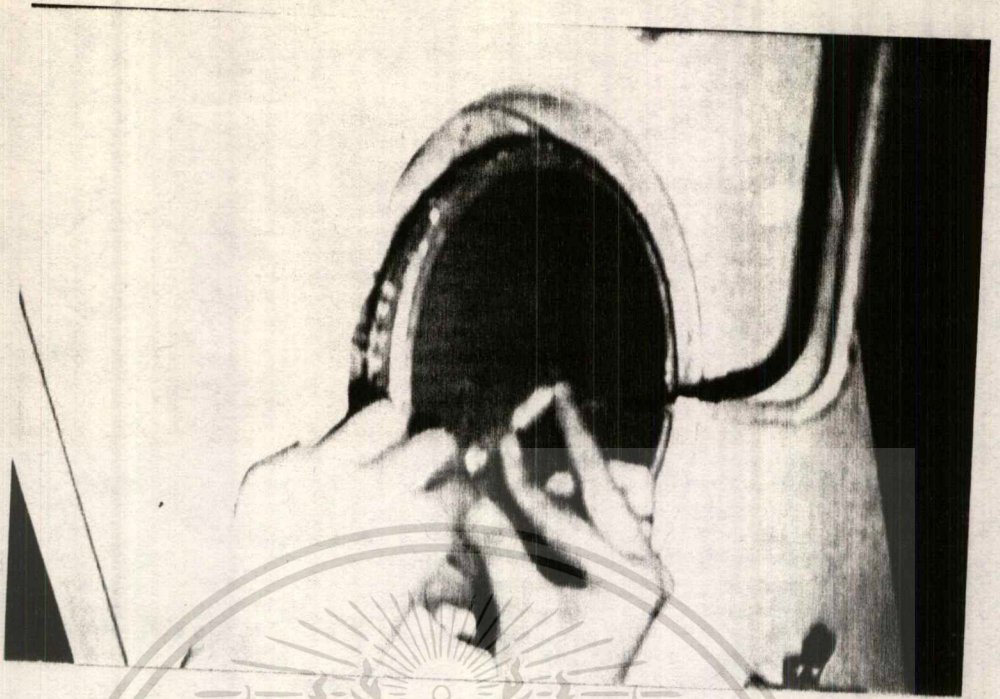
### ขั้นตอนการตรวจสอบ

1. สุ่มเลือกชิ้นงานทดสอบมาผ่าตรงกลาง
2. ตัดผิวหน้าด้วยกระดาษทราย เริ่มตั้งแต่เบอร์ 240 แล้วเปลี่ยนเป็นเบอร์ที่มีความละเอียดมากขึ้น คือ 320, 400, และ 1000 ตามลำดับ ใช้เครื่องขัดแบบจานหมุน ขัดไปในทิศทางเดียว เมื่อเปลี่ยนเบอร์กระดาษทรายจึงเปลี่ยนทิศทางให้ตั้งฉากกับทิศทางเดิม ทดะขัดให้เปิดน้ำเพื่อช่วยการคายเศษ
3. ตัดผิวงานให้เรียบเป็นเงา ด้วยจานขัดสีกลม และใช้ผงขัดขนาด 0.5 และ 0.3 ไมครอนตามลำดับ
4. นำโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เจือจาง (โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม ละลายลงในน้ำ 90 มิลลิลิตร) หยดลงบนชิ้นงาน ทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที ล้างออกด้วยแอลกอฮอล์ทันที เป่าให้แห้ง
5. นำไปส่องกล้องจุลทรรศน์



รูปที่ 3.2 การผ่าชิ้นงานด้วยเครื่องกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การส่องกล้อง

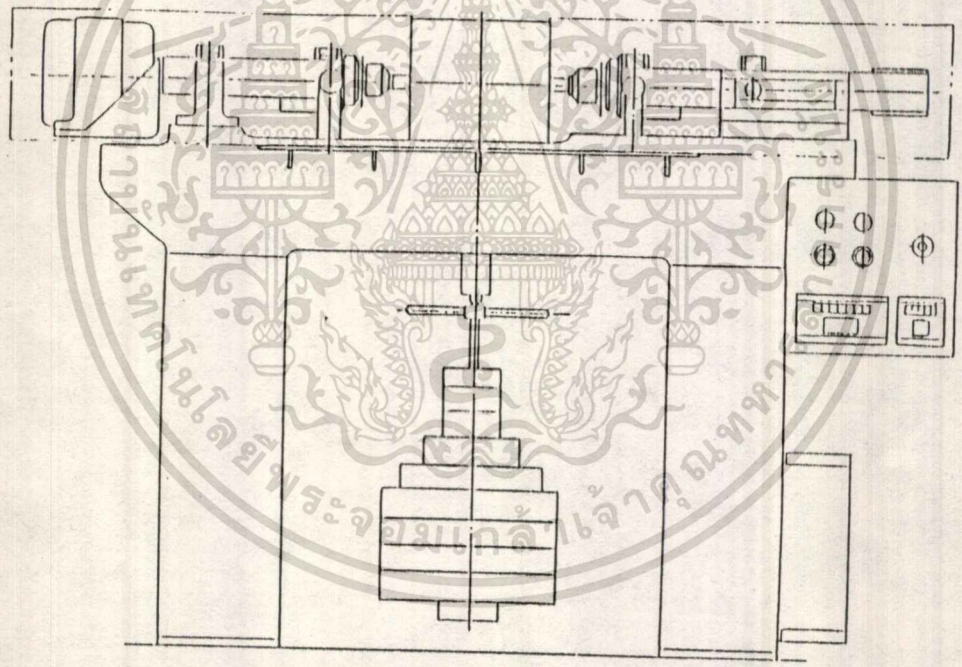
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดสอบความล้า ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในครั้งนี เป็นการศึกษาทดสอบความล้าแบบหมุนตัด ทดสอบโดยใช้เครื่องมือทดสอบความล้า Ono's High Temperature model 7 Rotating Bending Fatigue testing Machine ทดสอบที่อุณหภูมิ 260 C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงที่สุดในลูกสูบที่ 3000 รอบ/นาที จะสูงกว่ารอบที่ทดสอบเล็กน้อย

ส่วนประกอบของเครื่องทดสอบ

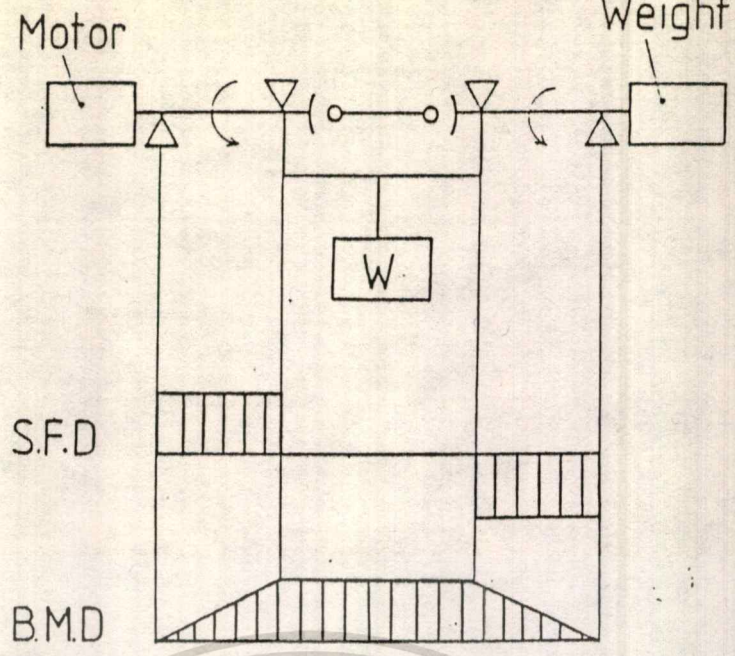
1. เครื่องทดสอบความล้า
2. เครื่องตั้งอุณหภูมิ

ลักษณะโครงสร้างภายนอกและหลักการทำงานของรูป



รูปที่ 3.5 Ono' High Temperature Bending Fatigue Testing Machine model H7

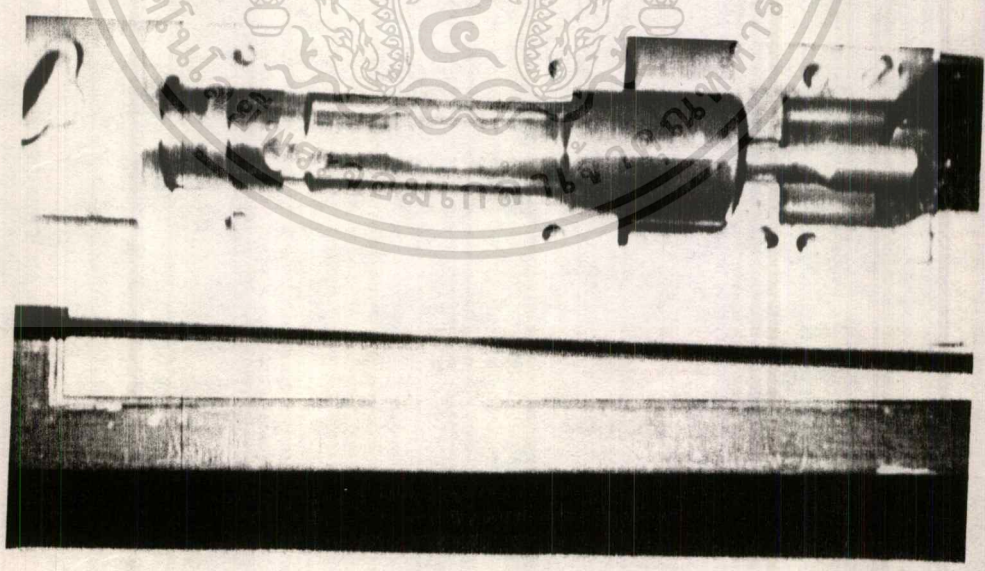
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 Principle of Rotating Bending Fatigue testing M/C, Shear force and Bending digram

3.3.1 การทดสอบความต้านทานการล้าที่อุณหภูมิสูง  
 ขั้นตอนการทดสอบ  
 1. ประกอบชิ้นงานเข้ากับหัวจับชิ้นงาน (chucking rod) ดัง

รูปที่ 3.7

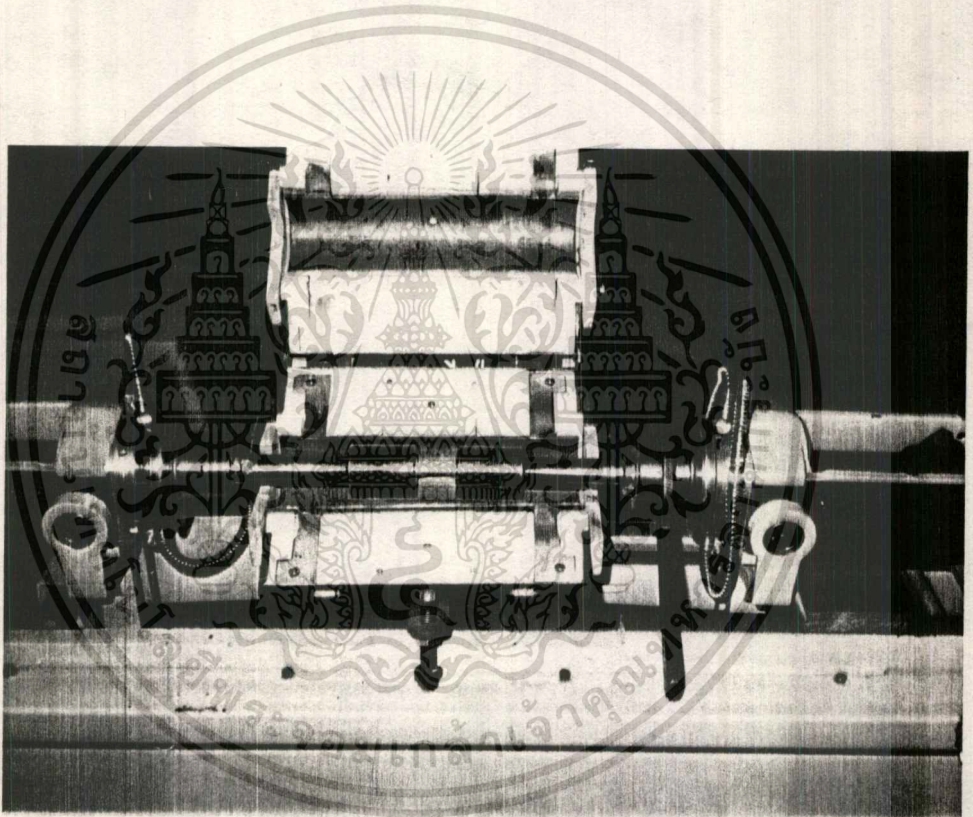


รูปที่ 3.7 การประกอบชิ้นงานเข้ากับหัวจับชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำ split nut ประกอบเข้ากับหัวจับชิ้นงาน และสวม cap nut โดยให้ปลายสุดของ cap nut ตรงกับขอบ split nut

3. จับจับหัวชิ้นงานตรงที่มีชิ้นงานเพื่อป้องกันการเกิด stress แล้วนำไปสวมเข้ากับแกนหมุนโดยสวมทางด้านซ้ายมือ (ด้านที่มีมอเตอร์) ก่อน จากนั้น จึงทำการสวมทางด้านขวามือ ชันให้แน่น ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การประกอบหัวจับชิ้นงานที่มีชิ้นงาน เข้ากับเครื่อง

4. ปรับอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการ โดยชุดให้ความร้อน เมื่อ  
ได้รับความร้อนตามต้องการแล้วจึงทำการเปิดเครื่องให้มอเตอร์หมุน
5. ปล่อน้ำหนักลงอย่างช้าๆ พร้อมทั้งปรับเครื่องนับรอบให้  
เป็น 0
6. ปรับ limit switch ให้พอเหมาะเพื่อให้มอเตอร์  
หยุดหมุนและชุดให้ความร้อนหยุดทำงานเมื่อขึ้นงานขาด
7. เมื่อขึ้นงานขาดให้บันทึกรอบ และน้ำหนัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Weight. (kg) | Stress (Mpa) |
|--------------|--------------|
| 3.0          | 58.59        |
| 3.5          | 68.36        |
| 4.0          | 78.12        |
| 4.5          | 87.89        |
| 5.0          | 97.65        |
| 5.5          | 107.42       |
| 6.0          | 117.18       |
| 6.5          | 126.95       |
| 7.0          | 136.71       |

ตารางที่ 5 Bending Stress

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 ผลจากการทดลอง

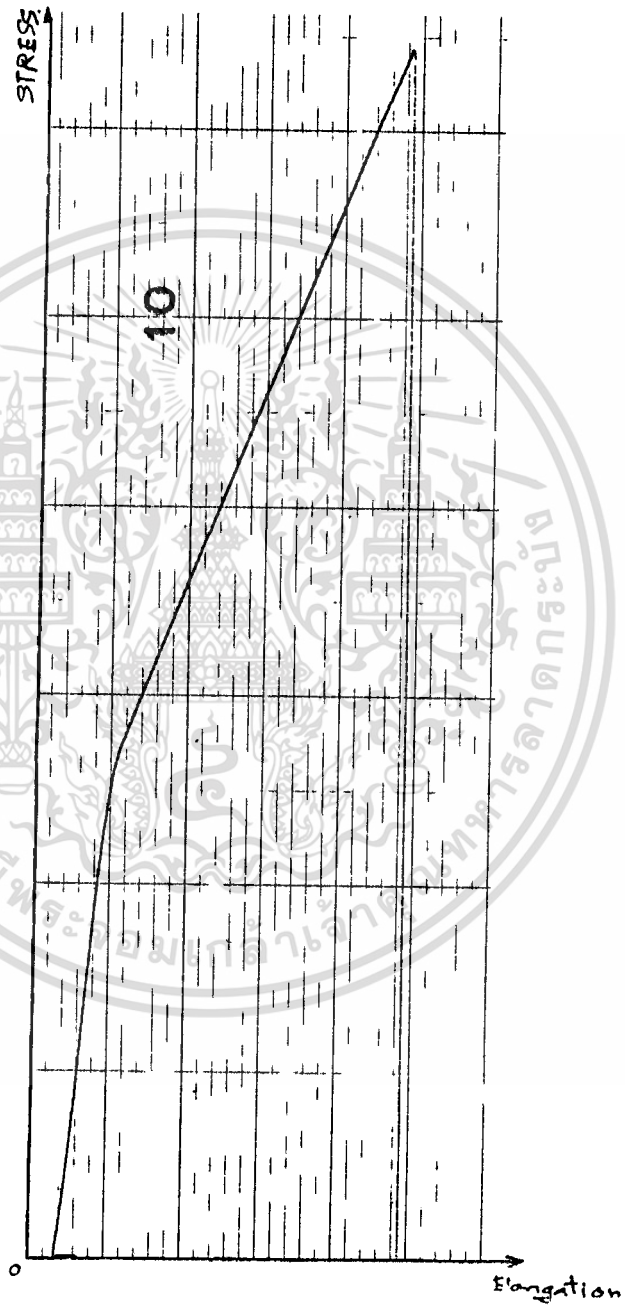
#### 3.4.1 ผลจากการทดสอบแรงดึง

จากการทดสอบแรงดึงจำนวน 2 ชิ้นได้ผลดังนี้

|                                       | No.1   | No.2   |
|---------------------------------------|--------|--------|
| Maximum Load (kgf)                    | 2849.6 | 3213.4 |
| Elongation (mm)                       | 3.8220 | 4.5330 |
| Maximum stress (kgf/mm <sup>2</sup> ) | 18.51  | 20.82  |
| Maximum stress (MPa)                  | 181.54 | 204.22 |
| Strain (%)                            | 7.6440 | 9.0660 |

ตารางที่ 3.2 ผลจากการทดสอบแรงดึง

ลักษณะของกราฟจะเป็นดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 กราฟจากการทดสอบ Tensile strength ของชิ้นงานหมายเลข 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟเราสามารถหาค่า proof stress ที่ 0.2 % strain ได้เท่าประมาณ 82.8 MPa

3.4.1 ผลจากการทดสอบความหยาบของชิ้นงานทดสอบ

ชิ้นงานที่นำไปทดสอบ 2 ชิ้น ชิ้นที่ 1 ยังไม่ได้ขัดกระดาษทราย ส่วนชิ้นที่ 2 ขัดกระดาษทรายกับน้ำ ได้ผลดังนี้

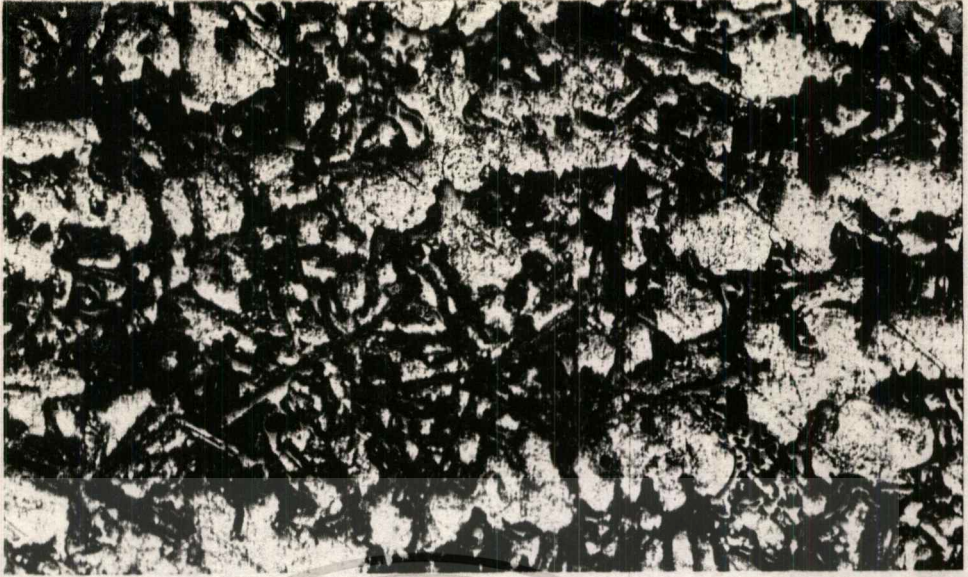
| ชิ้นที่ | ความหยาบ $\mu\text{M Ra}$ |
|---------|---------------------------|
| 1       | 1.15                      |
| 2       | 0.75                      |

ตารางที่ 3.3 ค่าความหยาบของชิ้นงาน

จะเห็นได้ว่าค่าความหยาบของผิว ค่อนข้างสูง

3.4.2 ผลจากการตรวจสอบ Microstructure

จากการตรวจสอบผิวของชิ้นงานจะเห็นถึงการขยายตัวของ Dendrite ซึ่งจะก่อตัวขึ้นเป็นก้านกระจายทั่วไป และจะเห็นเทลิทอนมีลักษณะเป็นเส้นหยาบตั้งรูป



รูปที่ 3.10 ภาพจุลโครงสร้างของอลูมิเนียมอัลลอย (AC8A) ที่หล่อได้  
 แสดงเส้น ซิลิกอนที่แทรกอยู่ในกลุ่มอลูมิเนียม

เนื่องจากการแข็งตัวของอลูมิเนียมเหลว ไม่สมบูรณ์จึงทำให้ก๊าซที่แยกตัว  
 ออกมายังมีหลงเหลืออยู่ และทำให้เกิดโพรงอากาศดังรูป



รูปที่ 3.11 โพรงอากาศในชิ้นวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการทดสอบความล้าของคอนกรีตสูง แสดงให้เห็นในตารางที่ 6 และนำมาเขียนกราฟ S-N curve (เป็นกราฟระหว่างความต้านทานการล้าแบบ หมุนตัด กับจำนวนรอบที่ชิ้นงานเสียหาย) ได้ดังในรูปที่ 3.12

เพื่อให้กราฟมีความถูกต้องมากขึ้น จึงทำการเฉลี่ยค่าโดยวิธีการทำ regression analysis ซึ่งค่าความเค้นที่ทำซ้ำกัน  $s_p$  สัมพันธ์กับจำนวน รอบที่เสียหาย N

| No | Specimen No. | load (kg) | Number of Cycle to failure |
|----|--------------|-----------|----------------------------|
| 1  | 17           | 3.0       | 10 000 000                 |
| 2  | 08           | 4.0       | 61 500                     |
| 3  | 09           | 4.0       | 553 500                    |
| 4  | 11           | 4.0       | 2 937 200                  |
| 5  | 14           | 4.0       | 1 402 600                  |
| 6  | 18           | 4.0       | 714 100                    |
| 7  | 21           | 4.0       | 721 400                    |
| 8  | 10           | 4.0       | 891 600                    |
| 9  | 12           | 4.0       | 4 617 900                  |
| 10 | 16           | 4.0       | 1 852 100                  |

ตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบการล้า

| No | Specimen No. | load (kg) | Number of Cycle to failure |
|----|--------------|-----------|----------------------------|
| 11 | 19           | 4.0       | 8 635 100                  |
| 12 | 30           | 4.5       | 1 283 000                  |
| 13 | 31           | 4.5       | 591 200                    |
| 14 | 32           | 4.5       | 495 000                    |
| 15 | 35           | 4.5       | 368 500                    |
| 16 | 38           | 4.5       | 884 000                    |
| 17 | *00*         | 4.5       | 275 400                    |
| 18 | 44           | 4.5       | 160 900                    |
| 19 | *00*         | 5.0       | 390 100                    |
| 20 | 01           | 5.0       | 350 300                    |
| 21 | 02           | 5.0       | 197 400                    |
| 22 | 04           | 5.0       | 180 200                    |
| 23 | 05           | 5.0       | 170 400                    |
| 24 | 06           | 5.0       | 159 200                    |
| 25 | 10           | 5.0       | 190 100                    |
| 26 | 36           | 5.5       | 945 400                    |
| 27 | 39           | 5.5       | 240 800                    |
| 28 | 45           | 5.5       | 185 600                    |
| 29 | 24           | 6.0       | 136 600                    |

ตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบการล้า (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| No | Specimen No. | load (kg) | Number of Cycle to failure |
|----|--------------|-----------|----------------------------|
| 30 | 25           | 6.0       | 152 600                    |
| 31 | 26           | 6.0       | 46 300                     |
| 32 | 27           | 6.0       | 66 900                     |
| 33 | 28           | 6.0       | 70 300                     |
| 34 | 41           | 6.5       | 82 500                     |
| 35 | 43           | 6.5       | 68 300                     |
| 36 | 36           | 6.5       | 52 100                     |
| 37 | 42           | 6.5       | 85 200                     |
| 38 | 37           | 6.5       | 94 400                     |
| 39 | 34           | 7.0       | 15 400                     |

ตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบการล้า (ต่อ)

จากข้อมูลที่ได้ตั้งในตารางที่ 3.4 นำมาหาขอบเขตของข้อมูล ที่จะนำไปใช้ โดยกำหนดให้ความน่าเชื่อถือของข้อมูลมีค่าเป็น 100 % 70 % และ 50 % ทำให้สามารถหาขอบเขตบนและล่างได้ดังนี้

1. ความเชื่อมั่นของข้อมูล 100 % เป็นการนำค่าทุกค่ามาเขียนกราฟ
2. ความเชื่อมั่นของข้อมูล 70 % จะได้ช่วงของข้อมูลเป็นดังนี้

$$x = \mu \pm 1.036s$$

$\mu$  = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละน้ำหนัก

$s$  = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สำหรับกรณีอุณหภูมิตั้งแสดงข้อมูลในตารางที่ 3.5

3. ความเชื่อมั่นของข้อมูล 50 % ช่วงของข้อมูลเป็น

$$x = \mu \pm 0.674$$

กรณีอุณหภูมิตั้งแสดงข้อมูลในตารางที่ 3.6

กรณีอุณหภูมิตั้งแสดงข้อมูลในตารางที่ 3.7

เมื่อได้ข้อมูลในแต่ละช่วงความเชื่อมั่นแล้วนำมาทำการ regression เพื่อหาความสัมพันธ์ของ bend stress กับ จำนวนรอบที่เสียหาย และค่าสัมประสิทธิ์ ต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง ตารางที่ 3.5 เป็นข้อมูลที่อุณหภูมิตั้ง ระดับความเชื่อมั่นของข้อมูล 100% ตามรูปที่ 3.6 ณ.ระดับความเชื่อมั่น 70% ตามรูปที่ 3.7 ณ.ระดับความเชื่อมั่นของข้อมูล 50% ตารางที่ 3.8 เป็นข้อมูลที่อุณหภูมิตั้ง ณ.ระดับความเชื่อมั่นของข้อมูล 100% และตารางที่ 3.9 ณ.ระดับความเชื่อมั่น 50%

DATA OF BENDING STRESS  
RELIABILITY 100 %

| SPEC NO | WEIGHT (kg) | BENDING STRESS (MPA) | NUMBER OF FAILURE | lnS      | lnN      | lnS*lnS  | lnN*lnN  | lnS*lnN  |
|---------|-------------|----------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 34      | 7           | 136.71               | 15400             | 4.917861 | 9.642122 | 24.18536 | 92.97053 | 47.41862 |
| 42      | 6.5         | 126.945              | 85200             | 4.843753 | 11.35275 | 23.46195 | 128.8850 | 54.98995 |
| 36      | 6.5         | 126.945              | 52100             | 4.843753 | 10.86092 | 23.46195 | 117.9595 | 52.60762 |
| 41      | 6.5         | 126.945              | 82500             | 4.843753 | 11.32055 | 23.46195 | 128.1549 | 54.83397 |
| 37      | 6.5         | 126.945              | 94400             | 4.843753 | 11.45529 | 23.46195 | 131.2238 | 55.48663 |
| 43      | 6.5         | 126.945              | 68300             | 4.843753 | 11.13166 | 23.46195 | 123.9139 | 53.91904 |
| 29      | 6           | 117.18               | 63100             | 4.763711 | 11.05247 | 22.69294 | 122.1572 | 52.65080 |
| 25      | 6           | 117.18               | 152600            | 4.763711 | 11.93557 | 22.69294 | 142.4579 | 56.85763 |
| 26      | 6           | 117.18               | 46300             | 4.763711 | 10.74289 | 22.69294 | 115.4098 | 51.17606 |
| 27      | 6           | 117.18               | 66900             | 4.763711 | 11.11095 | 22.69294 | 123.4533 | 52.92937 |
| 28      | 6           | 117.18               | 70300             | 4.763711 | 11.16052 | 22.69294 | 124.5573 | 53.16552 |
| 24      | 6           | 117.18               | 136600            | 4.763711 | 11.82481 | 22.69294 | 139.8261 | 56.32999 |
| 39      | 5.5         | 107.415              | 240800            | 4.676699 | 12.39172 | 21.87152 | 153.5547 | 57.95236 |
| 45      | 5.5         | 107.415              | 185600            | 4.676699 | 12.13134 | 21.87152 | 147.1696 | 56.73467 |
| 36      | 5.5         | 107.415              | 945400            | 4.676699 | 13.75936 | 21.87152 | 189.3200 | 64.34841 |
| 2       | 5           | 97.65                | 197400            | 4.581389 | 12.19298 | 20.98913 | 148.0689 | 55.86082 |
| 6       | 5           | 97.65                | 159200            | 4.581389 | 11.97791 | 20.98913 | 143.4704 | 54.87550 |
| 10      | 5           | 97.65                | 190100            | 4.581389 | 12.15530 | 20.98913 | 147.7514 | 55.68819 |
| -       | 5           | 97.65                | 390100            | 4.581389 | 12.87415 | 20.98913 | 165.7439 | 58.98153 |
| 4       | 5           | 97.65                | 180200            | 4.581389 | 12.10182 | 20.98913 | 146.4541 | 55.44316 |
| 1       | 5           | 97.65                | 350300            | 4.581389 | 12.76654 | 20.98913 | 162.9846 | 58.48851 |
| 5       | 5           | 97.65                | 170400            | 4.581389 | 12.04590 | 20.98913 | 145.1038 | 55.18697 |
| -       | 4.5         | 87.885               | 275400            | 4.476029 | 12.52597 | 20.03483 | 156.9001 | 56.06665 |
| 44      | 4.5         | 87.885               | 160900            | 4.476029 | 11.98853 | 20.03483 | 143.7250 | 53.66104 |
| 35      | 4.5         | 87.885               | 368500            | 4.476029 | 12.81719 | 20.03483 | 164.2805 | 57.37014 |
| 31      | 4.5         | 87.885               | 591200            | 4.476029 | 13.28990 | 20.03483 | 176.6216 | 59.48602 |
| 32      | 4.5         | 87.885               | 495000            | 4.476029 | 13.11231 | 20.03483 | 171.9327 | 58.69109 |
| 30      | 4.5         | 87.885               | 1283000           | 4.476029 | 14.06471 | 20.03483 | 197.8161 | 62.95405 |
| 38      | 4.5         | 87.885               | 884000            | 4.476029 | 13.69221 | 20.03483 | 187.4766 | 61.28674 |
| 8       | 4           | 78.12                | 61500             | 4.358246 | 11.02679 | 18.99430 | 121.5901 | 48.05747 |
| 16      | 4           | 78.12                | 1852100           | 4.358246 | 14.43183 | 18.99430 | 208.2777 | 62.89746 |
| 15      | 4           | 78.12                | 883500            | 4.358246 | 13.09164 | 18.99430 | 187.4611 | 59.67156 |
| 11      | 4           | 78.12                | 2937200           | 4.358246 | 14.89206 | 18.99430 | 221.8004 | 64.90721 |
| 21      | 4           | 78.12                | 721400            | 4.358246 | 13.48894 | 18.99430 | 181.9517 | 58.78815 |
| 12      | 4           | 78.12                | 4617900           | 4.358246 | 15.34545 | 18.99430 | 235.4828 | 66.87925 |
| 9       | 4           | 78.12                | 553500            | 4.358246 | 13.22401 | 18.99430 | 174.8746 | 57.63352 |
| 10      | 4           | 78.12                | 891600            | 4.358246 | 13.70077 | 18.99430 | 187.7111 | 59.71134 |
| 14      | 4           | 78.12                | 1402600           | 4.358246 | 14.15383 | 18.99430 | 200.3311 | 61.68591 |
| 19      | 4           | 78.12                | 8635100           | 4.358246 | 15.97134 | 18.99430 | 255.0838 | 69.60705 |
| 13      | 4           | 78.12                | 714100            | 4.358246 | 13.47877 | 18.99430 | 181.6774 | 58.74383 |
| SUM     |             |                      |                   | 183.0916 | 502.8848 | 839.3725 | 6396.187 | 2294.023 |
| AVG     |             |                      |                   | 4.577290 | 12.57212 |          |          |          |
| STD     |             |                      |                   | 0.180889 | 1.358832 |          |          |          |
| B       | =====>      |                      |                   | -0.10596 |          |          |          |          |
| lnA     | =====>      |                      |                   | 5.909520 |          |          |          |          |
| A       |             |                      |                   | 368.5292 |          |          |          |          |
| lnR     | =====>      |                      |                   | -5.97962 |          |          |          |          |
| R       |             |                      |                   | 0.002529 |          |          |          |          |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 3.5 นิ้ว ที่ผลิตจากการทอใยแก้วเสริมที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 100% เหนือระดับที่  
คุณหนูผู้สูง

DATA OF BENDING STRESS  
RELIABILITY 70%

| SPEC NO | WEIGHT (kg) | BENDING STRESS (MPa) | NUMBER OF FAILURE | lnS      | lnN      | lnS*lnS  | lnN*lnN  | lnS*lnN  |
|---------|-------------|----------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 42      | 6.5         | 126.945              | 85200             | 4.843753 | 11.35275 | 23.46195 | 128.8850 | 54.98995 |
| 41      | 6.5         | 126.945              | 82500             | 4.843753 | 11.32055 | 23.46195 | 128.1549 | 54.83397 |
| 37      | 6.5         | 126.945              | 94400             | 4.843753 | 11.45529 | 23.46195 | 131.2238 | 55.48663 |
| 43      | 6.5         | 126.945              | 68300             | 4.843753 | 11.13166 | 23.46195 | 123.9139 | 53.91904 |
| 29      | 6           | 117.18               | 63100             | 4.763711 | 11.05247 | 22.69294 | 122.1572 | 52.65080 |
| 27      | 6           | 117.18               | 66900             | 4.763711 | 11.11095 | 22.69294 | 123.4533 | 52.92937 |
| 28      | 6           | 117.18               | 70300             | 4.763711 | 11.16052 | 22.69294 | 124.5573 | 53.16552 |
| 24      | 6           | 117.18               | 136600            | 4.763711 | 11.82481 | 22.69294 | 139.8261 | 56.32999 |
| 39      | 5.5         | 107.415              | 240800            | 4.676699 | 12.39172 | 21.87152 | 153.5547 | 57.95236 |
| 45      | 5.5         | 107.415              | 185600            | 4.676699 | 12.13134 | 21.87152 | 147.1696 | 56.73467 |
| 2       | 5           | 97.65                | 197400            | 4.581389 | 12.19298 | 20.98913 | 148.6689 | 55.86082 |
| 6       | 5           | 97.65                | 159200            | 4.581389 | 11.97791 | 20.98913 | 143.4704 | 54.87550 |
| 10      | 5           | 97.65                | 190100            | 4.581389 | 12.15530 | 20.98913 | 147.7514 | 55.68810 |
| 4       | 5           | 97.65                | 180200            | 4.581389 | 12.10182 | 20.98913 | 146.4541 | 55.44316 |
| 5       | 5           | 97.65                | 170400            | 4.581389 | 12.04590 | 20.98913 | 145.1038 | 55.18697 |
| -       | 4.5         | 87.885               | 275400            | 4.476029 | 12.52597 | 20.03483 | 158.9001 | 56.06665 |
| 44      | 4.5         | 87.885               | 160900            | 4.476029 | 11.98853 | 20.03483 | 143.7250 | 53.66104 |
| 35      | 4.5         | 87.885               | 368500            | 4.476029 | 12.81719 | 20.03483 | 164.2805 | 57.37014 |
| 31      | 4.5         | 87.885               | 591200            | 4.476029 | 13.28990 | 20.03483 | 176.6216 | 59.48602 |
| 32      | 4.5         | 87.885               | 495000            | 4.476029 | 13.11231 | 20.03483 | 171.9327 | 58.69109 |
| 38      | 4.5         | 87.885               | 884000            | 4.476029 | 13.69221 | 20.03483 | 187.4766 | 61.28674 |
| 16      | 4           | 78.12                | 1852100           | 4.358246 | 14.43183 | 18.99430 | 208.2777 | 62.89746 |
| 15      | 4           | 78.12                | 883500            | 4.358246 | 13.69164 | 18.99430 | 187.4611 | 59.67156 |
| 11      | 4           | 78.12                | 2937200           | 4.358246 | 14.89296 | 18.99430 | 221.8004 | 64.90721 |
| 21      | 4           | 78.12                | 721400            | 4.358246 | 13.48894 | 18.99430 | 181.9517 | 58.78815 |
| 9       | 4           | 78.12                | 553500            | 4.358246 | 13.22401 | 18.99430 | 174.8746 | 57.63352 |
| 10      | 4           | 78.12                | 891600            | 4.358246 | 13.70077 | 18.99430 | 187.7111 | 59.71134 |
| 14      | 4           | 78.12                | 1402600           | 4.358246 | 14.15383 | 18.99430 | 200.3311 | 61.68591 |
| 18      | 4           | 78.12                | 714100            | 4.358246 | 13.47877 | 18.99430 | 181.6774 | 58.74383 |
| SUM     |             |                      |                   | 132.4123 | 363.8949 | 605.4717 | 4599.367 | 1656.647 |
| AVG     |             |                      |                   | 4.565943 | 12.54810 |          |          |          |
| STD     |             |                      |                   | 0.174642 | 1.069570 |          |          |          |
| ln      | =           | <<>                  |                   | -0.14694 |          |          |          |          |
| lnA     |             | )                    |                   | 0.410204 |          |          |          |          |
| A       |             |                      |                   | 608.0569 |          |          |          |          |
| lnR     | =====       | >                    |                   | -5.51285 |          |          |          |          |
| R       |             |                      |                   | 0.004034 |          |          |          |          |

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลจากการทำรีเกรสชันที่ระดับความเชื่อมั่น 70 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA OF BENDING STRESS  
RELIABILITY 50%

| SPEC NO | WEIGHT (kg) | BENDING STRESS (MPA) | NUMBER OF FAILURE | lnS      | lnN      | lnS*lnS  | lnN*lnN  | lnS*lnN  |
|---------|-------------|----------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 42      | 6.5         | 126.945              | 85200             | 4.843753 | 11.35275 | 23.46195 | 128.8850 | 54.98095 |
| 41      | 6.5         | 126.946              | 82600             | 4.843753 | 11.32055 | 23.46196 | 128.1640 | 54.81307 |
| 43      | 6.5         | 126.940              | 88300             | 4.843753 | 11.13106 | 23.46196 | 123.0130 | 63.01004 |
| 29      | 6           | 117.18               | 63100             | 4.763711 | 11.05247 | 22.69294 | 122.1572 | 52.65080 |
| 27      | 6           | 117.18               | 66900             | 4.763711 | 11.11095 | 22.69294 | 123.4533 | 52.92937 |
| 28      | 6           | 117.18               | 70300             | 4.763711 | 11.16052 | 22.69294 | 124.5573 | 53.16552 |
| 39      | 5.5         | 107.415              | 240800            | 4.676699 | 12.39172 | 21.87152 | 153.5547 | 57.95236 |
| 2       | 5           | 97.65                | 197400            | 4.581389 | 12.19298 | 20.98913 | 148.6689 | 55.86082 |
| 10      | 5           | 97.65                | 190100            | 4.581389 | 12.15530 | 20.98913 | 147.7514 | 55.68819 |
| 4       | 5           | 97.65                | 180200            | 4.581389 | 12.10182 | 20.98913 | 146.4541 | 55.44316 |
| 35      | 4.5         | 87.885               | 368500            | 4.476029 | 12.81719 | 20.03483 | 164.2805 | 57.37014 |
| 31      | 4.5         | 87.885               | 591200            | 4.476029 | 13.28990 | 20.03483 | 176.6216 | 59.48602 |
| 32      | 4.5         | 87.885               | 495000            | 4.476029 | 13.11231 | 20.03483 | 171.9327 | 58.69109 |
| 38      | 4.5         | 87.885               | 884000            | 4.476029 | 13.69221 | 20.03483 | 187.4766 | 61.28674 |
| 16      | 4           | 78.12                | 1852100           | 4.358246 | 14.13183 | 18.99430 | 208.2777 | 62.89746 |
| 15      | 4           | 78.12                | 883500            | 4.358246 | 13.69164 | 18.99430 | 187.4611 | 59.67156 |
| 11      | 4           | 78.12                | 2937200           | 4.358246 | 14.89296 | 18.99430 | 221.8004 | 64.90721 |
| 21      | 4           | 78.12                | 721400            | 4.358246 | 13.48894 | 18.99430 | 181.9517 | 58.78815 |
| 9       | 4           | 78.12                | 553500            | 4.358246 | 13.22401 | 18.99430 | 174.8746 | 57.63352 |
| 10      | 4           | 78.12                | 891600            | 4.358246 | 13.70077 | 18.99430 | 187.7111 | 59.71134 |
| 14      | 4           | 78.12                | 1402600           | 4.358246 | 14.15383 | 18.99430 | 200.3311 | 61.68591 |
| 18      | 4           | 78.12                | 714100            | 4.358246 | 13.47877 | 18.99430 | 181.6774 | 58.74383 |
| SUM     |             |                      |                   | 100.0133 | 279.9452 | 455.3974 | 3591.948 | 1268.306 |
| AVG     |             |                      |                   | 4.546061 | 12.72478 |          |          |          |
| STD     |             |                      |                   | 0.182233 | 1.162026 |          |          |          |
| B       | ====>       |                      |                   | -0.14616 |          |          |          |          |
| lnA     | ====>       |                      |                   | 6.405858 |          |          |          |          |
| A       |             |                      |                   | 605.3814 |          |          |          |          |
| lnK     | ====>       |                      |                   | -5.94277 |          |          |          |          |
| R       |             |                      |                   | 0.002624 |          |          |          |          |

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลจากการทำรีเกรสชั่นที่ระดับความเชื่อมั่น 50 เปอร์เซ็นต์  
อุณหภูมิสูง

DATA OF BENDING STRESS (ROOM TEMP.)  
RELIABILITY 100 %

| WEIGHT (kg) | BENDING STRESS (MPA) | NUMBER OF FAILURE | lnS      | lnN      | lnS*lnS  | lnN*lnN  | lnS*lnN  |
|-------------|----------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 20          | 115.52               | 145300            | 4.749443 | 11.88655 | 22.55721 | 141.2902 | 56.45452 |
| 20          | 115.52               | 64100             | 4.749443 | 11.06819 | 22.55721 | 122.5050 | 52.56779 |
| 20          | 115.52               | 328900            | 4.749443 | 12.70350 | 22.55721 | 161.3791 | 60.33460 |
| 20          | 115.52               | 60900             | 4.749443 | 11.01698 | 22.55721 | 121.3740 | 52.32456 |
| 20          | 115.52               | 469200            | 4.749443 | 13.05878 | 22.55721 | 170.5318 | 62.02196 |
| 19          | 109.744              | 326100            | 4.698150 | 12.69495 | 22.07261 | 161.1619 | 59.64282 |
| 19          | 109.744              | 278100            | 4.698150 | 12.53573 | 22.07261 | 157.1446 | 58.89477 |
| 19          | 109.744              | 273300            | 4.698150 | 12.51832 | 22.07261 | 156.7084 | 58.81297 |
| 19          | 109.744              | 210600            | 4.698150 | 12.25771 | 22.07261 | 150.2515 | 57.58859 |
| 19          | 109.744              | 244000            | 4.698150 | 12.40492 | 22.07261 | 153.8821 | 58.28019 |
| 19          | 109.744              | 165100            | 4.698150 | 12.01430 | 22.07261 | 144.3435 | 56.44501 |
| 18          | 103.968              | 504200            | 4.644083 | 13.13072 | 21.56750 | 172.4160 | 60.98019 |
| 18          | 103.968              | 987900            | 4.644083 | 13.80333 | 21.56750 | 190.5321 | 64.10384 |
| 18          | 103.968              | 421800            | 4.644083 | 12.95228 | 21.56750 | 167.7617 | 60.15149 |
| 18          | 103.968              | 517200            | 4.644083 | 13.15618 | 21.56750 | 173.0852 | 61.09841 |
| 18          | 103.968              | 190900            | 4.644083 | 12.15950 | 21.56750 | 147.8535 | 56.46975 |
| 18          | 103.968              | 2858700           | 4.644083 | 14.86587 | 21.56750 | 220.9943 | 69.03837 |
| 18          | 103.968              | 247800            | 4.644083 | 12.42037 | 21.56750 | 154.2657 | 57.68126 |
| 17          | 98.192               | 198800            | 4.586924 | 12.20005 | 21.03987 | 148.8413 | 55.96073 |
| 17          | 98.192               | 315300            | 4.586924 | 12.66127 | 21.03987 | 160.3080 | 58.07633 |
| 17          | 98.192               | 676200            | 4.586924 | 13.42424 | 21.03987 | 180.2103 | 61.57599 |
| 17          | 98.192               | 509600            | 4.586924 | 13.14138 | 21.03987 | 172.6959 | 60.27852 |
| 17          | 98.192               | 759000            | 4.586924 | 13.53975 | 21.03987 | 183.3250 | 62.10584 |
| 17          | 98.192               | 288900            | 4.586924 | 12.57383 | 21.03987 | 158.1013 | 57.67523 |
| 16          | 92.416               | 1056900           | 4.526300 | 13.87085 | 20.48739 | 192.4004 | 62.78363 |
| 16          | 92.416               | 224000            | 4.526300 | 12.31940 | 20.48739 | 151.7676 | 55.76130 |
| 16          | 92.416               | 721800            | 4.526300 | 13.48950 | 20.48739 | 181.9667 | 61.05754 |
| 16          | 92.416               | 2169500           | 4.526300 | 14.59000 | 20.48739 | 212.8683 | 66.03875 |
| 16          | 92.416               | 1257800           | 4.526300 | 14.04487 | 20.48739 | 197.2585 | 63.57131 |
| 16          | 92.416               | 854100            | 4.526300 | 13.65780 | 20.48739 | 186.5355 | 61.81931 |
| 15          | 86.64                | 2125000           | 4.461761 | 14.56928 | 19.90731 | 212.2639 | 65.00466 |
| 15          | 86.64                | 1897100           | 4.461761 | 14.45583 | 19.90731 | 208.9712 | 64.49849 |
| 15          | 86.64                | 5505200           | 4.461761 | 15.52120 | 19.90731 | 240.9077 | 69.25191 |
| 15          | 86.64                | 1610200           | 4.461761 | 14.29186 | 19.90731 | 204.2575 | 63.76691 |
| 15          | 86.64                | 7656200           | 4.461761 | 15.85102 | 19.90731 | 251.2550 | 70.72350 |
| 15          | 86.64                | 1147600           | 4.461761 | 13.95318 | 19.90731 | 194.6913 | 62.25577 |
| 14          | 80.864               | 2877900           | 4.392768 | 14.87257 | 19.29641 | 221.1933 | 65.33176 |
| 14          | 80.864               | 5578400           | 4.392768 | 15.53441 | 19.29641 | 241.3179 | 68.23908 |
| 14          | 80.864               | 1664900           | 4.392768 | 14.32527 | 19.29641 | 205.2135 | 62.92762 |
| SUM         |                      |                   | 179.0729 | 519.5359 | 822.6911 | 6973.832 | 2381.595 |
| AVG         |                      |                   | 4.591613 | 13.32143 |          |          |          |
| STD         |                      |                   | 0.108301 | 1.104298 |          |          |          |

b -0.07401  
lnA 5.577559  
A 264.4255  
lnR 8.55388  
R 0.000192

เอกสารนี้ไม่ถือเป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 ข้อมูลจากการทำรีเกรสชันที่ระดับความเชื่อมั่น 100 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิต้อง

DATA OF BENDING STRESS (ROOM TEMP.)  
RELIABILITY 50 %

| WEIGHT<br>(kg) | BENDING<br>STRESS<br>(MPA) | NUMBER OF<br>FAILURE | lnS      | lnN      | lnS*lnS  | lnN*lnN  | lnS*lnN  |
|----------------|----------------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 20             | 115.52                     | 145300               | 4.749443 | 11.88655 | 22.55721 | 141.2902 | 56.45452 |
| 20             | 115.52                     | 328900               | 4.749443 | 12.70350 | 22.55721 | 161.3791 | 60.33460 |
| 20             | 115.52                     | 469200               | 4.749443 | 13.05878 | 22.55721 | 170.5318 | 62.02196 |
| 19             | 109.744                    | 278100               | 4.698150 | 12.53573 | 22.07261 | 157.1446 | 58.89477 |
| 19             | 109.744                    | 273300               | 4.698150 | 12.51832 | 22.07261 | 156.7084 | 58.81297 |
| 19             | 109.744                    | 244000               | 4.698150 | 12.40492 | 22.07261 | 153.8821 | 58.28019 |
| 18             | 103.968                    | 504200               | 4.644083 | 13.13072 | 21.56750 | 172.4160 | 60.98019 |
| 18             | 103.968                    | 987900               | 4.644083 | 13.80339 | 21.56750 | 190.5321 | 64.10384 |
| 18             | 103.968                    | 421800               | 4.644083 | 12.95228 | 21.56750 | 167.7617 | 60.15149 |
| 18             | 103.968                    | 517200               | 4.644083 | 13.15618 | 21.56750 | 173.0852 | 61.09841 |
| 18             | 103.968                    | 247800               | 4.644083 | 12.42037 | 21.56750 | 154.2657 | 57.68126 |
| 17             | 98.192                     | 676200               | 4.586924 | 13.42424 | 21.03987 | 180.2103 | 61.57599 |
| 17             | 98.192                     | 509600               | 4.586924 | 13.14138 | 21.03987 | 172.6959 | 60.27852 |
| 17             | 98.192                     | 759000               | 4.586924 | 13.53975 | 21.03987 | 183.3250 | 62.10584 |
| 16             | 92.416                     | 1056900              | 4.526300 | 13.87085 | 20.48739 | 192.4004 | 62.78363 |
| 16             | 92.416                     | 721800               | 4.526300 | 13.48950 | 20.48739 | 181.9667 | 61.05754 |
| 16             | 92.416                     | 1257800              | 4.526300 | 14.04487 | 20.48739 | 197.2585 | 63.57131 |
| 16             | 92.416                     | 854100               | 4.526300 | 13.65780 | 20.48739 | 186.5355 | 61.81931 |
| 15             | 86.64                      | 2125000              | 4.461761 | 14.56928 | 19.90731 | 212.2639 | 65.00466 |
| 15             | 86.64                      | 1897100              | 4.461761 | 14.45583 | 19.90731 | 208.9712 | 64.49849 |
| 14             | 80.864                     | 2877900              | 4.392768 | 14.87257 | 19.29641 | 221.1933 | 65.33176 |
| SUM            |                            |                      | 96.74546 | 279.6368 | 445.9072 | 3735.818 | 1286.841 |
| AVG            |                            |                      | 4.606926 | 13.31604 |          |          |          |
| STD            |                            |                      | 0.099525 | 0.761037 |          |          |          |
| b              |                            |                      | -0.11717 |          |          |          |          |
| lnA            |                            |                      | 0.167244 |          |          |          |          |
| A              |                            |                      | 476.8700 |          |          |          |          |
| lnR            |                            |                      | -6.85136 |          |          |          |          |
| R              |                            |                      | 0.001058 |          |          |          |          |

ตารางที่ 3.9 ข้อมูลจากการทำรีเกรสชันที่ระดับความเชื่อมั่น 50 เปอร์เซ็นต์  
อุณหภูมิห้อง

นำค่า A และ B มาแทนลงในความสัมพันธ์  $S_p = AN^B$  ซึ่งจะได้ค่าดังตารางที่ 3.10 เป็นระดับอุณหภูมิสูง และ ตารางที่ 3.11 เป็นระดับอุณหภูมิต่ำ

| Stress  | 100%                 | 70%     | 50%     |
|---------|----------------------|---------|---------|
| 136.71  | $1.16 \times 10^4$   | 25689   | 26405   |
| 126.945 | $2.3338 \times 10^4$ | 42532   | 43843   |
| 117.18  | $4.9692 \times 10^4$ | 73321   | 75815   |
| 107.415 | $1.1291 \times 10^5$ | 132533  | 137503  |
| 97.65   | $2.769 \times 10^5$  | 253482  | 263956  |
| 87.885  | $7.5018 \times 10^5$ | 519115  | 542722  |
| 78.12   | $2.2811 \times 10^6$ | 1156878 | 1215116 |
| 68.36   | $8.0381 \times 10^6$ | 2868323 | 3028291 |
| 58.59   | $3.4456 \times 10^7$ | 8190803 | 8699293 |

ตารางที่ 3.10 ระดับอุณหภูมิสูง

| Stress  | 100%    | 50%     |
|---------|---------|---------|
| 115.52  | 72348   | 176743  |
| 109.744 | 144684  | 273819  |
| 103.968 | 300392  | 434376  |
| 98.192  | 650274  | 707496  |
| 92.416  | 1475178 | 1186948 |
| 86.64   | 3528253 | 2058950 |
| 80.864  | 8962127 | 3709969 |

ตารางที่ 3.11 ระดับอุณหภูมิห้อง

นำค่าที่ได้เหล่านี้ไปทำการเขียนกราฟ (S-N curve) เพื่อพิจารณา fatigue limit เปรียบเทียบค่าที่ได้จากระดับความเชื่อมั่นของข้อมูลที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 3.12 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะได้ค่า fatigue limit ที่ระดับความเชื่อมั่นดังนี้

| RELIABILITY | FARTIGUE LIMIT |
|-------------|----------------|
| 100         | 66.5           |
| 70          | 57             |
| 50          | 58             |

ตารางที่ 3.12 Fatigue limit ที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.13 แสดงความสัมพันธ์ของ fatigue limit ที่ระดับอุณหภูมิห้อง

| RELIABILITY | FATIGUE LIMIT |
|-------------|---------------|
| 100         | 79.5          |
| 50          | 71.0          |

ตารางที่ 3.13 fatigue limit ที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง

กราฟรูปที่ 3.12 เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นข้อมูลที่ระดับความเชื่อมั่น 50 % ของข้อมูลที่อุณหภูมิสูง และอุณหภูมิห้อง

### 3.5 สรุปผลและวิจารณ์

1. ชิ้นงานที่ทำการทดสอบแรงดึง ได้ค่าที่อยู่ในมาตรฐาน แต่จะใกล้เคียงกับค่าต่ำสุดของค่ามาตรฐาน แสดงให้เห็นถึงคุณภาพการหล่อที่ต่ำ
2. เมื่อส่องดูจุดโครงสร้างของชิ้นงาน จะพบโพรงอากาศอยู่ทั่วไป ซึ่งโพรงอากาศนี้จะเป็จุดอ่อนของชิ้นงาน ทำให้เกิดการเสียหายก่อนอายุจริง
3. เปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิสูง

|              | lnS       | lnN      |
|--------------|-----------|----------|
| อุณหภูมิห้อง | 0.108301  | 1.164298 |
| อุณหภูมิสูง  | 0.1100850 | 1.361832 |

จากข้อมูลข้างต้นเห็นว่าที่อุณหภูมิสูงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่ามากกว่า แสดงถึงข้อมูลที่กระจายมาก

4. จากกราฟความเค้นดัดและรอบที่เสียหาย พบว่าที่ bending stress สูงความแตกต่างของจำนวนรอบไม่มากนัก ส่วนที่ stress ต่ำความแตกต่างของจำนวนรอบที่เสียหาย เห็นได้ชัด

5. จากกราฟจะเห็นว่าค่า fatigue จะกำหนดโดย ค่า stress

### 3.6 ข้อเสนอแนะ เพื่อการปรับปรุง

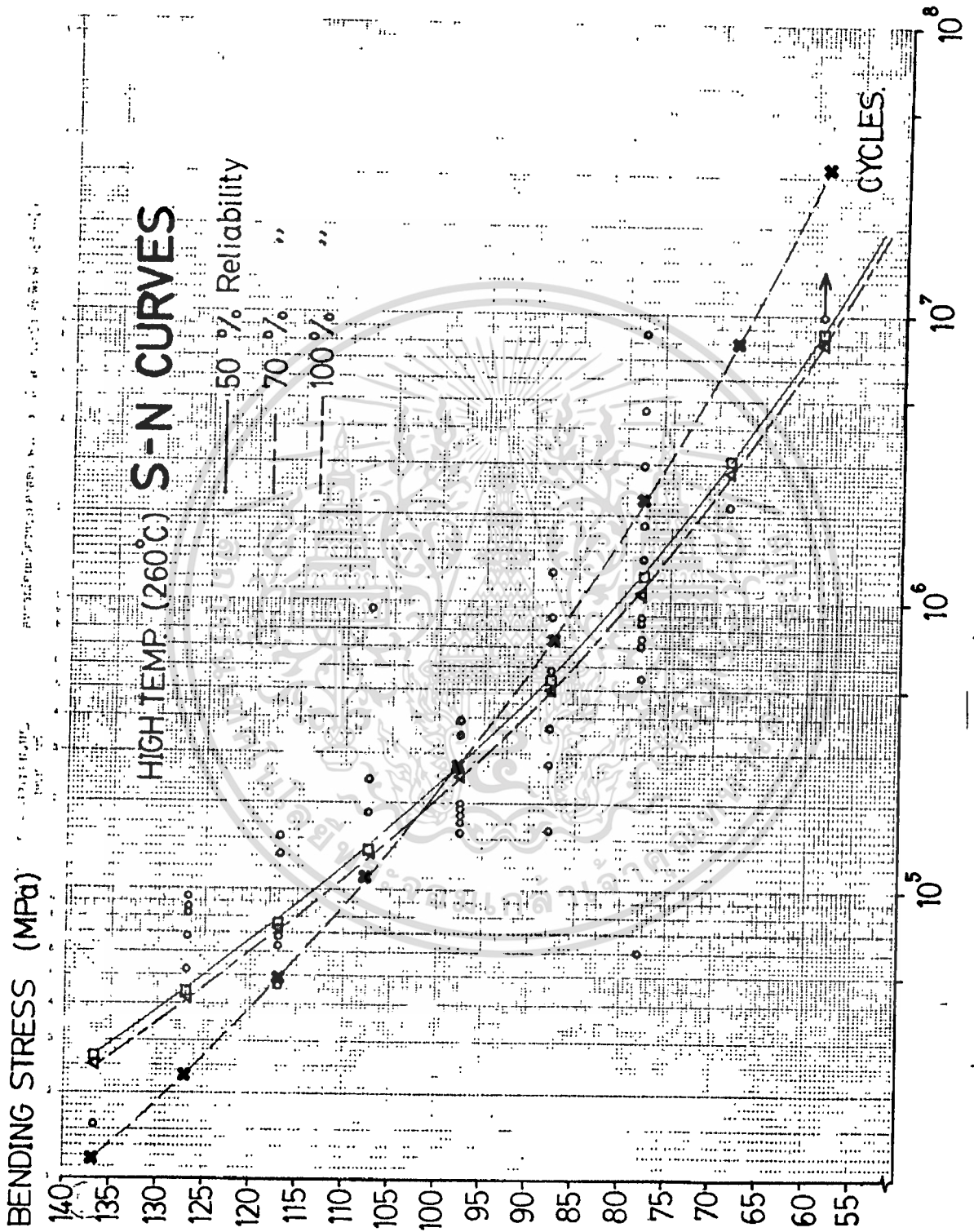
1. เนื่องจากการทำชิ้นงานไม่สามารถควบคุมการแข็งตัวได้ดีอาจเป็นสาเหตุให้ข้อมูลผิดพลาด

2. การกลึงชิ้นงาน ทำให้เกิดรอย ซึ่งอาจเป็นสาเหตุแห่งการเสียหายได้ แม้ว่าจะทำการขัดอีกครั้ง

3. การติดตั้งชิ้นงานเข้ากับเครื่องมือทดสอบ ต้องให้ความระมัดระวัง เพราะอาจทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายได้ ควรจะมีชิ้นงานทดลองใส่จนชำนาญ

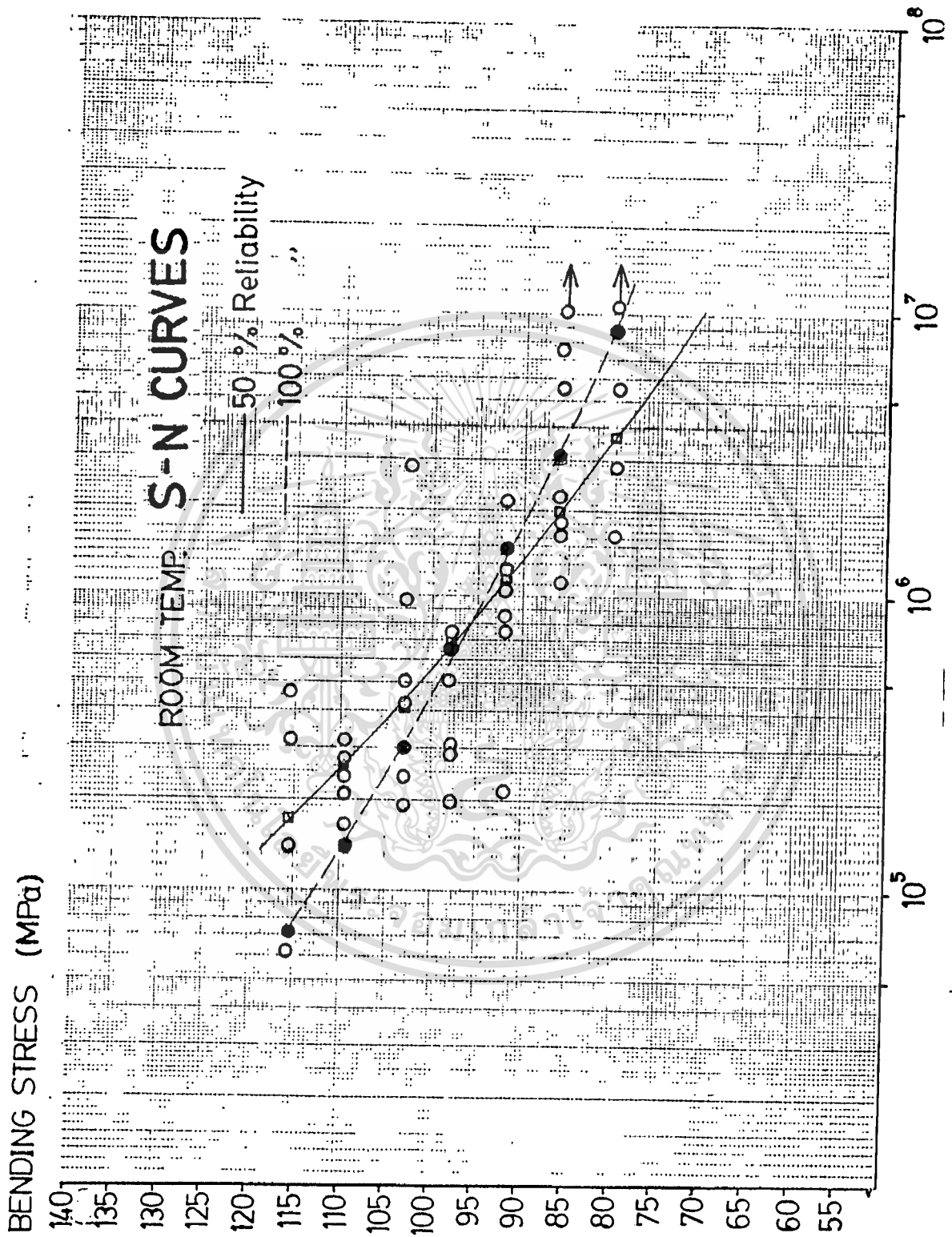
4. เนื่องจากเป็นการทดสอบที่อุณหภูมิสูง การตั้งอุณหภูมิจึงมีความสำคัญ ควรตั้งให้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่ต้องการเล็กน้อย เพราะเมื่อหมุนที่งานแล้ว อุณหภูมิจะลดลงอีกแล้วจึงปรับอุณหภูมิตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



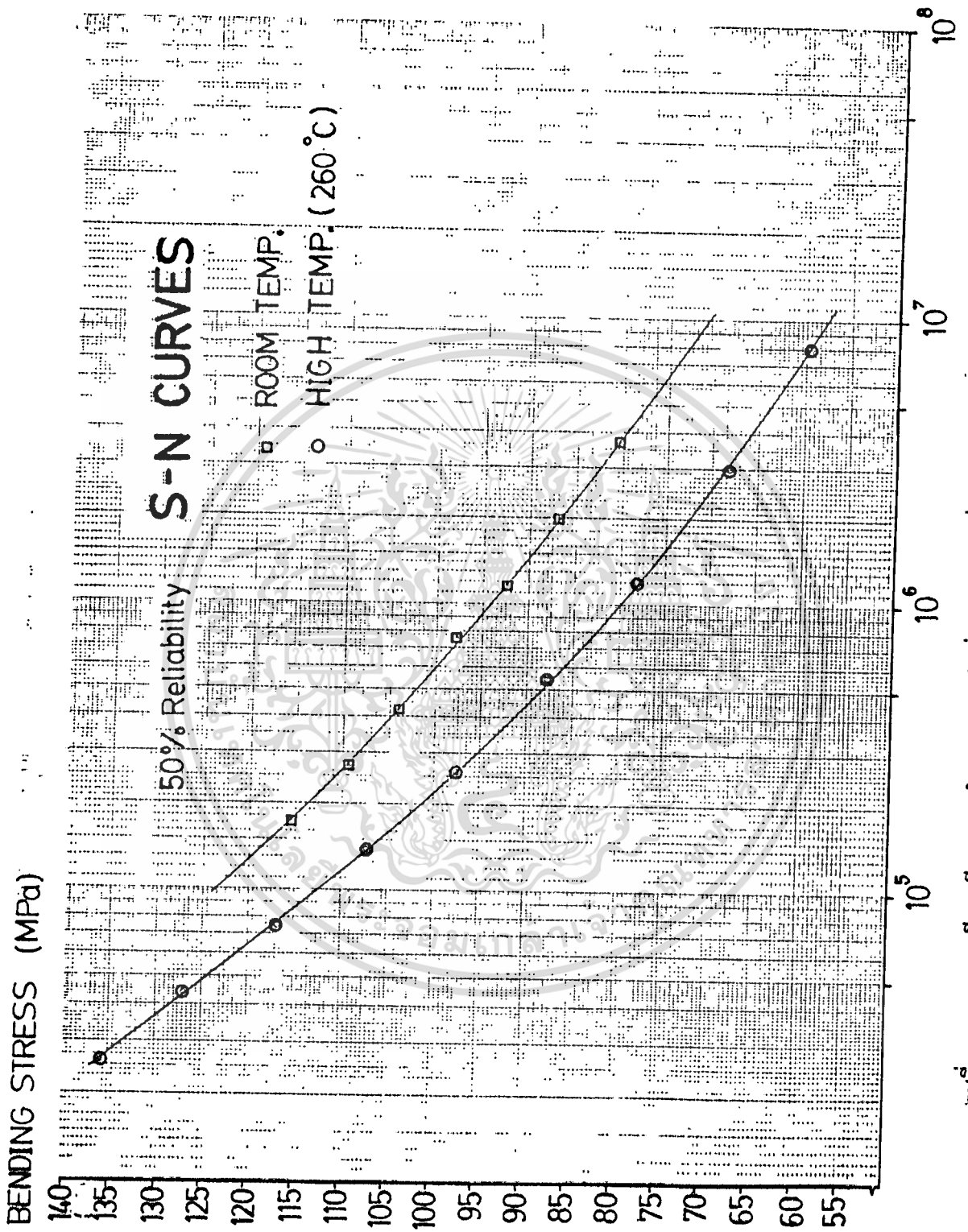
รูปที่ 12 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานการล้าที่ระดับความเชื่อมั่น 50, 70 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานการล้าที่ระดับความเชื่อมั่น 50, 100 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



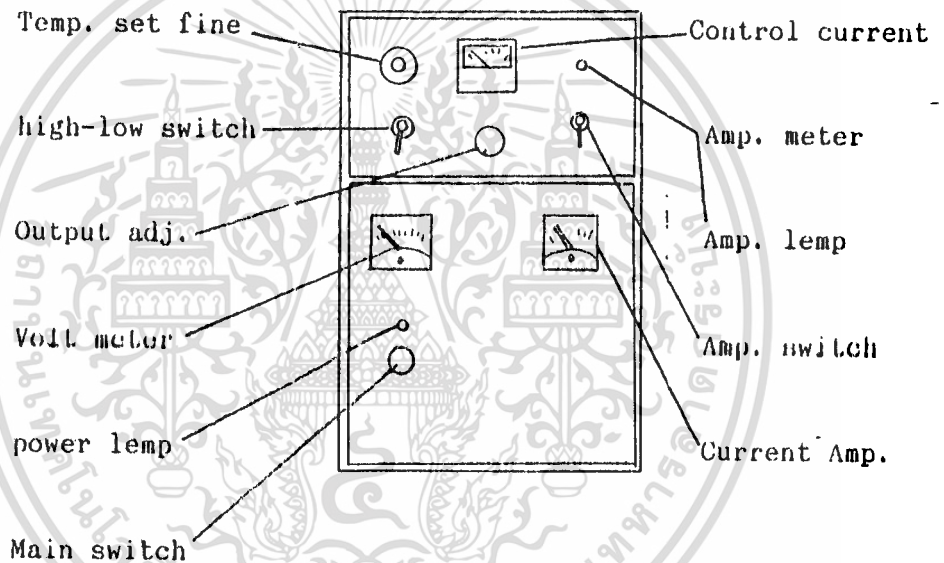
รูปที่ 14 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานการล้าที่ระดับความเชื่อมั่น 50 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาพผนวก

### 1. การปรับค่าอุณหภูมิ

ส่วนควบคุมอุณหภูมิมีองค์ประกอบดังรูป A1



รูป A1 เครื่องมือคุมอุณหภูมิ

### วิธีการปรับอุณหภูมิ

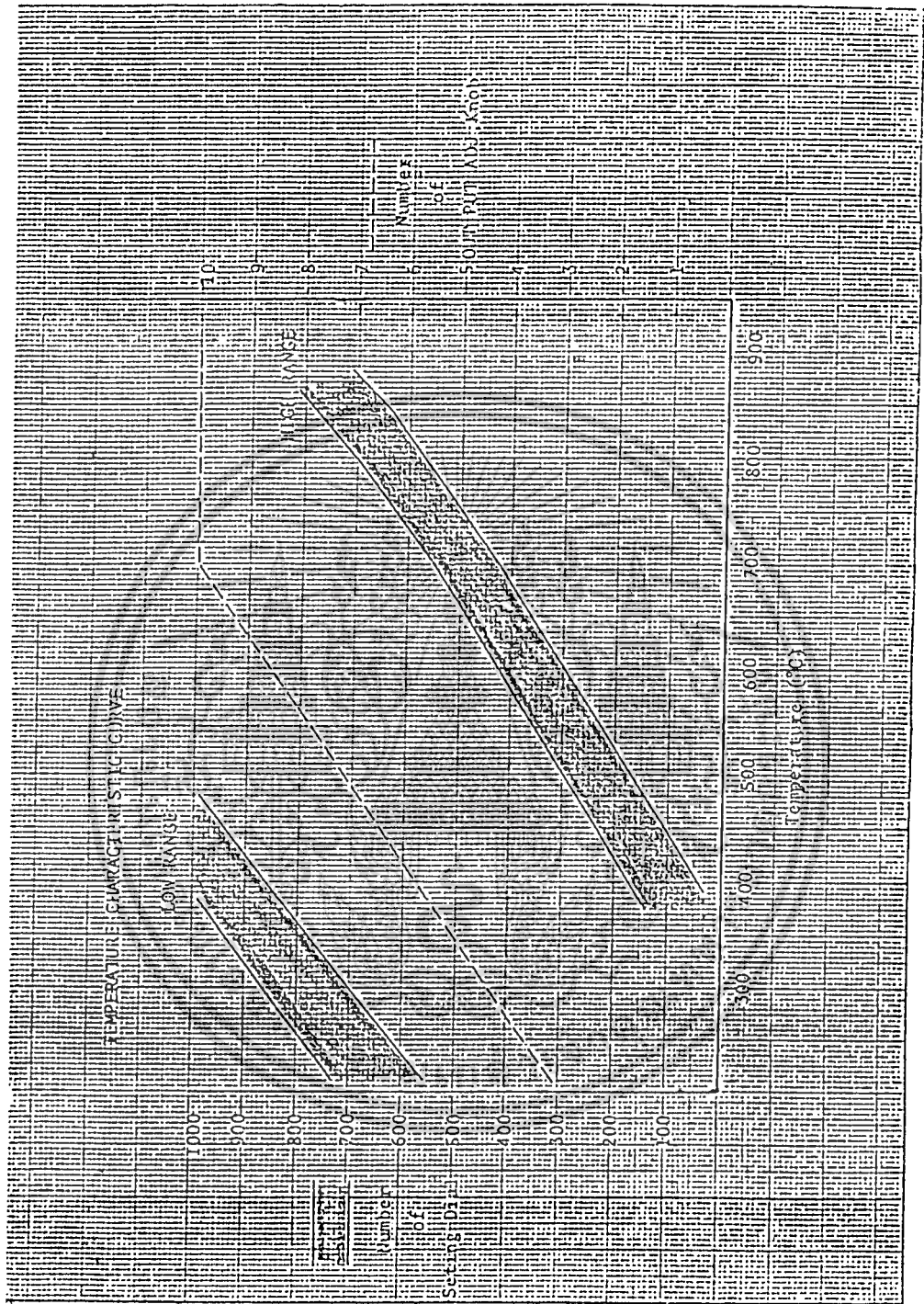
1. เปิด main switch (1) ไปที่หมายเลข 2  
หมายเลข 1 เครื่องจะทำงานตลอดเวลา  
" 2 เครื่องจะหยุดทำงานเมื่อมีสัญญาณจาก limit switch
2. เปิด Amp. switch (9)

กราฟรูป A2 (การทดลองหรั้งนั้ญญหมี 260 c ปรับไปที่ประ  
มาณ 650)

6. เมื่อยุณหภูมิใกล้กับอุณหภูมิที่ต้องการ (เหลืออีกประมาณ 5-10 c ให้ลด Output adj (6) ให้ลดลงมาอยู่ที่ตำแหน่งเหมาะสม โดยดูจากกราฟรูป A2
7. ปรับอุณหภูมิให้ได้ค่าตามต้องการโดยหมุน Temp. set fine (6) 1 ช่องใน(6) มีค่าประมาณ 0.4-0.5 C
8. สังเกตกระแสที่ control current มีค่าระหว่าง 3-6 mA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป A2 กราฟการตั้งอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

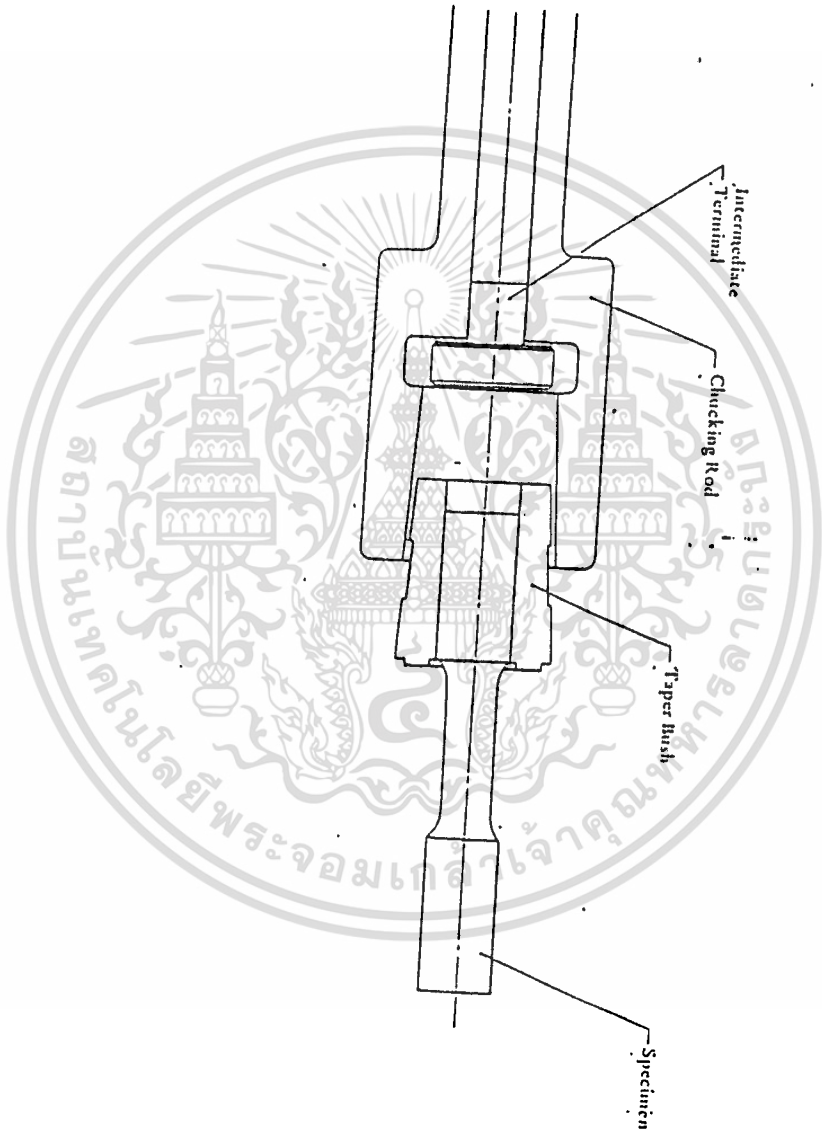
## 2. การจับยึดที่งานเข้ากับหัวจับที่เสก

1. หัวที่งานมาใส่ใน Taper bush
2. ใส่ชิ้นงานพร้อมทั้ง taper bush ไว้กับ chucking rod โดย  
มี intermediate terminal ใส่ก่อนดังรูป A3
3. นำ chucking rod พร้อมทั้งที่งานมาวางลงใน fram work  
เพื่อทำการอัด Taper ให้แน่น
4. ทำในลักษณะเดียวกันตั้งแต่ 1-3 สำหรับอีกด้านหนึ่งของชิ้นงาน  
ดังรูป A4

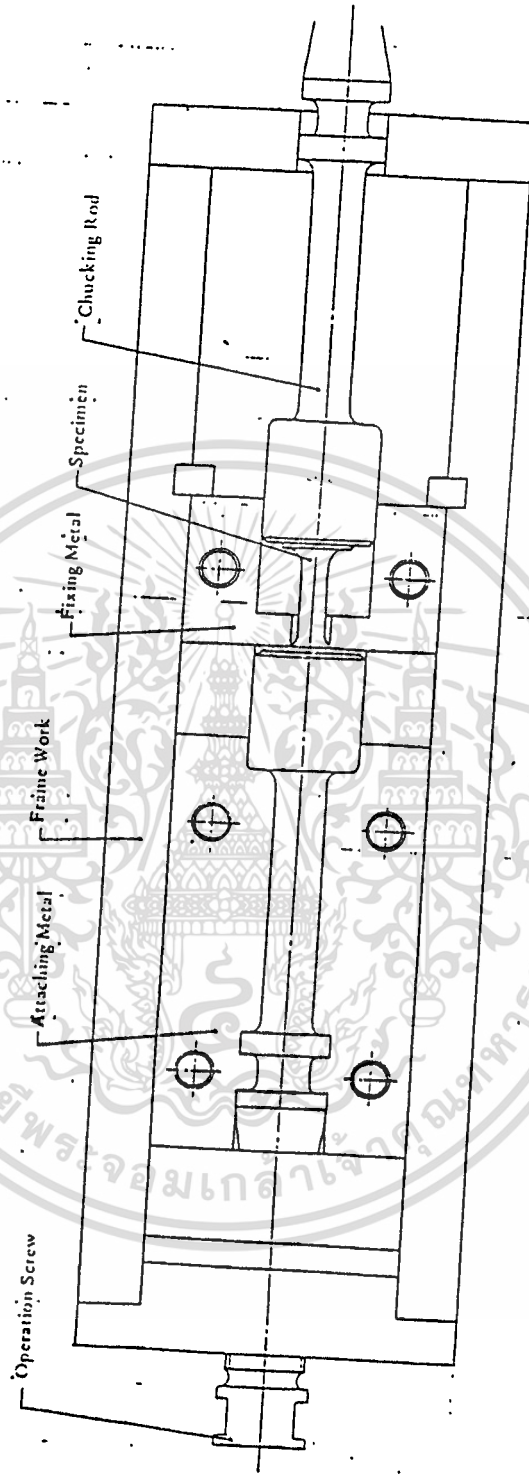
การถอดเอาชิ้นงานออกต้องใช้ Pushing rod ช่วยดังรูป A5



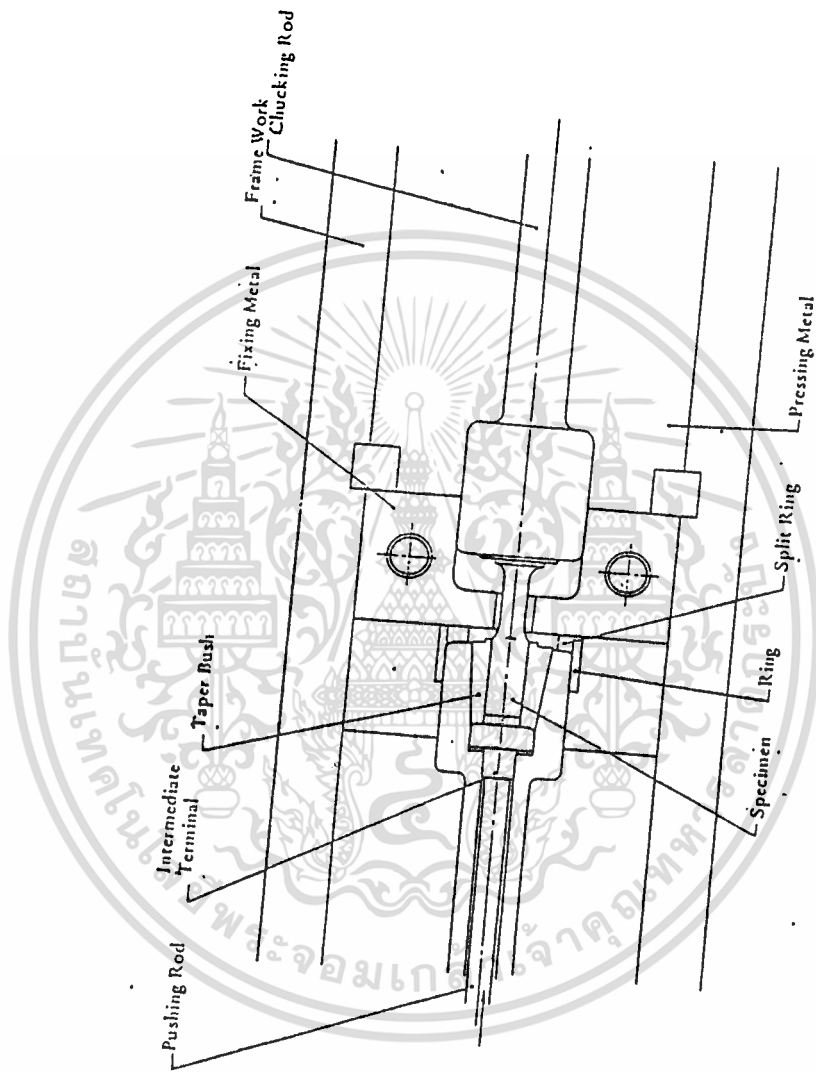
หลักที่ ๕ เทคนิคการเก็บตัวอย่าง A3 รูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป A4 การใส่หัวชิ้นงาน ทั้ง 2 ด้าน

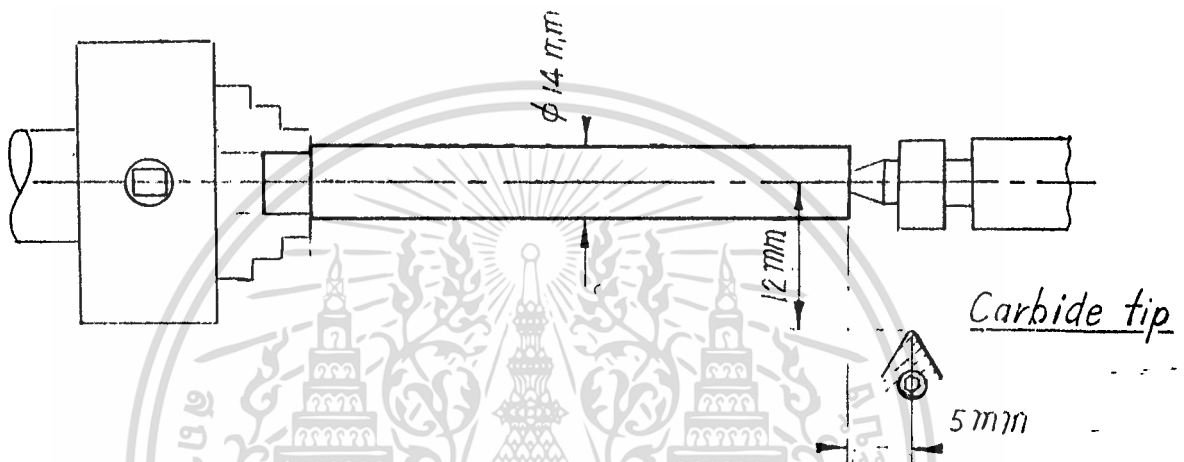


รูป A5 การถอดชิ้นงาน

### 3. การกลึงชิ้นงานด้วย CNC

ขนาดของชิ้นงานที่จะนำมากลึงด้วย CNC จะต้องมีความใกล้เคียง  
กับขนาดของเครื่องกลึง  
ขนาดของชิ้นงาน ในหน่วยใหญ่ประมาณ 14 mm

การตั้งตำแหน่งของชิ้นงานแสดงได้ดังรูป A6



รูป A6 การตั้งตำแหน่งมีด

ที่สภาวะการใช้งานจะกำหนดค่าต่างๆดังนี้

1. spindle speed 1100 rev/min
2. neutral tool
3. mm/100.
4. incremental dimension

program

| N  | G   | X    | Z     | F  | comment |
|----|-----|------|-------|----|---------|
| 01 | 00  | -400 | -400  |    |         |
| 02 | 00  | -150 | 0     |    |         |
| 03 | 01  | 0    | -9500 | 50 |         |
| 04 | 00  | 0    | 9500  |    |         |
| 05 | 00  | -50  | 0     |    |         |
| 06 | 95  |      |       |    |         |
| 07 | 01  | 0    | -500  | 30 |         |
| 08 | 00  | 0    | 20    |    |         |
| 09 | M05 |      |       |    |         |
| 10 | M00 |      |       |    |         |
| 11 | M03 |      |       |    |         |
| 12 | 00  | 0    | -20   |    |         |
| 13 | 01  | 0    | -500  | 30 |         |
| 14 | 00  | 0    | 20    |    |         |
| 15 | M05 |      |       |    |         |
| 16 | M00 |      |       |    |         |
| 17 | M03 |      |       |    |         |
| 18 | 00  | 0    | -20   |    |         |
| 19 | 01  | -2   |       | 05 |         |
| 20 | 01  | 0    | -2750 | 30 |         |
| 21 | 01  | 0    | -2900 | 40 |         |
| 22 | 01  | 0    | -2650 | 30 |         |
| 23 | 00  | 52   | 0     |    |         |
| 24 | 0   | 0    | 2600  |    |         |
| 25 | 00  | -50  | 0     |    |         |
| 26 | 01  | -50  | 400   | 40 |         |
| 27 | 01  | 0    | 2200  | 40 |         |
| 28 | 01  | 50   | 400   | 40 |         |
| 29 | 00  | 0    | -3000 | 9  |         |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| N  | G   | X      | Z     | F  | comment |
|----|-----|--------|-------|----|---------|
| 30 | 01  | -100   | 400   | 40 |         |
| 31 | 01  | 0      | 2200  | 40 |         |
| 32 | 01  | 100    | 400   | 40 |         |
| 33 | 00  | 0      | -2600 |    |         |
| 34 | 00  | -100   | 0     |    |         |
| 35 | 01  | -50    | 250   | 40 |         |
| 36 | 01  | 0      | 1700  | 40 |         |
| 37 | 01  | 50     | 250   | 40 |         |
| 38 | 00  | 100    | 0     |    |         |
| 39 | 00  | 0      | -2600 |    |         |
| 40 | 03  | -200   | 730   | 02 |         |
| 41 | M99 | I 1232 | K 730 |    |         |
| 42 | 01  | 0      | 1540  | 02 |         |
| 43 | 03  | 200    | 730   | 02 |         |
| 44 | M99 | I 1432 | K 0   |    |         |
| 45 | 00  | 100    | 0     |    |         |
| 46 | 00  | 0      | -5400 |    |         |
| 47 | 00  | -100   | 0     |    |         |
| 48 | 01  | -50    | -100  | 10 |         |
| 49 | 01  | 50     | -100  | 10 |         |
| 50 | 00  | 100    | 0     |    |         |
| 51 | 00  | 0      | 8000  |    |         |
| 52 | 00  | -100   | 0     |    |         |
| 53 | 01  | -50    | 100   | 10 |         |
| 54 | 01  | 50     | 100   | 10 |         |
| 55 | 00  | 350    | 0     |    |         |
| 56 | 00  | 250    | 0     |    |         |
| 57 | 00  | 0      | 1500  |    |         |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| N  | G   | X | Z | F | comment |
|----|-----|---|---|---|---------|
| 58 | M05 |   |   |   |         |
| 59 | M30 |   |   |   |         |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้าง**11**ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

ผศ.พรศักดิ์ อรรถวาณิช ที่ให้คำปรึกษา  
คุณณนตา เทียมเวียงที่ให้ความช่วยเหลือ  
พี่วรศักดิ์ ชูกิตติพงษ์ที่ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือ  
เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาเครื่องกลทุกท่าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เรื่องการทดสอบความต้านทานการล้าแบบหมุนเค็ดของอลูมิเนียม อีลลอย ที่อุณหภูมิห้อง , 2533
2. สถิติ, วิทยา เขียววิศกั , 2526
3. Numerical Methods for Engineers 2nd, Steven C. Chapra, 1988
4. Internal Combustion Engine Fundamental, Jeck P. Holmen 1989
5. JIS hand book, Non Furrous Matals, 1986
6. คู่มือเครื่อง Uno's high temperature rotating bending fatigue testing machine