



การทดสอบความต้านทานความล้าแบบหมุนคัค  
ของอตุมิเนียมผสม (AC8A)



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี **035003**

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2537

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การทดสอบความต้านทานความล้าแบบหมุนค้ำของอลูมิเนียมผสม(AC8A)

ผู้จัดทำ

1. นาย ศิริโรจน์ จิตรณรงค์
2. นาย สยาม แซ่มชื่น
3. นาย ชยนันท์ เต็มคุณานนท์



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

( ผศ. พรรศักดิ์ อรรถวานิช )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดสอบความต้านทานความล้าแบบหมุนค้ของอลูมิเนียมผสม (AC8A)

จัดทำโดย

นายศิริโรจน์ จิตรณรงค์

นายสยาม แซ่มชื่น

นายชยันนท์ เต็มคุณานนท์

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์พรศักดิ์ อรรถวานิช

บทคัดย่อ

โลหะอลูมิเนียมผสมทนความร้อน (AC8A) เป็นที่นิยมใช้กันมาในงานทางด้านวิศวกรรม โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมรถยนต์ ซึ่งใช้ในการผลิตลูกสูบในเครื่องยนต์ แต่คุณสมบัติที่สำคัญบางอย่าง เช่น ความต้านทานการล้าของโลหะชนิดนี้ที่สภาวะความจริงมีค่าน้อยมาก ดังนั้นเราจึงทำการศึกษาและทดลองคุณสมบัติดังกล่าวนี้ ด้วยเครื่องทดสอบความล้าแบบหมุนค้ โดยควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบไว้ที่  $260^{\circ}\text{C}$  นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการทดสอบความต้านทานแรงดึง, การตรวจสอบจุลโครงสร้างและความหยาบของชิ้นงาน ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้จะมีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์และปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะที่จะนำไปใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Rotating Bending Fatigue Strength Testing

Aluminium Alloy (AC8A)

By 1. Mr.Sirirot Jitnarong

2. Mr.Siam Chamchun

3. Mr.Chayanan Termkunanon

Supervisor : Mr.Pornsak Attavanich

## Abstract

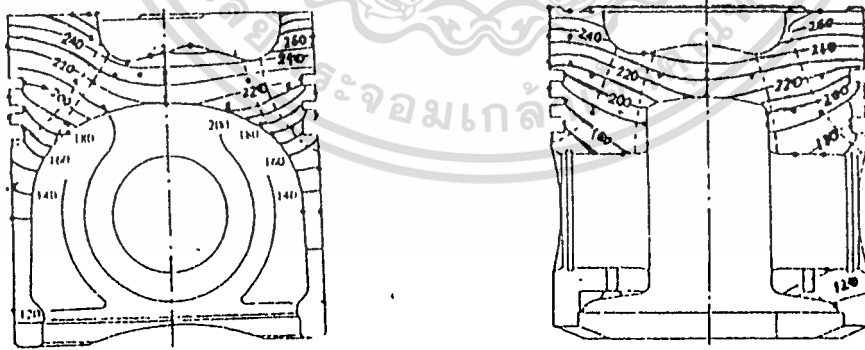
The heat resisting Aluminium Alloy (AC8A) is the most widely used in engineering work. Especially in automobile industry used it as the engine piston. But some important property as fatigue strength of this alloy in actual application was very low value. So our project is study and testing about this property by the fatigue strength testing machine with control the condition temperature; 260°C (the real temperature in chamber) 175°C and 100°C. Additional include in tensile testing, fractography and surface roughness. So the data of these testing will be useful for analyze and improve the characteristic of this alloy in the actual work.

## สารบัญ

	หน้า
บทนำ	1
ความล้า	
-ทฤษฎีความล้า	2
-การคำนวณ	5
-วิธีการเตรียมชิ้นงานและการทดลอง	7
-ผลการทดลอง	9
การทดสอบแรงดึง	
-หลักการและวิธีการทดสอบ	36
-ผลการทดสอบ	37
การทดสอบความหยาบ	
-ผลการทดสอบ	41
การตรวจสอบโครงสร้างของโลหะ	
-หลักการและวิธีการทดสอบ	42
-ผลการทดสอบ	45
สรุปผลการทดลอง	52
วิจารณ์ผลที่ได้จากการทดลอง	53
ภาคผนวก	55
กิตติกรรมประกาศ	64
หนังสืออ้างอิง	65

### โลหะผสม อลูมิเนียม AC8A

ใช้ในการทำลูกสูบเครื่องยนต์ซึ่งจะต้องรับความเค้นเนื่องจากแรง  
 แปรแบบสลับที่อุณหภูมิสูงอยู่ตลอดเวลา สภาพวะของลูกสูบขณะ เครื่องยนต์ทำงาน  
 โดยปกติแล้วจะมีจังหวะ ดูด อัด ระเบิด คาย ทำให้เกิดความดันสูง และต่ำสลับ  
 กันไป และอุณหภูมิขณะ เครื่องยนต์ทำงานนั้น มีค่าสูงตลอดเวลา การกระจายของ  
 อุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้ว heat flux จะสูงสุดที่หัวกระบอกสูบ ตำแหน่งที่วาล์ว  
 ไอน้ำ และบริเวณศูนย์กลางของกระบอกสูบ และต่ำสุดที่ผนังของกระบอกสูบ โดย  
 ทั่วไปแล้วลูกสูบเหล็กหล่อจะทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า อลูมิเนียม ประมาณ  
 40-80°C ในกรณีของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ลูกสูบจะร้อนที่สุด  
 ตรงศูนย์กลาง ส่วนเครื่องยนต์ดีเซล จะร้อนที่สุดบริเวณผิวขอบ และบริเวณ Pre  
 chamber ดังรูป วัตถุประสงค์การกระจายของอุณหภูมิของลูกสูบที่ 3000 รอบ/นาที  
 ระยะชัก 125 mm อัตราส่วนกำลังอัด เท่ากับ 17



รูปที่ 1 แสดงการกระจายของอุณหภูมิในกระบอกสูบ

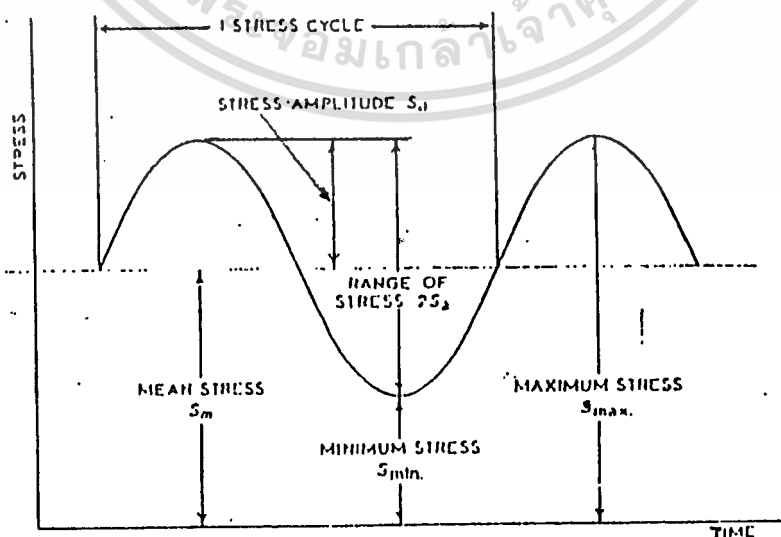
อุณหภูมิสูงสุดตามที่เห็นในรูป ใช้เป็นสภาวะในการทดสอบความล้าของ  
 อลูมิเนียมอัลลอยด์ (AC8A) ที่อุณหภูมิสูง

ความล้าของวัสดุ ปัจจุบันความเสียหายของวัสดุ จะเกิดจากความเสียหายเนื่องจากความล้า คือการที่วัสดุถูกกระทำด้วยแรงแปร (cycle or fluctrating load) ซึ่งจะมีผลให้ ชิ้นงานเกิดความเสียหายที่ค่าความเค้นต่ำกว่าการกระทำด้วยแรงคงที่

สาเหตุสำคัญของ fatigue failure ได้แก่

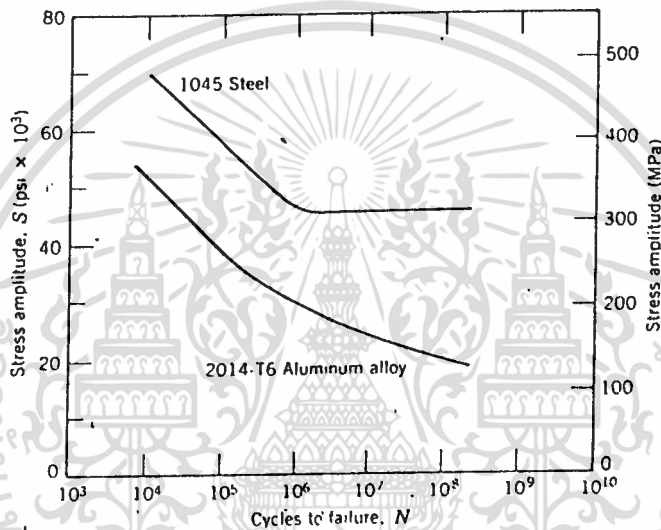
1. ค่า Maximum Tensile Stress ที่สูงพอ
2. แรงแปรที่มีขนาดใหญ่มากที่กระทำ
3. จำนวนครั้งหรือรอบมากพอ

นอกจากนี้ยังมีตัวแปรอื่น ๆ อีก เช่น การสึกหรอ, อุณหภูมิ การโอเวอร์โหลด เป็นต้น ในเรื่องความความล้านี้ สมมติรูปของความเค้นที่กระทำต่อวัสดุเป็นแบบวัฏจักร (stress cycle) กระทำอย่างต่อเนื่องเพื่อที่จะคำนวณได้ เพราะโดยทั่วไปแล้วแรงจะเปลี่ยนในลักษณะที่ไม่ทราบแน่นอน สามารถสมมติแรงแทนโหนดการกระทำเป็น cycle ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ ความเค้นต่อเวลา โยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่วัสดุถูกกระทำด้วยแรงความเค้นสลับกันไป จะทำให้วัสดุเกิดการแตกหักได้ แม้ว่าแรงที่มากกระทำนั้นต่ำกว่า yield strength ก็ตามหากทำการทดลองความล้า สามารถนำผลทดลองมาเขียนลงบน Semilogarithmic scale จะมีค่าความเค้น  $S$  แทนแกน  $Y$  และจำนวนรอบที่วัสดุขาดหรือจำนวนรอบที่กำหนด ( $N$ ) แทนแกน  $X$  จะได้กราฟลักษณะดังรูป



รูปที่ 3 แสดงกราฟระหว่างความเค้นกับจำนวนรอบ

จากกราฟ สามารถแบ่งเป็น 2 แบบ

- แบบที่ 1 เป็นโลหะประเภทเหล็ก เมื่อความเค้นลดลง รอบจะเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง แม้ว่าจะกระทำการทดสอบเป็นเวลานาน ชิ้นงานก็จะไม่เกิดความเสียหาย ซึ่งที่จุดนี้กราฟ S-N curve จะขนานกับแกน X สำหรับโลหะประเภทเหล็กค่าความเค้นของจุดนี้อยู่ที่ประมาณ 10 ล้านรอบ และที่จุดนี้จะมีลักษณะหักมุม
- แบบที่ 2 โลหะผสมที่ไม่ใช่เหล็กบางชนิด เส้นกราฟจะไม่มีส่วนที่ขนานกับแกน X และไม่มีจุดหักมุม เพราะฉะนั้นขีดจำกัดของความล้าจึงกำหนดโดยการใช้ค่า stress ที่รับได้เมื่อแรงตามจำนวนครั้งที่กำหนด ตัวอย่าง

ของโลหะประเภทนี้ ได้แก่ ทองเหลือง ทองแดง และอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างที่เปลี่ยนไปในระหว่าง เกิดกระบวนการล้าของโลหะ

เมื่อชิ้นงานทดสอบของโลหะอยู่ภายใต้ความเค้นเป็นรอบ ๆ พื้นผิวของความเสียหายเนื่องจากการล้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ

1) การเริ่มต้นเกิดรอยร้าว โดยทั่วไปจะมีสาเหตุมาจากตำหนิหรือจุดบกพร่องในชิ้นงาน เช่น การแทรกตัวของสารเจือปน หรือรูเข็ม (pin-holes) ที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นงาน ซึ่งเป็นส่วนที่มีความเค้นสูง เป็นเหตุให้เกิดการล้าจนกระทั่งเกิดขึ้นได้ง่าย ทำให้เกิดรอยร้าวขึ้น

2) การขยายตัวของรอยร้าว จะเป็นรูปแบบคล้ายหาคทา การล้าจะเกิดเป็นแนวเล็ก ๆ ในขณะที่การร้าวขยายตัวไปข้างหน้าตามพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานทดสอบแนวเล็ก ๆ ของการล้านี้ มีประโยชน์ในการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดจากการล้าในการหาจุดเริ่มต้นและทิศทางของการกระจายรอยแตกร้าวเนื่องจากการล้า

3) การแตกหักอย่างฉับพลัน เมื่อรอยร้าวปกคลุมพื้นที่เพียงพอ โดยที่พื้นที่หน้าตัดที่เหลือของโลหะไม่สามารถต้านทานแรงกระทำที่เกิดขึ้นได้ ชิ้นงานก็จะขาดจากการอย่างฉับพลัน

อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อโครงสร้างของโลหะ

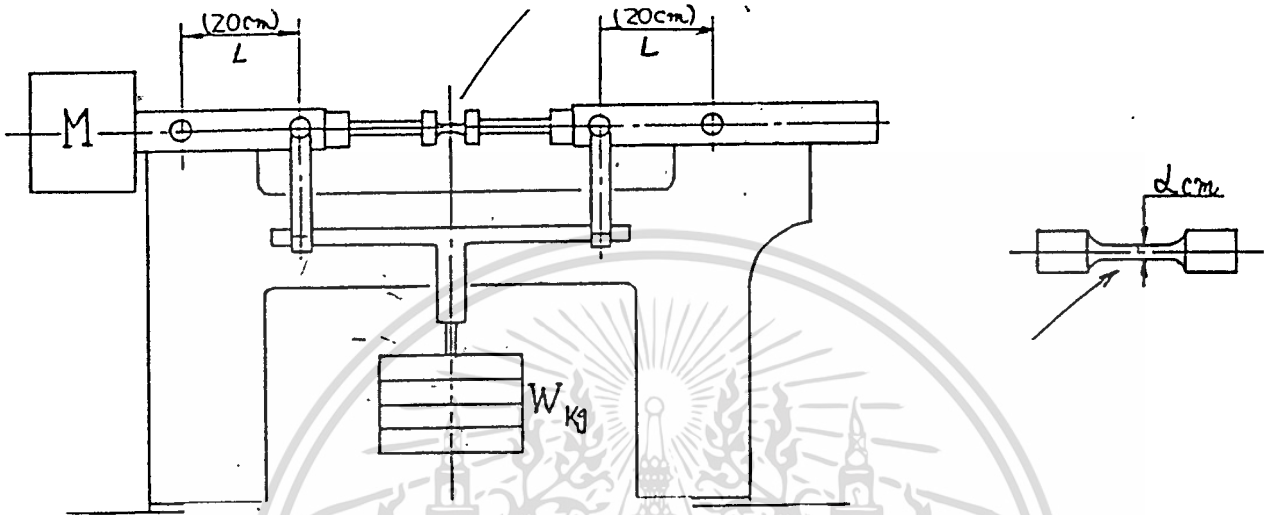
เมื่อชิ้นงานทดลองอยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิสูง จะมีผลทำให้โครงสร้างของชิ้นงานนั้นมีความแข็งแรงน้อยลง สาเหตุเนื่องจากปัจจัยหลัก 2 ประการคือ

1) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมลดลง เนื่องจากเมื่อเราเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ชิ้นงาน อะตอมและอิเล็กตรอนภายในโครงสร้างจะได้รับพลังงานเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการสั่นไหวภายในโครงสร้างมากขึ้น มีผลทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมลดลง

2) การลื่น (slide) ระหว่างผลึกในโครงสร้าง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างผลึก (ขอบเกรน) จะมีค่าลดลง ทำให้เกิดการลื่นระหว่างผลึกง่ายขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการเสียรูปได้ง่ายขึ้น ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การคำนวณ

#### การคำนวณหา Bending Stress จากรูป



รูปที่ 4 แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบความล้า

- กำหนด Distance between Load Supporting Point : L cm(20cm)
- Weight : W kg
- Diameter of Specimen : d cm(0.8cm)
- Uniform bending stress : M kgf/cm
- Bending Stress given to specimen : S kgf/cm<sup>2</sup>

จะได้ว่า

$$M = WL/2 = 10W$$

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

$$= 320W/d^3$$

$$= 101.81W/d^3 \text{ kgf/cm}^2$$

$$= 992.18W/d^3 \text{ MPa}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติให้  $S = A.N^B$  .....(1)

$S$  = bending stress (MPa)

$N$  = number of cycle

take in;  $\ln S = \ln A + B \ln N$

จาก Regression analysis จะได้ว่า

$$\ln A = \frac{\sum \ln S \cdot \sum (\ln N)^2 - \sum \ln N \cdot \sum \ln S \cdot \ln S}{N \sum (\ln N)^2 - (\sum \ln N)^2} \dots\dots(2)$$

หรือ  $\ln A = \ln S - B \ln N$

$$B = \frac{n \sum \ln S \cdot \ln N - \sum \ln N \cdot \sum \ln S}{n \sum (\ln N)^2 - (\sum \ln N)^2} \dots\dots(3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทดลองและผลการทดลอง

การเตรียมงาน

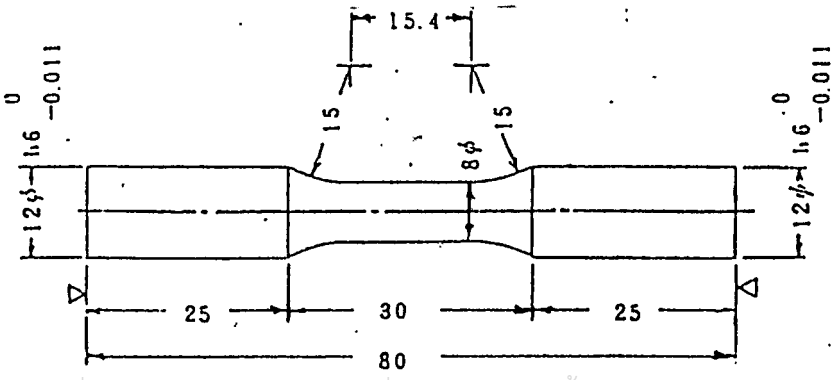
ขบวนการหล่ออลูมิเนียม

1. นำ ingot ของอลูมิเนียม มาหลอมที่เตาหลอมที่อุณหภูมิ 900-950°C เป็นเวลา 1.5 ชม.
2. จากนั้นนำมาไว้ที่เตาพักเพื่อลดอุณหภูมิลงจนถึงที่ประมาณ 750°C จากนั้นจะทำการตัก slag ออกแล้วใส่ แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส (แบบก้อน,ผง) เป่าด้วยก๊าซ N<sub>2</sub> เพื่อไล่แก๊สและสิ่งสกปรก ตัก slag ออกอีกครั้งแล้วทิ้งไว้ 30 นาที
3. นำมาเทลงในแบบหล่อที่อุณหภูมิประมาณ 250°C



รูปที่ 5 แสดงลักษณะของแบบหล่อ

ชิ้นงานที่นำมาทดสอบ จะต้องมีความได้มาตรฐานการทดสอบ ดังรูป



รูปที่ 6 แสดงขนาดของชิ้นงานที่ใช้ทดสอบความล้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กรรมวิธีการทำชิ้นงาน

1. นำชิ้นอลูมิเนียมจากบริษัทผู้ผลิต มากถึงหยาบเป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 14 mm
2. นำชิ้นงานดังกล่าวมากลึงละเอียดด้วยเครื่อง CNC.
3. ทำการขัดผิวตามแนวยาว เพื่อลบรอยที่เกิดจากการกลึงด้วยกระดาษทราย น้ำ ขนาด 800

### วิธีการทดสอบความล้า

เป็นการทดสอบความล้าแบบหมุนตัด ทดสอบโดยใช้เครื่องมือทดสอบความล้า One's High Temperature model 7 Rotation Fatigue testing Machine ทดสอบที่อุณหภูมิ 260°C , 175°C 100°C

### ส่วนประกอบของ เครื่องทดสอบ

1. เครื่องทดสอบความล้า
2. เครื่องตั้งอุณหภูมิ

### ขั้นตอนการทดสอบ

1. ประกอบชิ้นงานเข้ากับหัวจับชิ้นงาน (chucking rod)
2. นำ split nut ประกอบเข้ากับหัวจับชิ้นงาน และสาม cap nut ตรงกับขอบ split nut
3. นำไปสวมเข้ากับแกนหมุนโดยสวมทางด้านซ้ายมือ (ด้านที่มีมอเตอร์) ก่อน จากนั้นจึงสวมทางด้านขวามือ ขึ้นให้แน่น
4. เปิดเครื่องตั้งอุณหภูมิ และรอปรับจนได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผลการทดลอง						
Data for fatigue testing at 100 celcius						
Load	Stress	Cycle	LnS	LnN	LnS.LnN	LnN.LnN
6.50	126.95	219500	4.84379331	12.29910761	59.57433466	151.2680456
6.50	126.95	297000	4.84379331	12.60148742	61.03900043	158.7974851
6.50	126.95	312200	4.84379331	12.65139929	61.28076321	160.0579039
6.00	117.18	313400	4.76371121	12.65623561	60.28588779	160.1549883
6.00	117.18	342500	4.76371121	12.74402694	60.70886403	162.4102226
6.00	117.18	360300	4.76371121	12.7946923	60.95021918	163.704151
5.50	107.42	798100	4.67674638	13.58998918	63.55693277	184.687806
5.50	107.42	806200	4.67674638	13.60008713	63.60415831	184.9623699
5.50	107.42	806900	4.67674638	13.60095502	63.60821723	184.9859776
5.00	97.65	1147400	4.58138966	13.95300907	63.92417145	194.6864621
5.00	97.65	2183700	4.58138966	14.59653124	66.87239727	213.0587244
5.00	97.65	2324500	4.58138966	14.65901562	67.15866209	214.886736
4.50	87.89	7598600	4.47608603	15.84347458	70.91675526	251.0166867
4.50	87.89	9340800	4.47608603	16.04990246	71.84074422	267.599369
4.50	87.89	6968400	4.47608603	15.7568962	70.529223	248.2797779
4.00	78.12	12344000	4.35824611	16.32868067	71.16440896	266.6258125
4.00	78.12	13163200	4.35824611	16.39293562	71.44444781	268.7283381
		<b>Total</b>	<b>78.741672</b>	<b>240.1174258</b>	<b>1108.459188</b>	<b>3425.909857</b>
		<b>LnA</b>	<b>6.16601409</b>			
		<b>B</b>	<b>-0.1086159</b>			
		<b>A</b>	<b>476.283893</b>			

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองและข้อมูลที่ใช้ในการทำกราฟที่อุณหภูมิ 100°C

Data for fatigue testting at 150 celcius						
Load	Stress	Cycle	LnS	LnN	LnS.LnN	LnN.LnN
6.50	126.95	66400	4.843793	11.10345	53.7828281	123.28665
6.50	126.95	80100	4.843793	11.29103	54.691421	127.48738
6.50	126.95	71500	4.843793	11.17745	54.1412707	124.93545
6.50	126.95	101400	4.843793	11.52683	55.8335741	132.86777
6.00	117.18	193600	4.763711	12.17355	57.991274	148.19531
6.00	117.18	206300	4.763711	12.23709	58.2939471	149.74629
6.00	117.18	120200	4.763711	11.69691	55.7207123	136.81776
6.00	117.18	222200	4.763711	12.31133	58.6476358	151.56892
5.50	107.42	522000	4.676746	13.16542	61.5713438	173.32836
5.50	107.42	3435800	4.676746	15.04976	70.3839123	226.49529
5.50	107.42	585700	4.676746	13.28056	62.109825	176.37335
5.50	107.42	315100	4.676746	12.66065	59.2106273	160.29194
5.00	97.65	4593400	4.58139	15.34013	70.2791177	235.31962
5.00	97.65	607200	4.58139	13.31661	61.0085954	177.3322
5.00	97.65	737400	4.58139	13.51089	61.8986323	182.54403
5.00	97.65	10184000	4.58139	16.13633	73.9268081	260.38109
4.50	87.89	10193200	4.476086	16.13723	72.231636	260.41024
4.50	87.89	10106800	4.476086	16.12872	72.1935339	260.13558
4.50	87.89	14395400	4.476086	16.48242	73.7767267	271.67014
4.50	87.89	12719500	4.476086	16.35865	73.2227105	267.60533
		Total				
		LnA	5.529505			
		B	-0.06353			
		A	252.0191			

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองและข้อมูลที่ใช้ในการทำกราฟที่อุณหภูมิ 150°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง						
Data for fatigue testting at 175 celcius						
Load	Stress	Cycle	LnS	LnN	LnS.LnN	LnN.LnN
6.50	126.95	145,000	4.843793308	11.884489	57.56600839	141.2410793
6.50	126.96	237,500	4.843872076	12.3779229	59.95707511	153.2129754
6.50	126.95	310,000	4.843793308	12.6443276	61.2465093	159.8790199
6.00	117.18	337,500	4.763711214	12.7293208	60.63880819	162.0356078
6.00	117.18	301,800	4.763711214	12.6175198	60.10622069	159.2018065
6.00	117.18	439,000	4.763711214	12.9922547	61.89134937	168.798682
5.50	107.42	620,900	4.676746384	13.3389253	62.38277075	177.9269286
5.50	107.42	800,200	4.676746384	13.592617	63.5692223	184.7592362
5.50	107.42	598,900	4.676746384	13.3028499	62.21405626	176.9658159
5.00	97.65	929,300	4.581389657	13.7421869	62.9583129	188.8477006
5.00	97.65	1,004,200	4.581389657	13.8197018	63.31343872	190.9841668
5.00	97.65	1,520,700	4.581389657	14.2346813	65.21462174	202.6261621
4.50	87.89	4,103,500	4.476086033	15.2273508	68.16893235	231.8722132
4.50	87.89	5,571,400	4.476086033	15.5331569	69.52774676	241.2789641
4.50	87.89	7,281,600	4.476086033	15.8008612	70.72601401	249.6672139
4.00	78.12	8,826,300	4.358246106	15.9932465	69.7025041	255.7839323
4.00	78.12	7,952,700	4.358246106	15.8890221	69.24826848	252.4610218
4.00	78.12	10,621,100	4.358246106	16.1783531	70.5092446	261.7391105
		<b>Total</b>	<b>83.09999688</b>	<b>251.898788</b>	<b>1158.931103</b>	<b>3559.281617</b>
		<b>LnA</b>	<b>6.258166988</b>			
		<b>B</b>	<b>-0.11729707</b>			
		<b>A</b>	<b>522.2602299</b>			

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองและข้อมูลที่ใช้ในการทำการกราฟที่อุณหภูมิ 175 C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data for fatigue testting at 200 celcius						
Load	Stress	Cycle	LnS	LnN	LnS.LnN	LnN.LnN
5.50	107.42	1179200	4.676746	13.98035	65.3825364	195.450097
5.50	107.42	240700	4.676746	12.39131	57.9509985	153.54448
5.50	107.42	644500	4.676746	13.37623	62.5572358	178.923532
5.50	107.42	174900	4.676746	12.07197	56.4575405	145.732451
5.00	97.65	225500	4.58139	12.32608	56.4705545	151.932136
5.00	97.65	1349000	4.58139	14.11487	64.6657384	199.229672
5.00	97.65	1018700	4.58139	13.83404	63.379118	191.380604
5.00	97.65	875900	4.58139	13.68301	62.6871877	187.224686
4.50	87.89	3335700	4.476086	15.02019	67.2316766	225.606201
4.50	87.89	1141700	4.476086	13.94803	62.4325775	194.547511
4.50	87.89	2205500	4.476086	14.60646	65.3797931	213.348814
4.50	87.89	1594400	4.476086	14.28201	63.9274967	203.975754
4.00	78.12	7730500	4.358246	15.86068	69.1247647	251.5613
4.00	78.12	3838300	4.358246	15.16054	66.0733649	229.841977
4.00	78.12	2825000	4.358246	14.85402	64.7374701	220.641878
4.00	78.12	6693800	4.358246	15.71669	68.4972129	247.014416
3.50	68.36	11815400	4.224788	16.28491	68.8003083	265.198435
3.50	68.36	10106800	4.224788	16.12872	68.1404163	260.135577
3.50	68.36	10395400	4.224788	16.15687	68.2593649	261.044576
3.50	68.36	12719500	4.224788	16.35865	69.1118124	267.605325
		<b>Total</b>	<b>89.26902</b>	<b>290.1556</b>	<b>1291.26717</b>	<b>4243.93942</b>
		<b>LnA</b>	<b>6.07684</b>			
		<b>B</b>	<b>-1.11121</b>			
		<b>A</b>	<b>435.6504</b>			

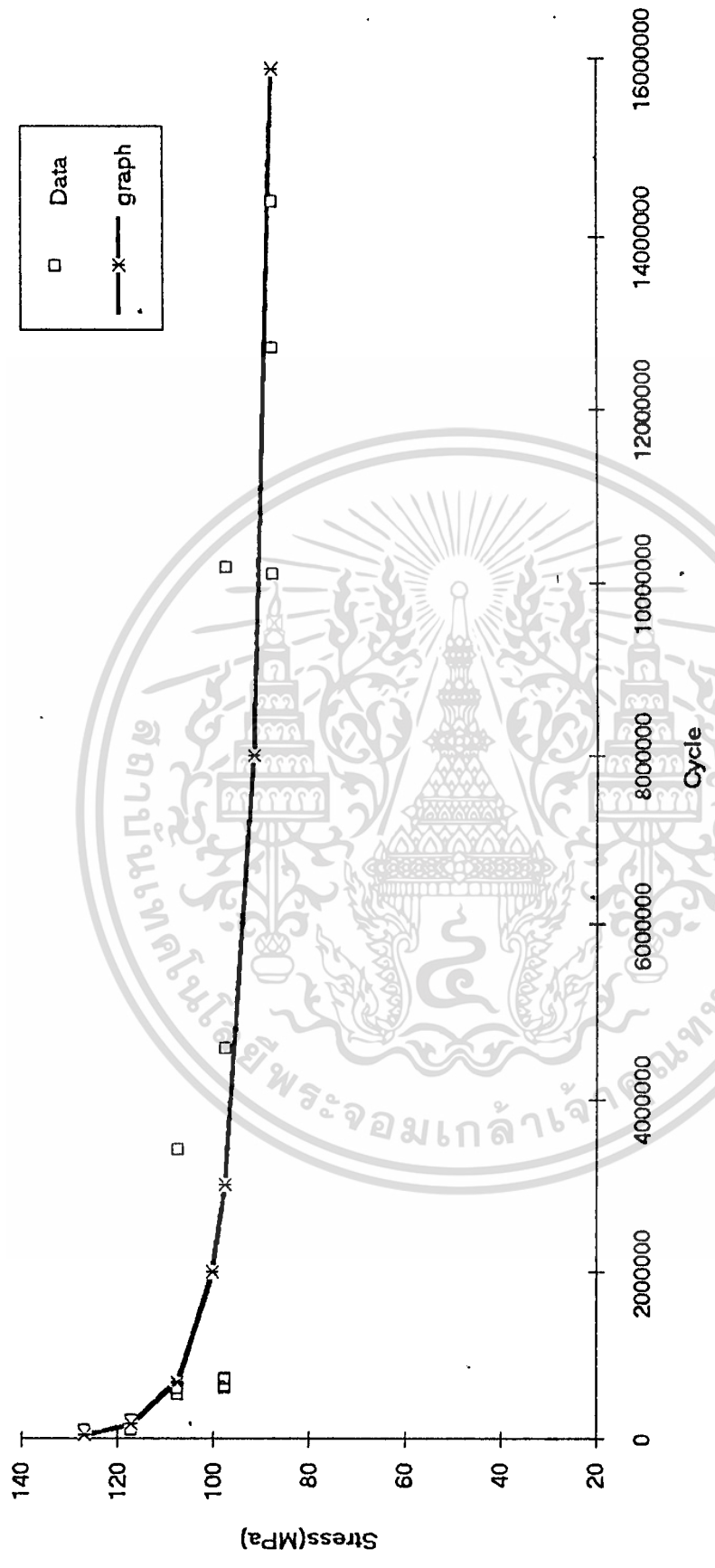
ตารางที่ 4 แสดงผลการทดลองและข้อมูลที่ใช้ในการทำกราฟที่อุณหภูมิ 200 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง						
Data for fatigue testting at 260 celcius						
Load	Stress	Cycle	LnS	LnN	LnS.LnN	LnN.LnN
5.00	97.65	146600	4.5813897	11.89546307	54.49775147	141.5020416
5.00	97.65	101400	4.5813897	11.526882837	52.80889228	132.8677723
5.00	97.65	171500	4.5813897	12.05233865	55.21645916	145.2588644
4.50	87.89	156700	4.476086	11.96208843	53.54333693	143.0915696
4.50	87.89	160500	4.476086	11.98604922	53.65058751	143.6653759
4.00	78.12	335500	4.3582461	12.72337724	55.45160929	161.8843283
4.00	78.12	244300	4.3582461	12.40615226	54.06906477	153.9126138
4.00	78.12	179300	4.3582461	12.09681566	52.72089974	146.3329491
3.50	68.36	413800	4.2247879	12.93313804	54.63978458	167.2660597
3.50	68.36	608900	4.2247879	13.31940933	56.27167881	177.4066649
3.50	68.36	608400	4.2247879	13.31858784	56.26820819	177.384782
3.00	58.59	876000	4.070564	13.68312137	55.69802172	187.2278104
3.00	58.59	1291400	4.070564	14.07123748	57.27787311	197.9997236
3.00	58.59	857200	4.070564	13.66142654	55.60971153	186.6345752
3.00	58.59	521600	4.070564	13.16465629	53.58757641	173.3081752
2.50	48.83	4504000	3.8883449	15.32047645	59.57129613	234.7169986
2.50	48.83	2952100	3.8883449	14.89802734	57.9286683	221.9512186
2.50	48.83	2457400	3.8883449	14.71461444	57.21549568	216.5198781
2.50	48.83	1773800	3.8883449	14.3886347	55.94797402	207.0328084
2.00	39.06	10111500	3.6650989	16.12918395	59.11505476	260.1605748
2.00	39.06	12451200	3.6650989	16.33732756	59.87792169	266.9082719
2.00	39.06	12815200	3.6650989	16.36614252	59.98353138	267.8506211
		<b>Total</b>	91.276375	298.9550966	1230.951377	4110.873668
		<b>LnA</b>	6.7849567			
		<b>B</b>	-0.193985			
		<b>A</b>	884.44182			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะที่ควรศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ตารางที่ 5 แสดงผลการทดลองและข้อมูลที่ใช้ในการทำกราฟที่อุณหภูมิ 260 C  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

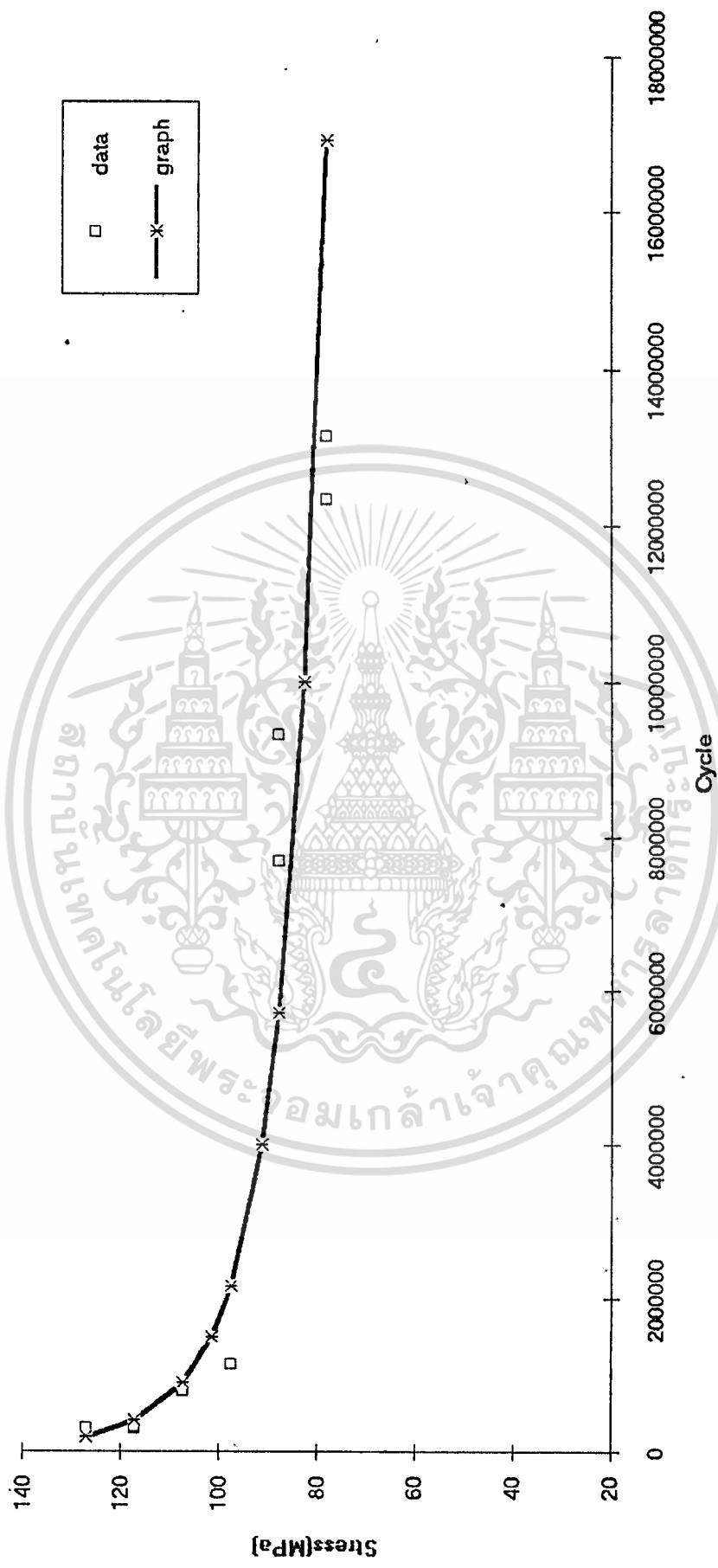
Regression graph for temperature 150 celcius



รูปที่ 8 กราฟของการทดสอบที่อุณหภูมิ 150 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

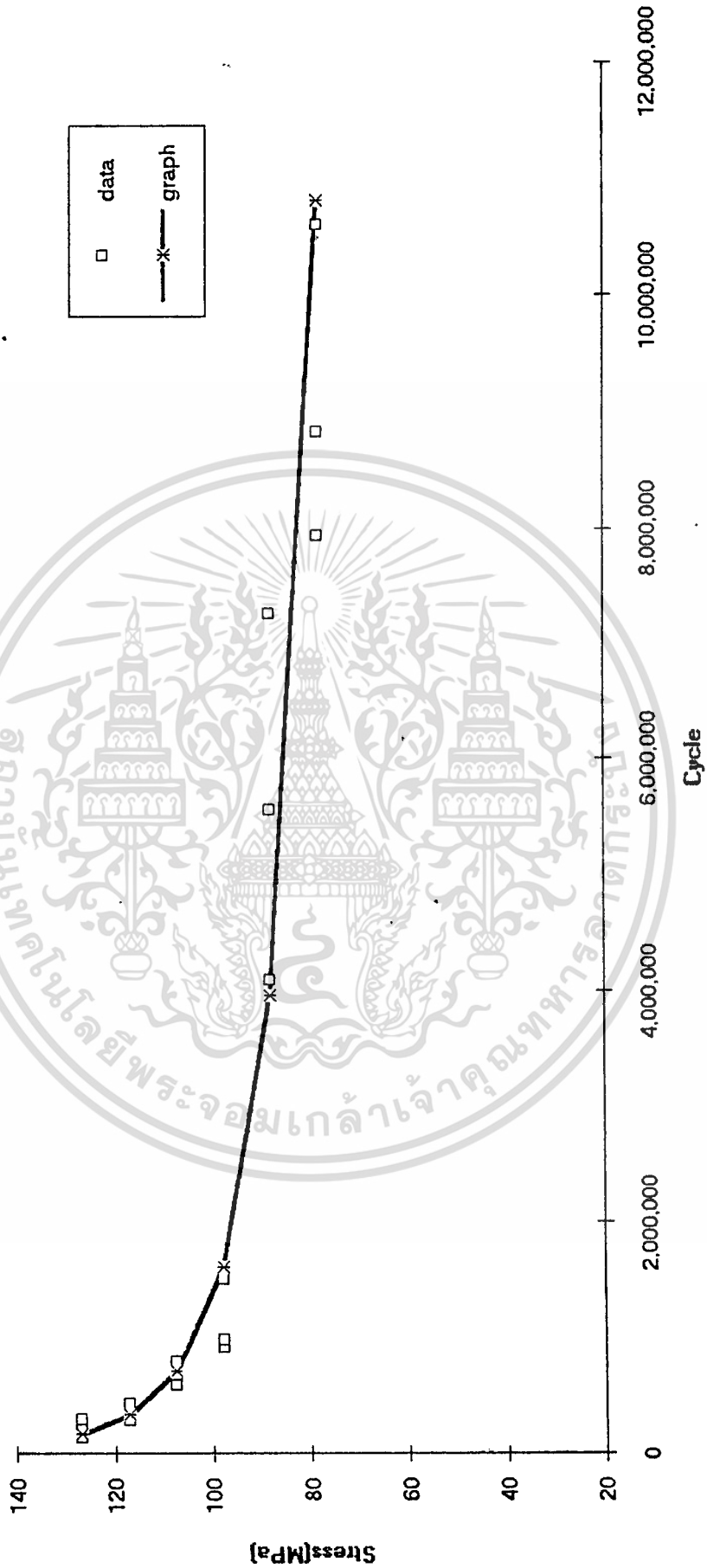
Regression Graph for Temperature 100 celcius



รูปที่ 7 กราฟของผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 100 C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

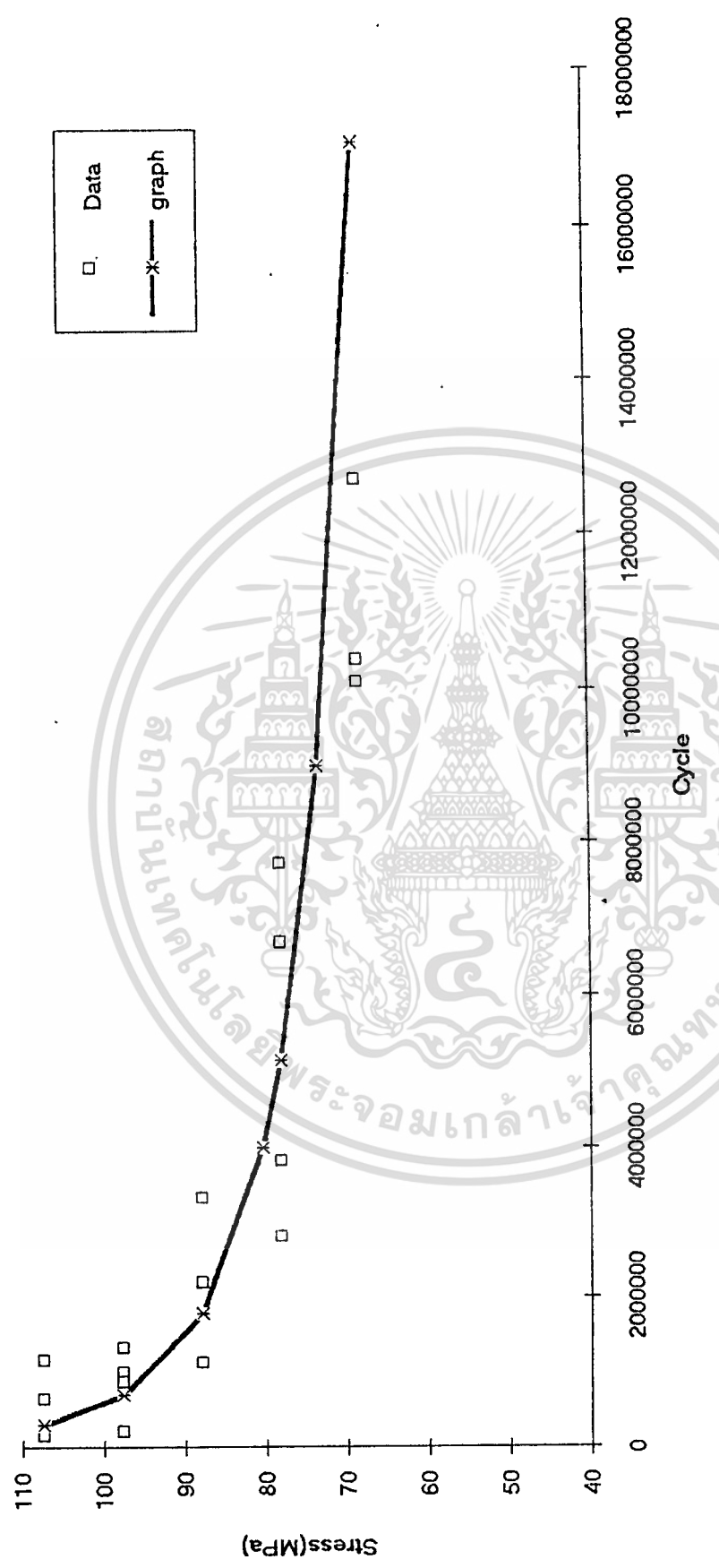
Regression Grsph at Temperature 175 celcius



รูปที่ 9 กราฟของผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 175 C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

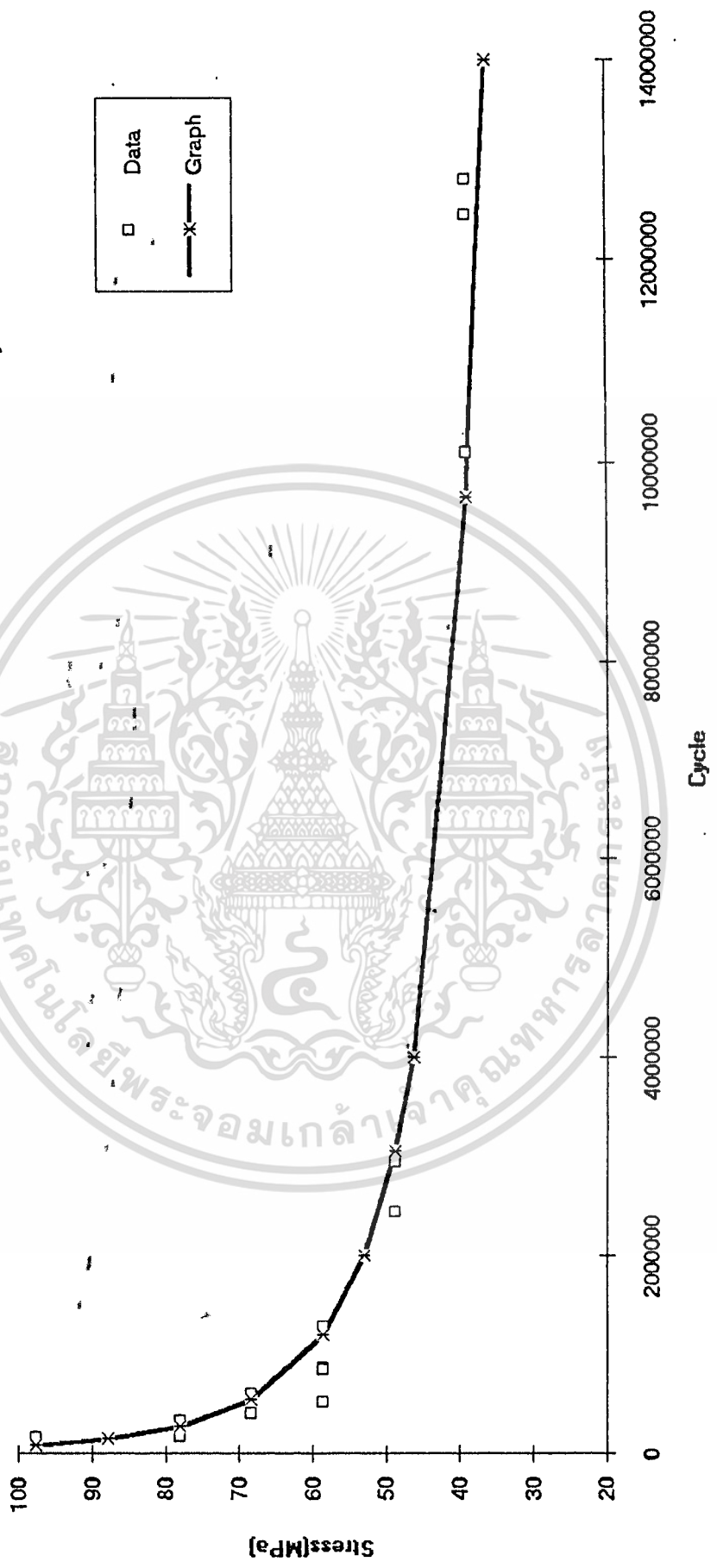
Regression graph for temperature 200 celcius



รูปที่ 10 กราฟของการทดสอบที่อุณหภูมิ 200°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

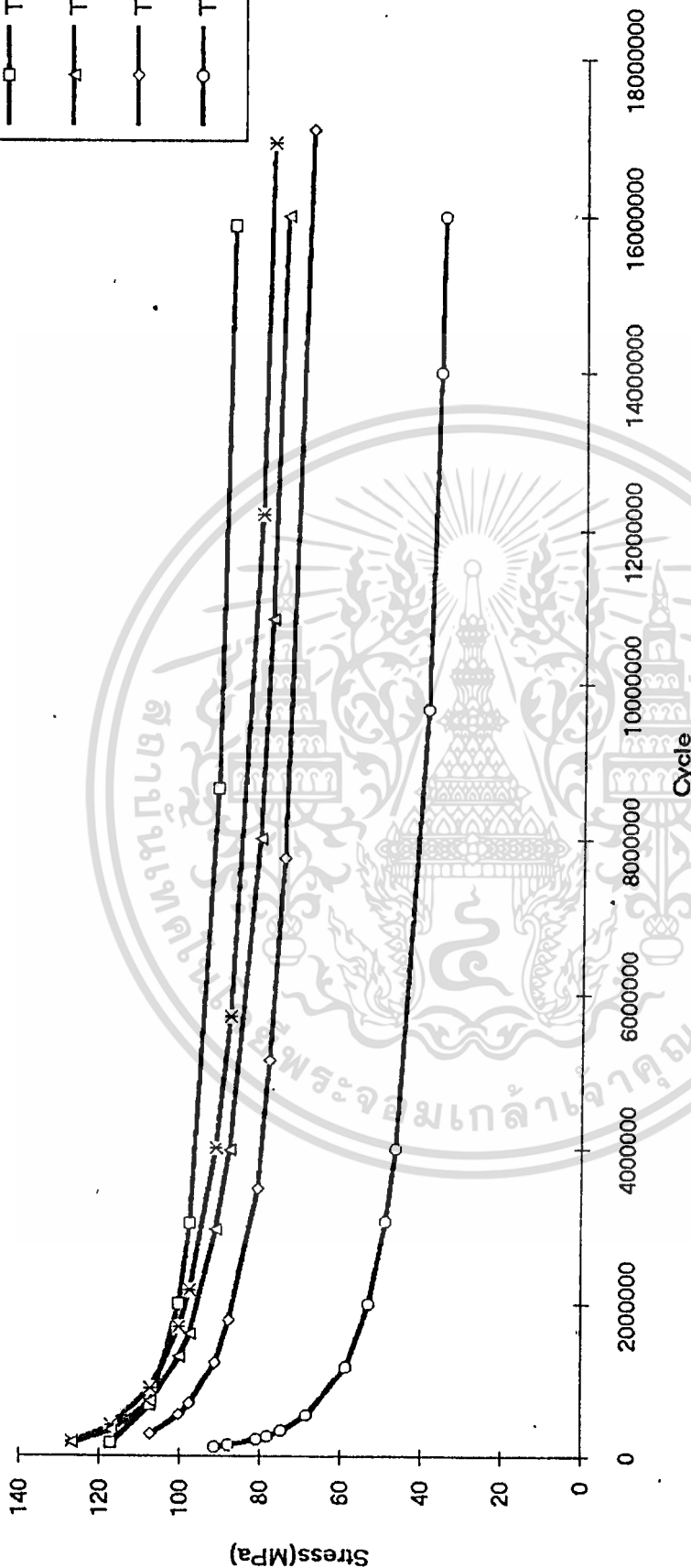
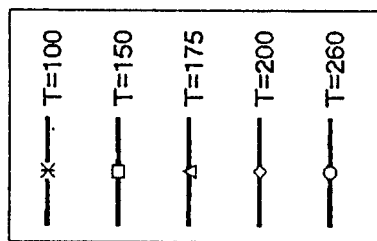
Regression Graph at Temperature 260 celcius



รูปที่ 11 กราฟของผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 260C

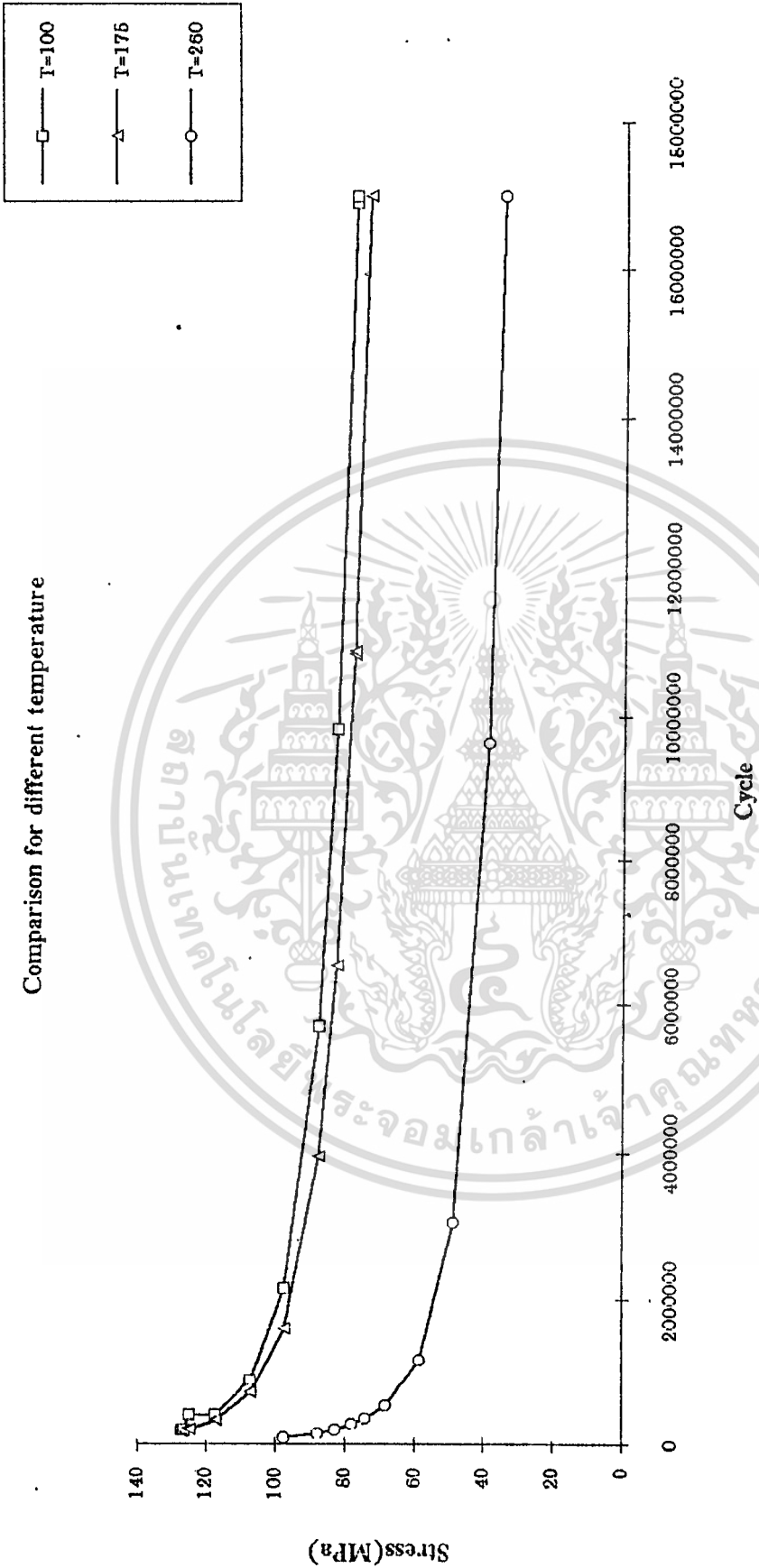
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Comparison for different temperature



รูปที่ 12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของผลการทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆ

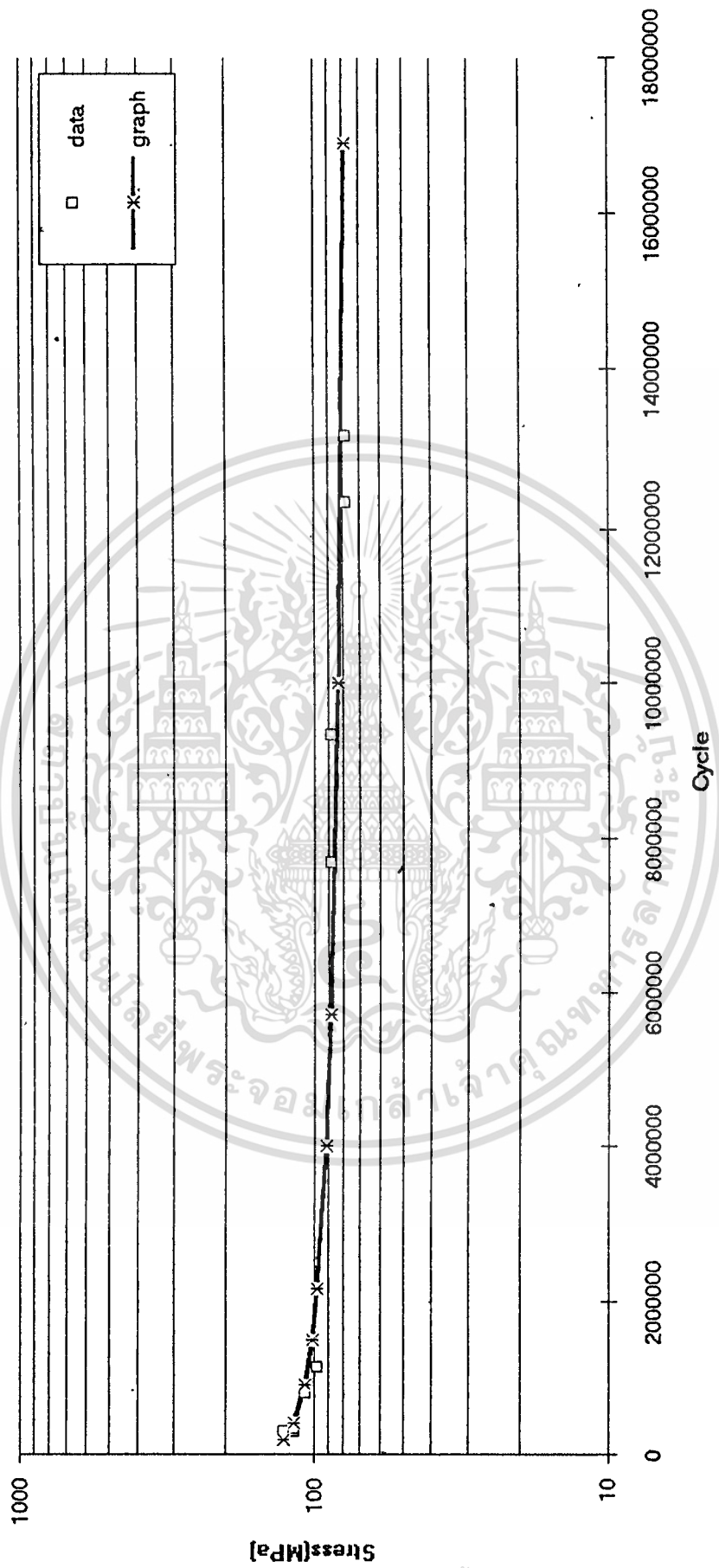
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของผลการทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

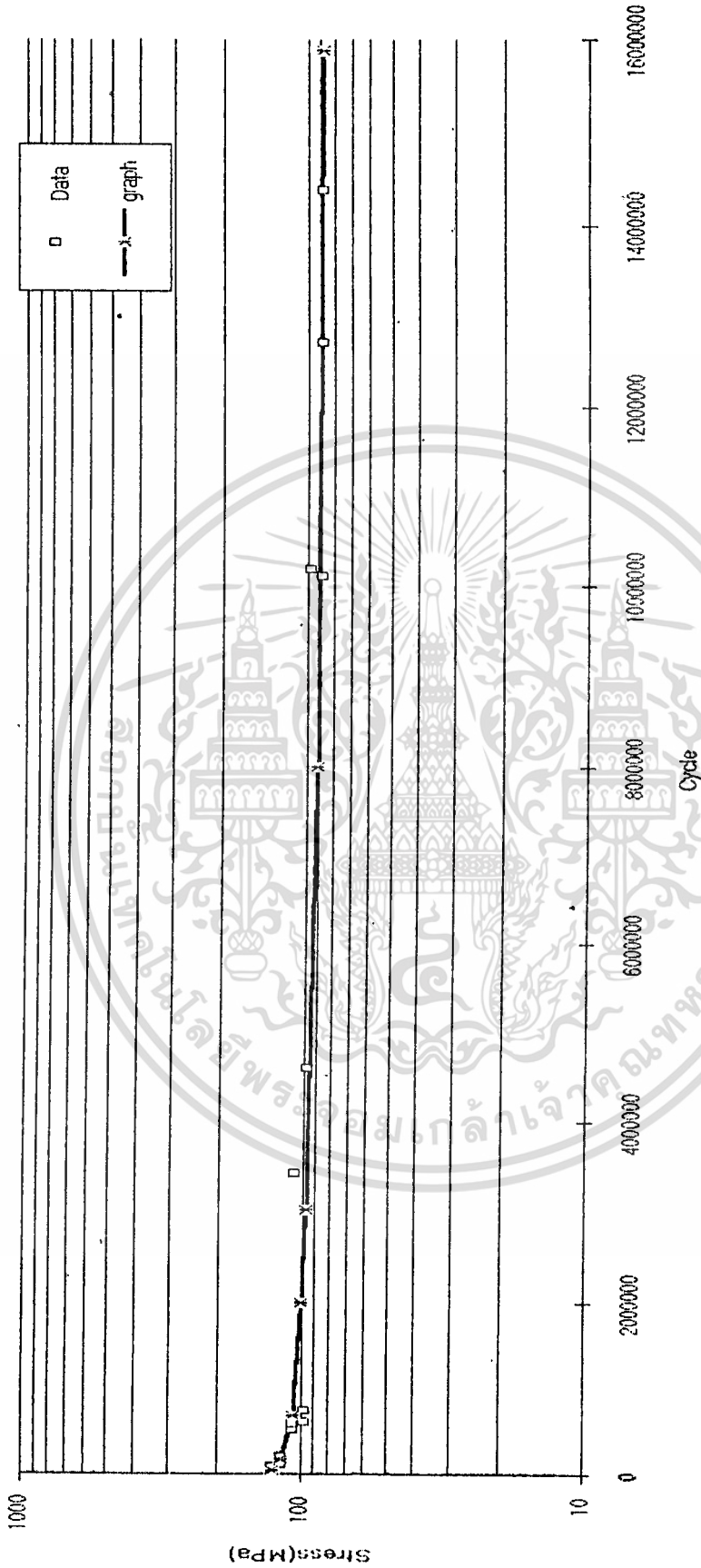
Semi-log Graph for Temperature 100 celcius



รูปที่ 14 กราฟ Semi-log ของผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 100C

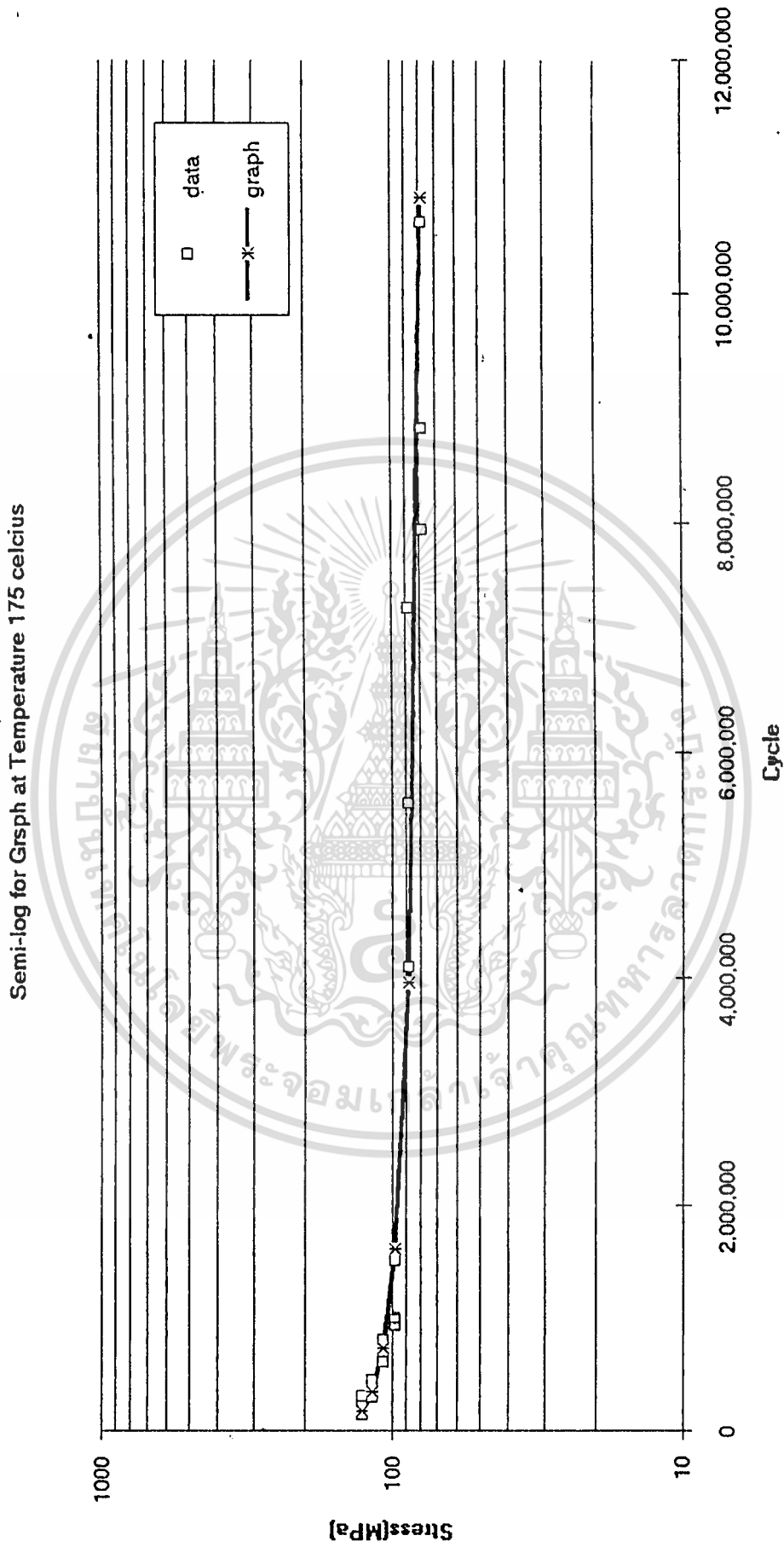
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Semi-log graph for temperature 150 celcius



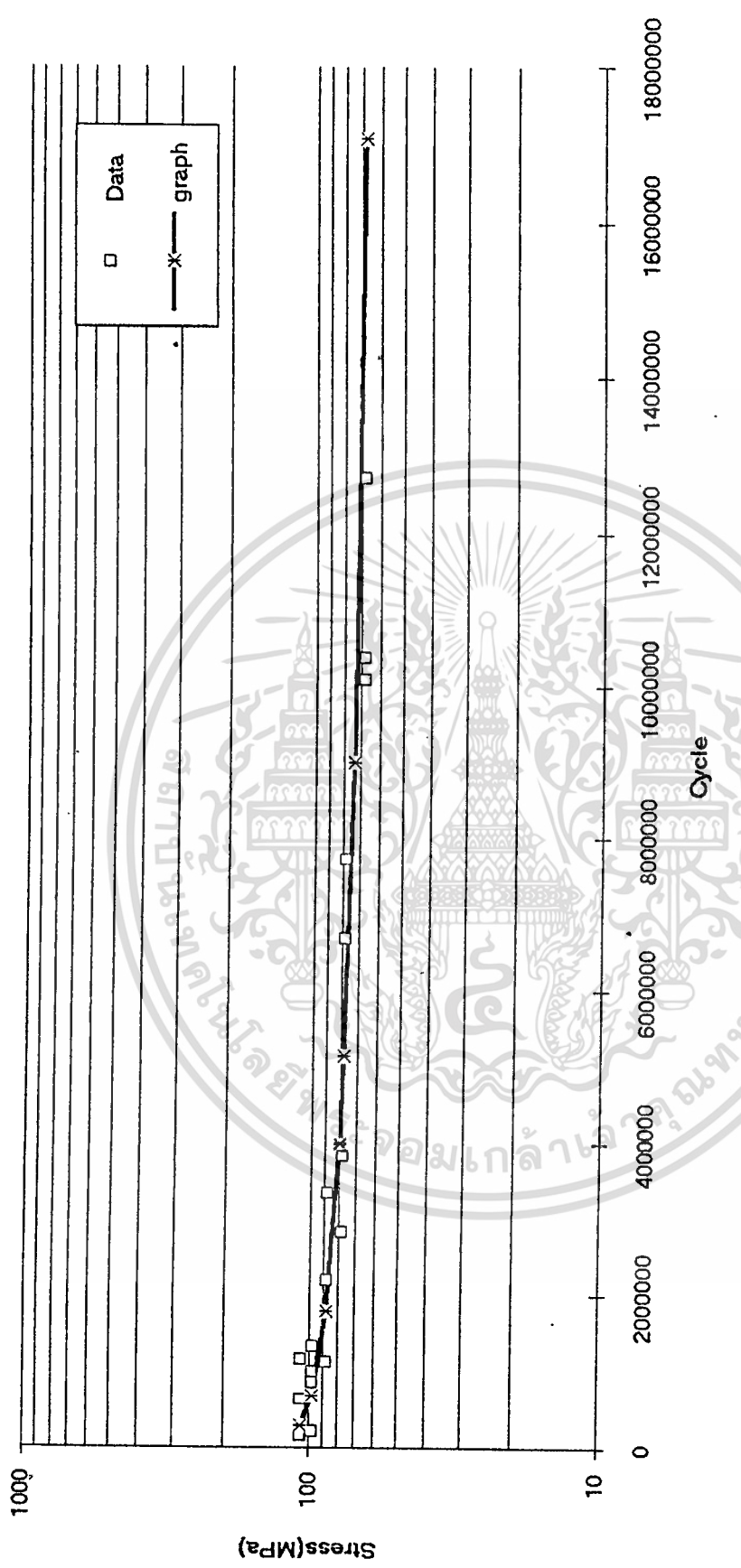
รูปที่ 15 กราฟ Semi-log ของผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 150 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



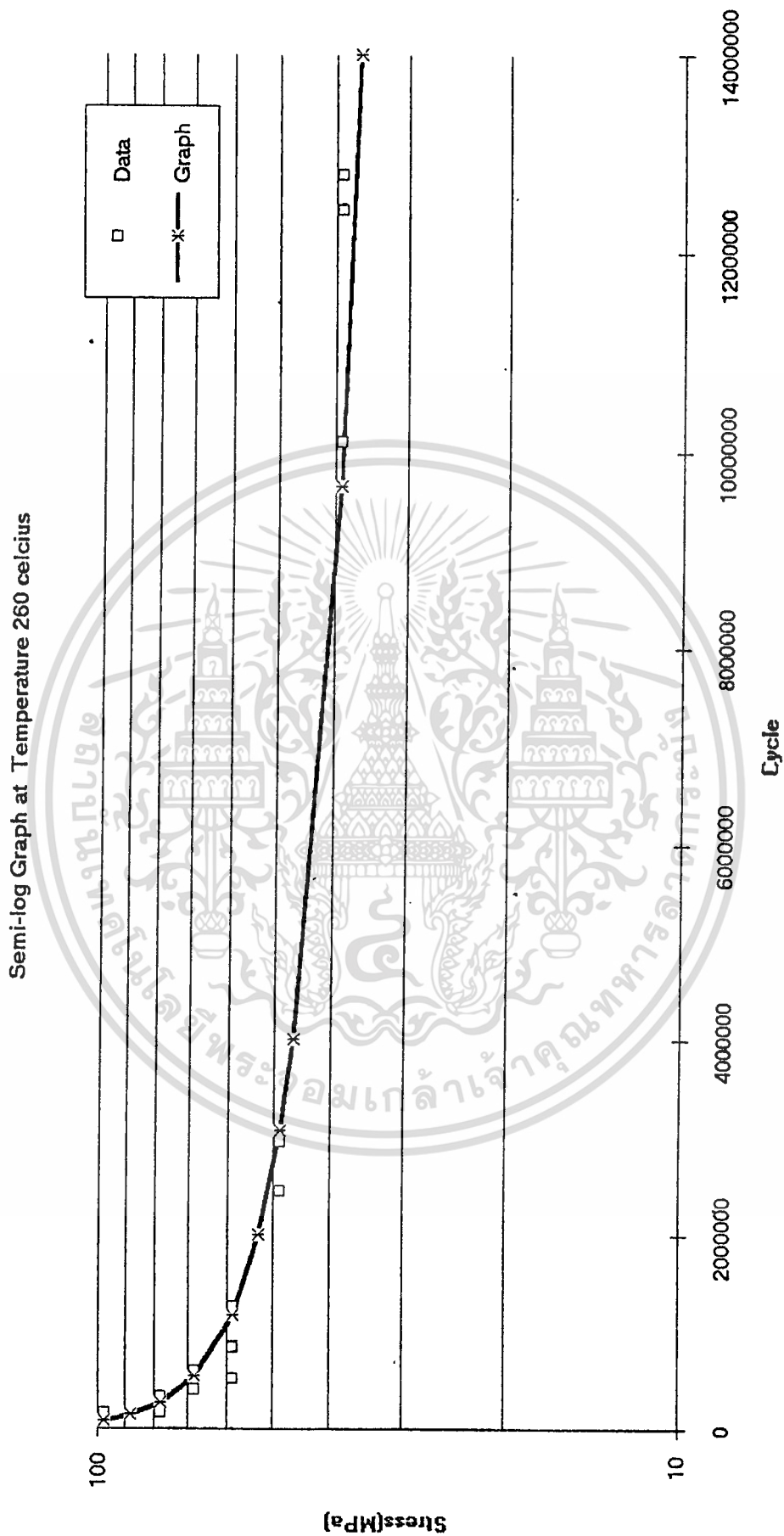
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Semi-log graph for temperature 200 celcius



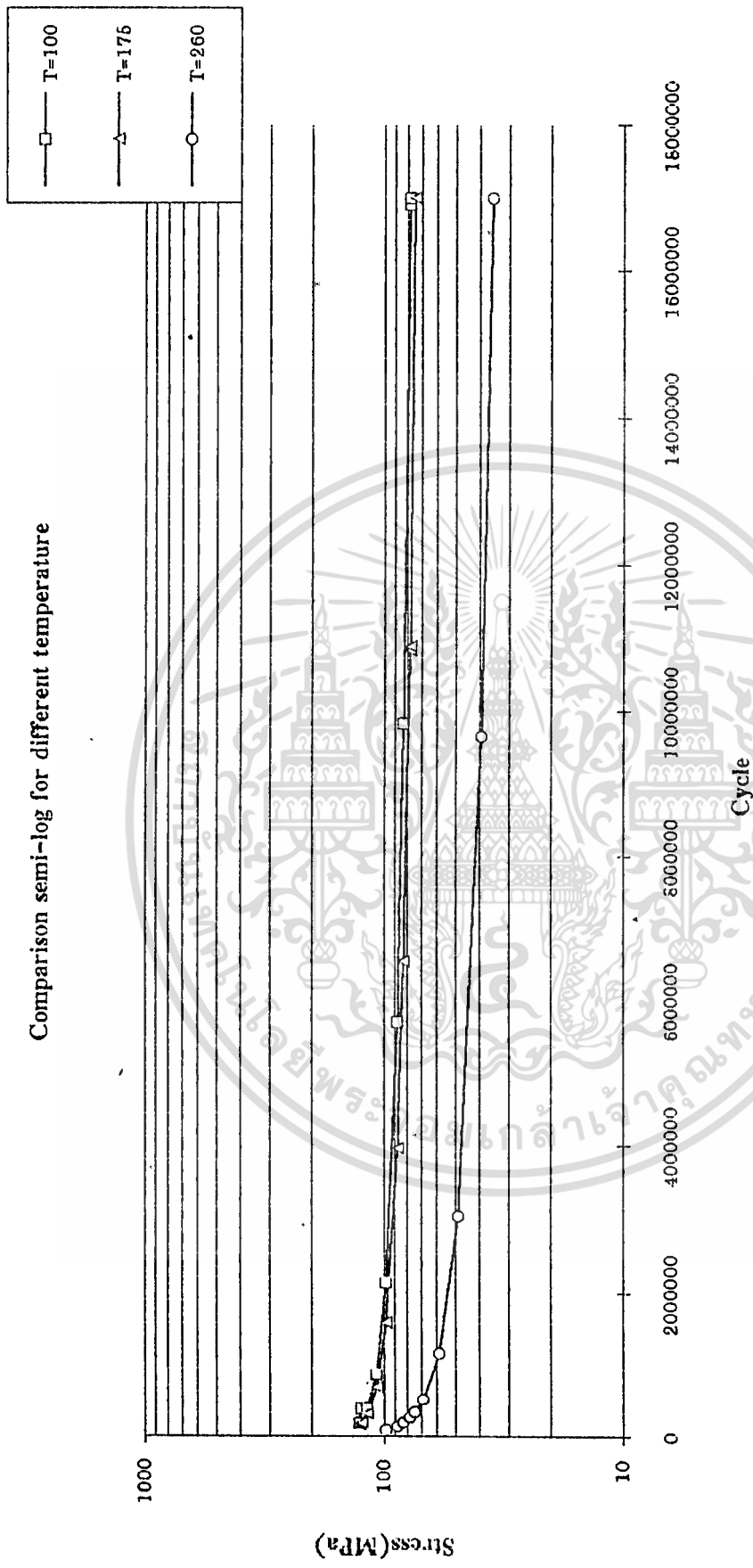
รูปที่ 17 กราฟ Semi-log ของผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 200°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 18 กราฟ Semi-log ของผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 260C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

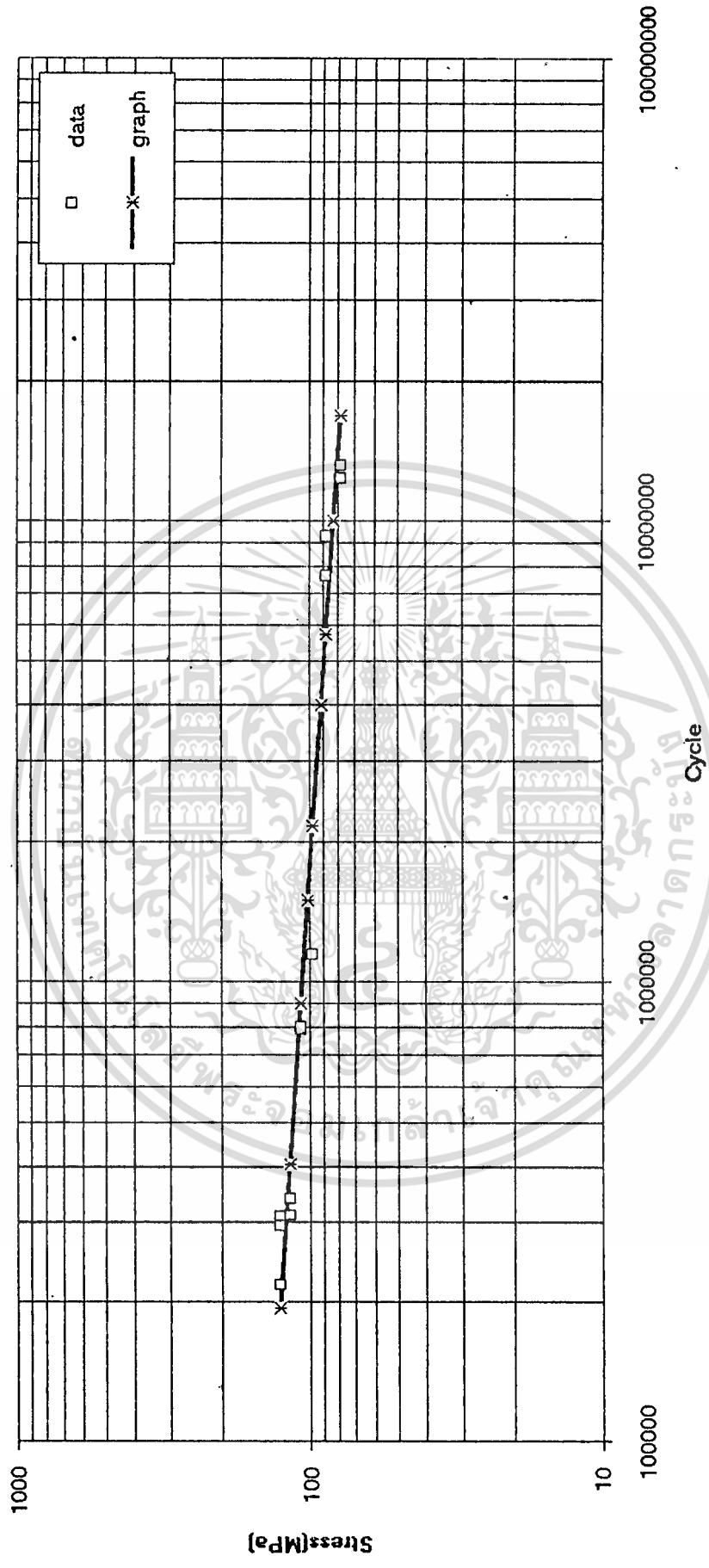


Comparison semi-log for different temperature

รูปที่ 19 กราฟ Semi-log แสดงการเปรียบเทียบของผลการทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

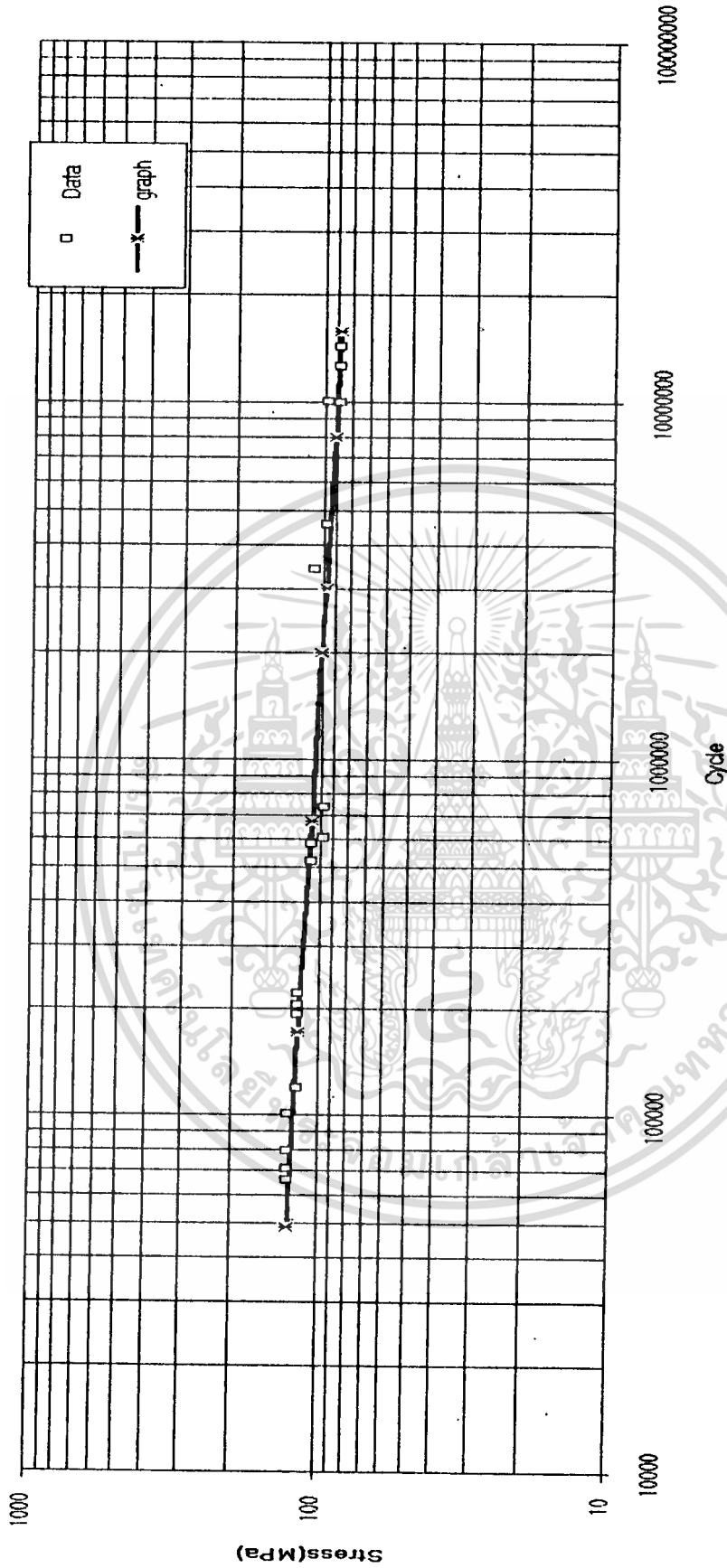
Full-log Graph for Temperature 100 celcius



รูปที่ 20 กราฟ Full-log ของผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 100C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

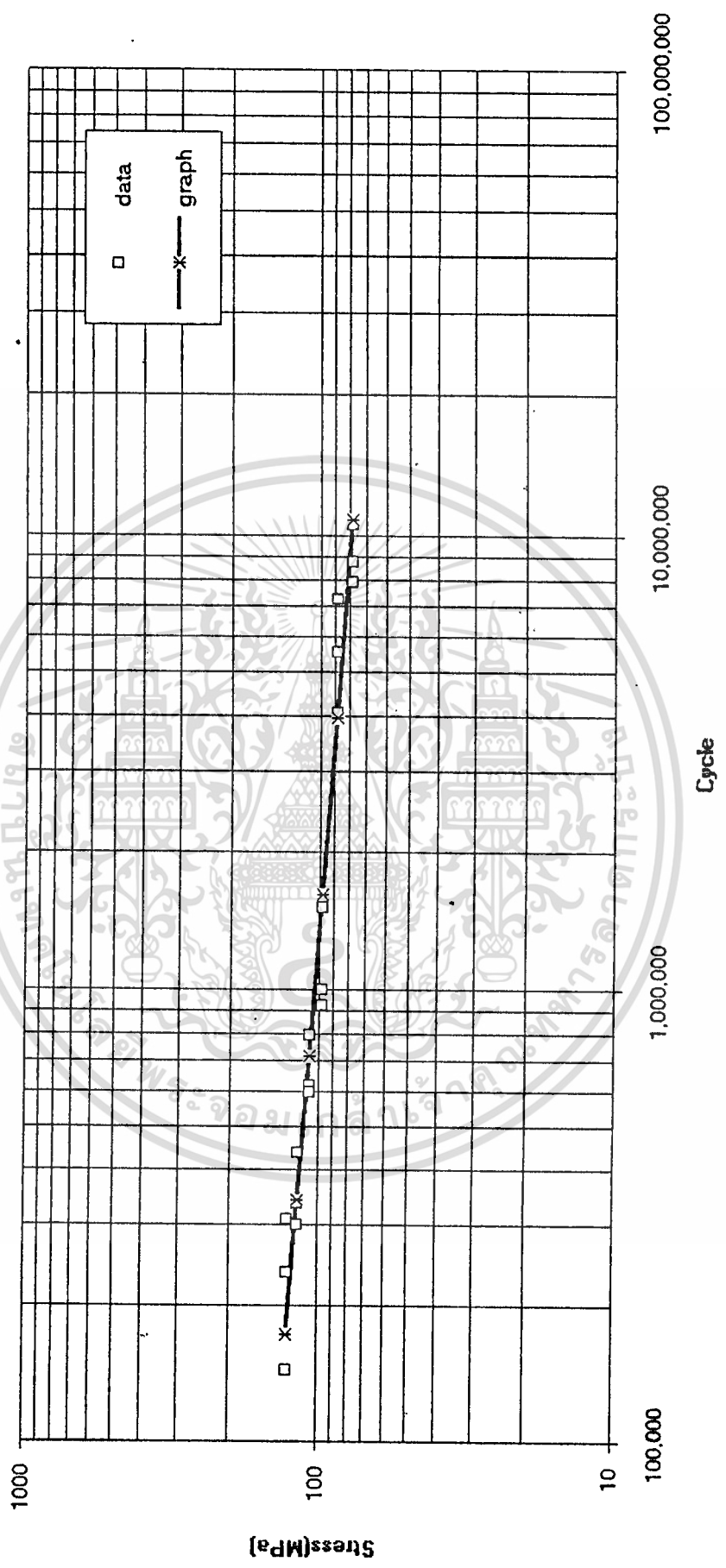
Full-log graph for temperature 150 celcius



รูปที่ 21 กราฟ Full-log ของผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 150 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

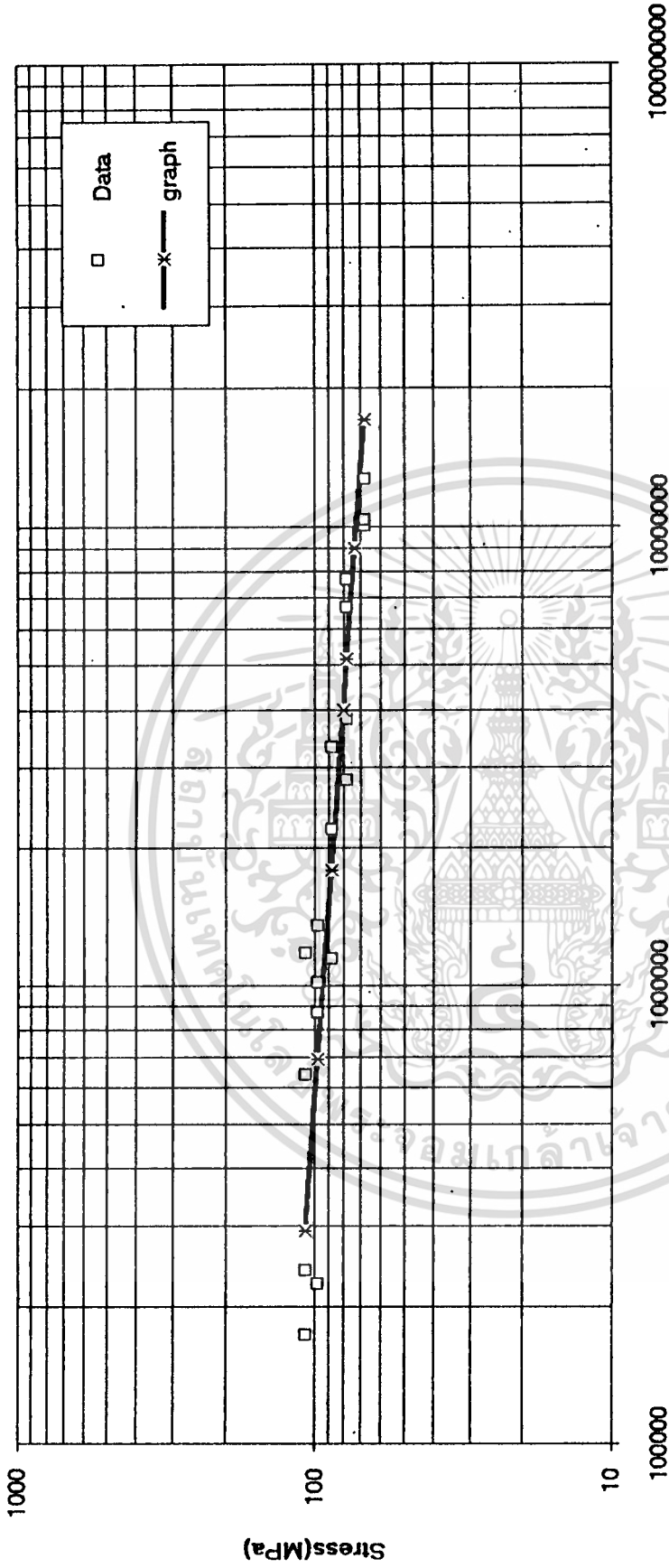
Full-log for Grsph at Temperature 175 celcius



รูปที่ 22 กราฟ Full-log ของผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 175C

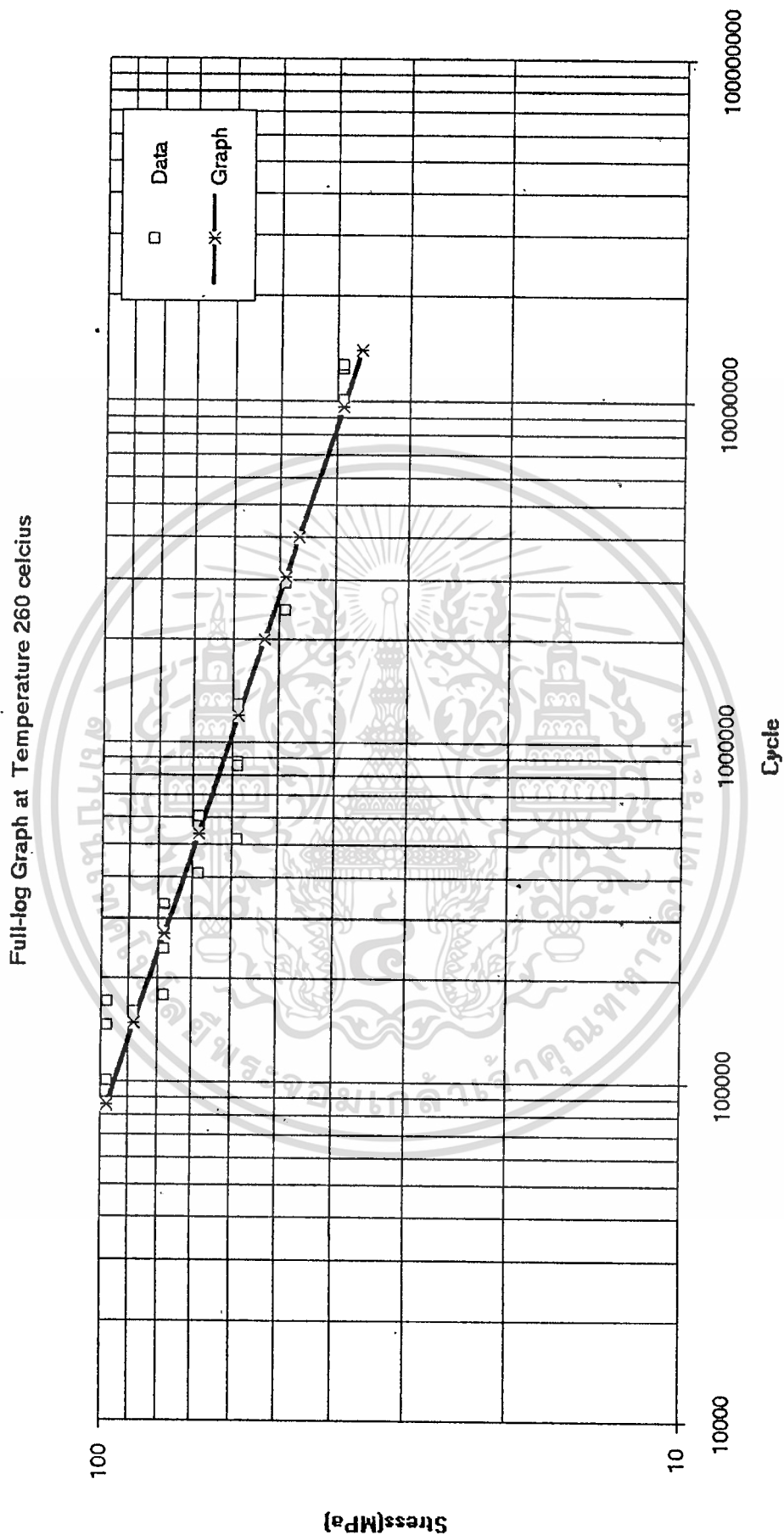
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Full-log graph for temperature 200 celcius



รูปที่ 23 กราฟ Full-log ของผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 200 °C

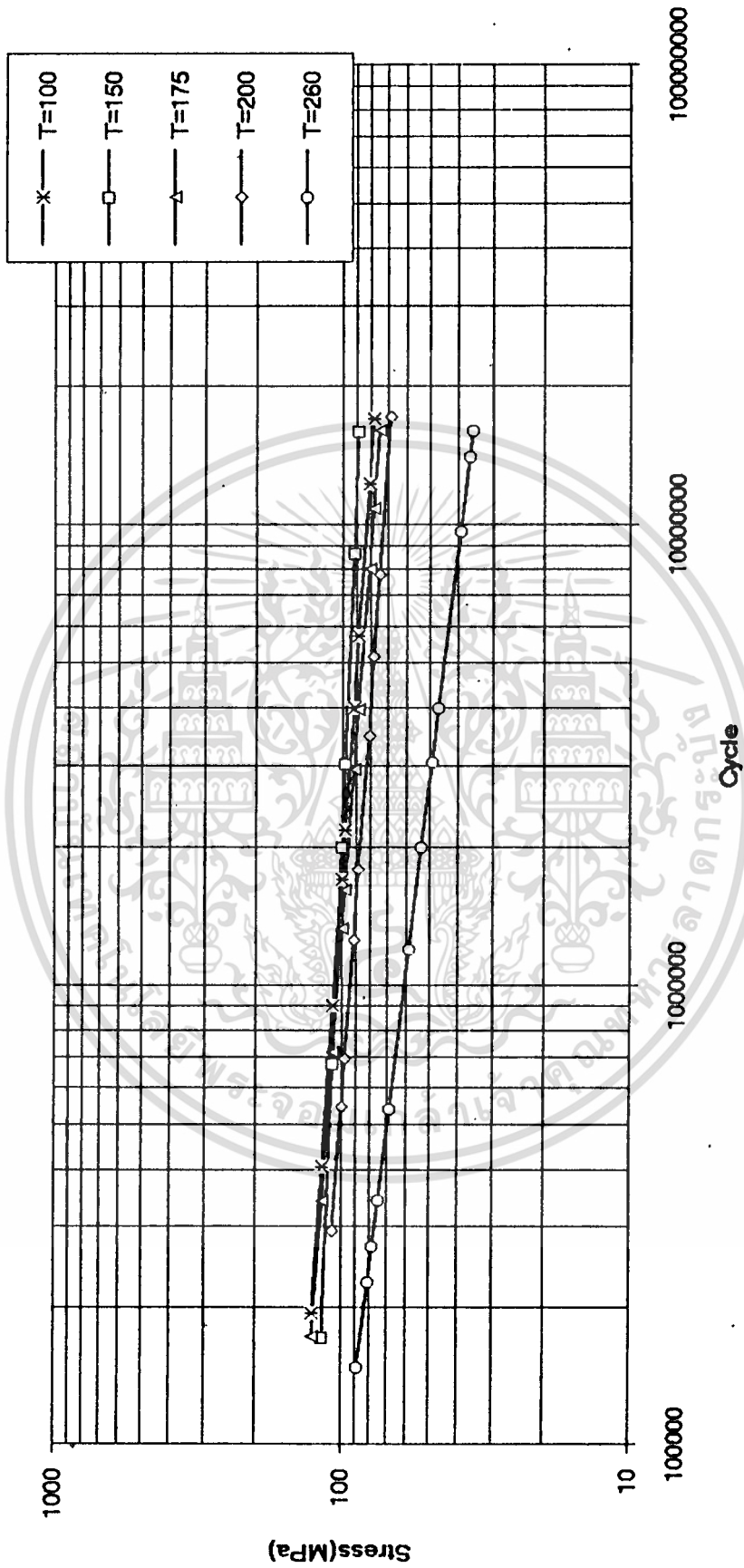
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 24 กราฟ Full-log ของผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 260°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

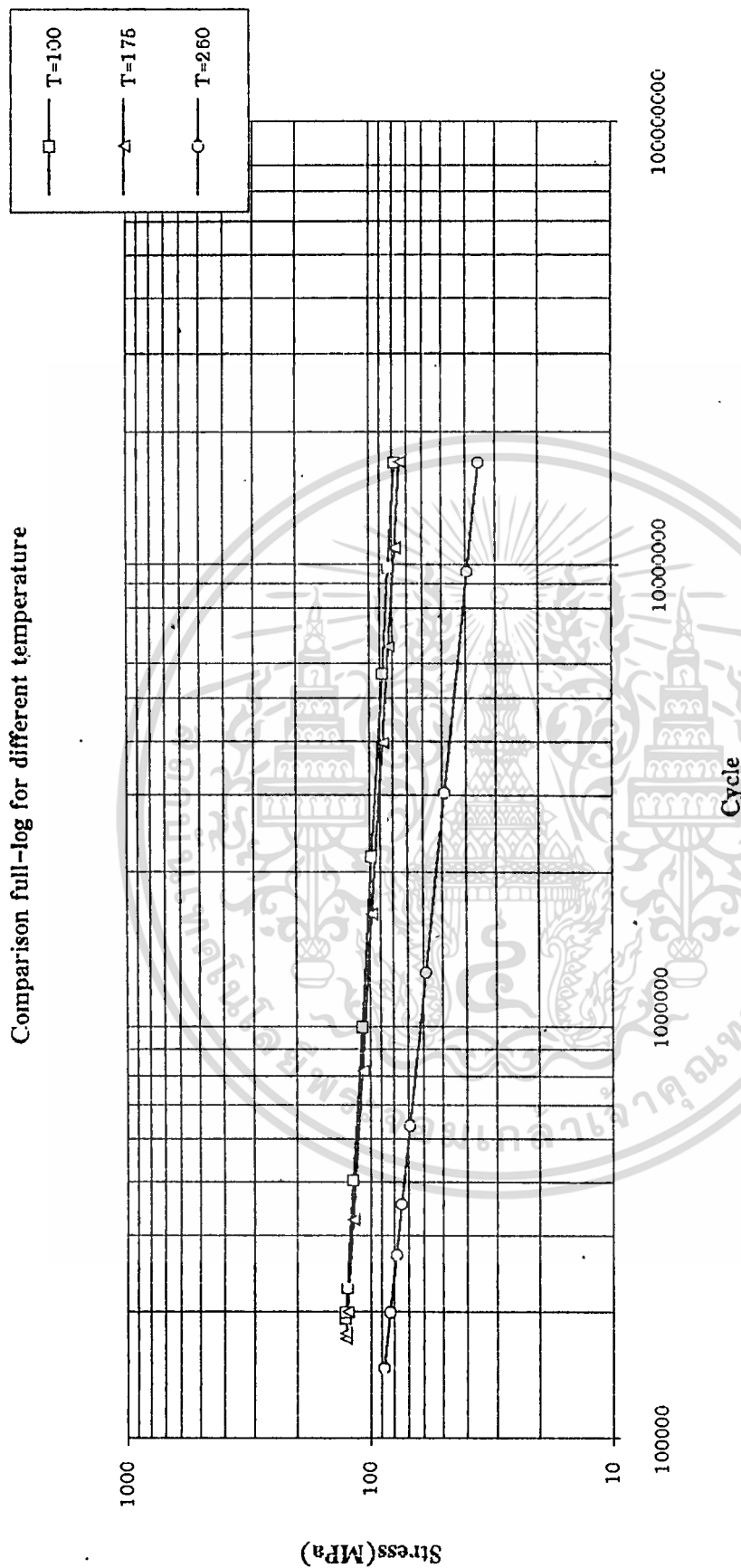
### Comparison for different temperature



รูปที่ 25 กราฟ Full-log แสดงการเปรียบเทียบผลของการทดสอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Comparison full-log for different temperature



รูปที่ 26 กราฟ Full-log แสดงการเปรียบเทียบของผลการทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Temperature กับ Stress ที่ 10 ล้านรอบโดยใช้ข้อมูล 4 ข้อมูล ดังนี้

$$T = 100^{\circ}\text{C} \quad \text{Stress} = 82.7 \text{ MPa}$$

$$T = 175^{\circ}\text{C} \quad \text{Stress} = 78.9 \text{ MPa}$$

$$T = 200^{\circ}\text{C} \quad \text{Stress} = 72.6 \text{ MPa}$$

$$T = 260^{\circ}\text{C} \quad \text{Stress} = 38.8 \text{ MPa}$$

จากสมการ โพรโนเมียล

$$S = a_0 + a_1T + a_2T^2 + a_3T^3 + \dots + a_nT^n$$

จะได้

$$82.7 = a_0 + 100a_1 + 100^2 a_2 + 100^3 a_3$$

$$78.9 = a_0 + 175a_1 + 175^2 a_2 + 175^3 a_3$$

$$72.6 = a_0 + 200a_1 + 200^2 a_2 + 200^3 a_3$$

$$38.8 = a_0 + 260a_1 + 260^2 a_2 + 260^3 a_3$$

นำมาเขียนในรูปเมตริก

$$\begin{bmatrix} 1 & 100 & 100^2 & 100^3 \\ 1 & 175 & 175^2 & 175^3 \\ 1 & 200 & 200^2 & 200^3 \\ 1 & 260 & 260^2 & 260^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 82.7 \\ 78.9 \\ 72.6 \\ 38.8 \end{bmatrix}$$

จากการแก้สมการเมตริกได้

$$\begin{bmatrix} 1 & 100 & 100^2 & 100^3 \\ 0 & 75 & 20625 & 4359375 \\ 0 & 0 & 1875 & 890625 \\ 0 & 0 & 0 & 1088040 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 82.7 \\ -3.8 \\ -3.805 \\ -7.948 \end{bmatrix}$$

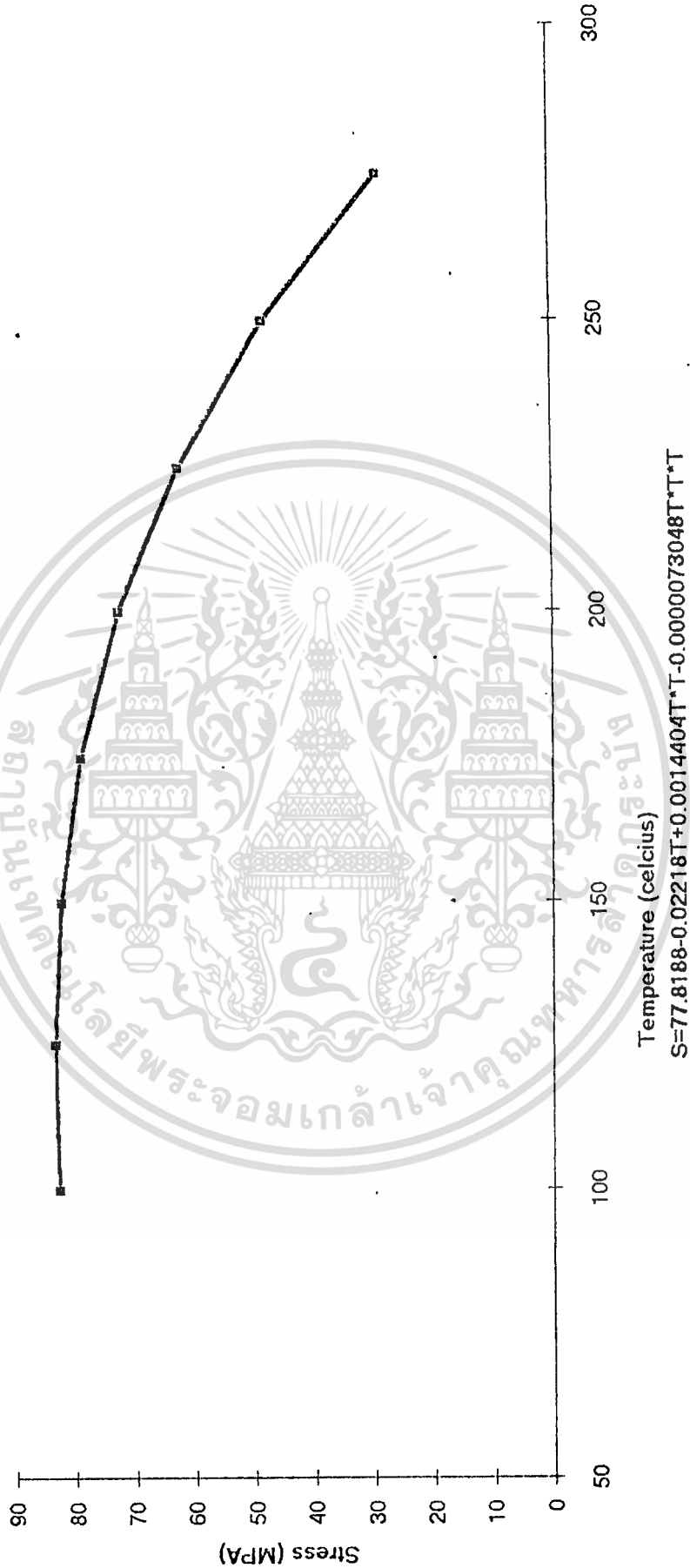
จะได้  $a_0 = 77.818$     $a_1 = -0.02218$     $a_2 = 0.00144$     $a_3 = -0.0000073048$

จะได้สมการดังนี้

$$S = 77.8188 - 0.02218T + 0.00144T^2 - 0.0000073048T^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Graph at 10,000,000 cycle



รูปที่ 27. กราฟแสดงค่า Fatigue limit ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เปิดเครื่องให้มอเตอร์หมุน จากนั้นปล่อยน้ำหนักลงอย่างช้า ๆ
6. ปรับ limit switch ให้พอเหมาะเพื่อให้มอเตอร์หยุดหมุน และชุดให้ความร้อนหยุดทำงานเมื่อชิ้นงานขาด
7. เมื่อชิ้นงานขาดให้บันทึกจำนวนรอบ และขนาดน้ำหนัก

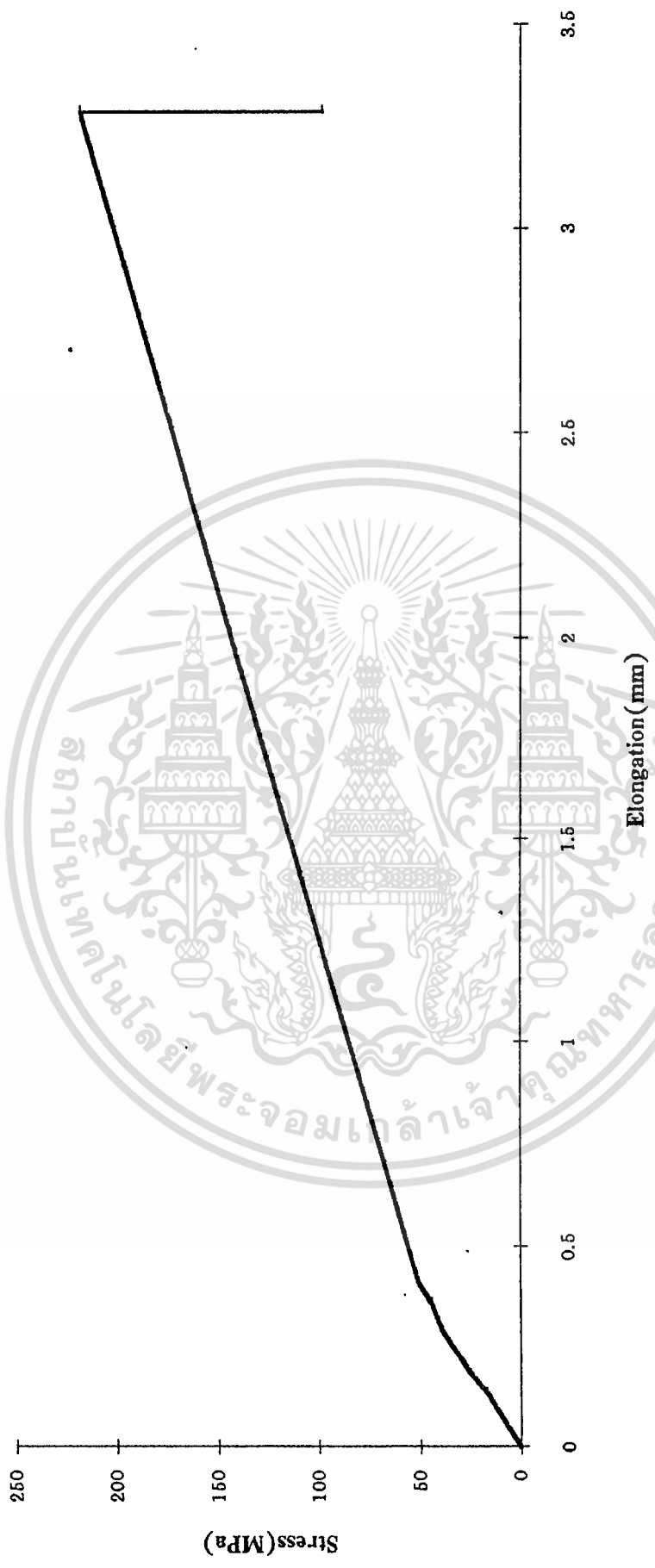
#### การทดสอบแรงดึง (tensile testing)

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งแรงพื้นฐานของวัสดุ วิธีการทดสอบคือนำชิ้นงานมาผ่านการกลึงด้วยเครื่อง CNC ให้ได้ขนาดตามที่มาตรฐานกำหนด จากนั้นนำมาประกอบเข้ากับตัวเครื่องทดสอบ โดยเลือกใช้หัวจับแบบดึง (tensile) กำหนดค่าสภาวะต่าง ๆ ในการทดสอบดังนี้

1. TEST MODE	SINGLE TENSION
2. TEST SPEED	5.000 MM/MIN (1/1)
3. TRAVERSE SPEED	500.00 MM/MIN
4. RETURN POSITION	100.00 MM
5.	STOP
6. RECORDER MODE	X-P
7. X-AXIS	LOAD
8. LOAD CELL	10000 KGF
9. F/S LOAD	2000.0 (*5) KGF
10. CHART RATIO	10.000
11. CHART MODE	FORWARD UP CONNECT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

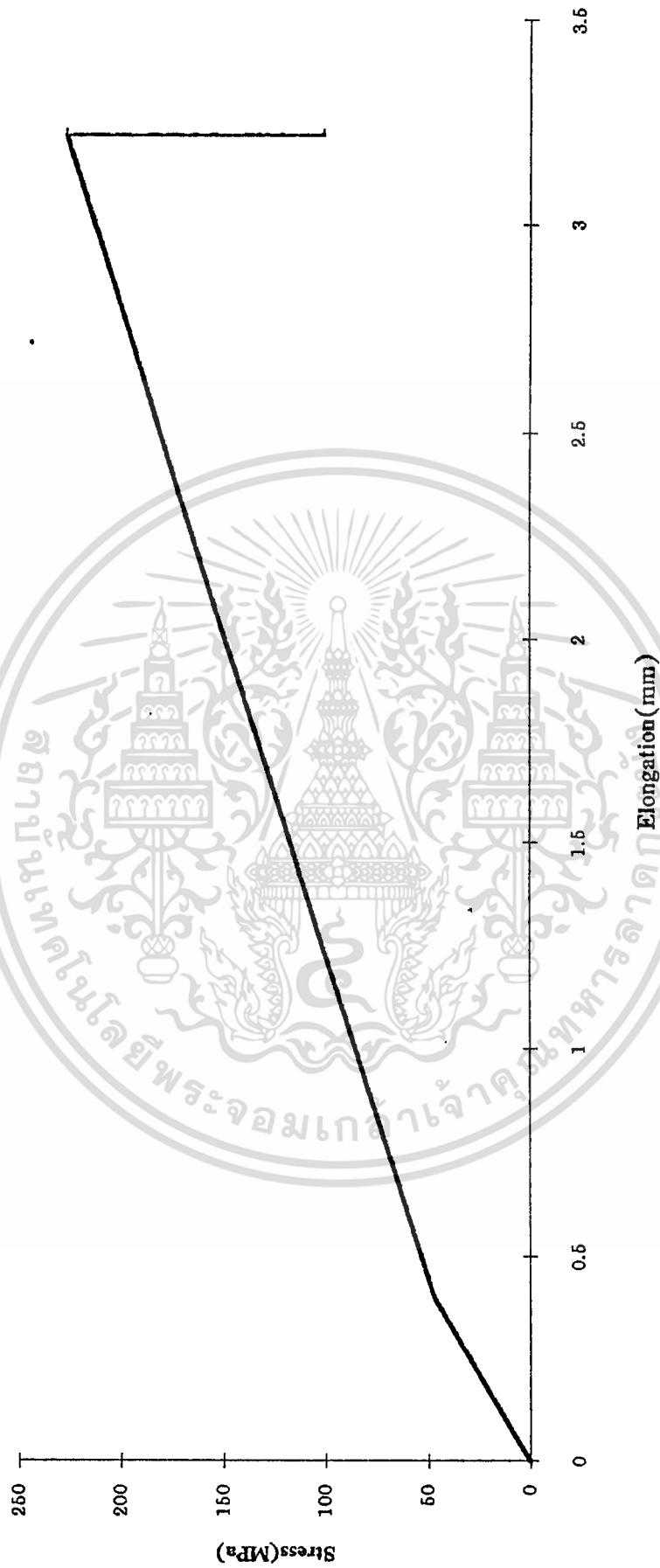
Tensile test sample 1



รูปที่ 28 กราฟแสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

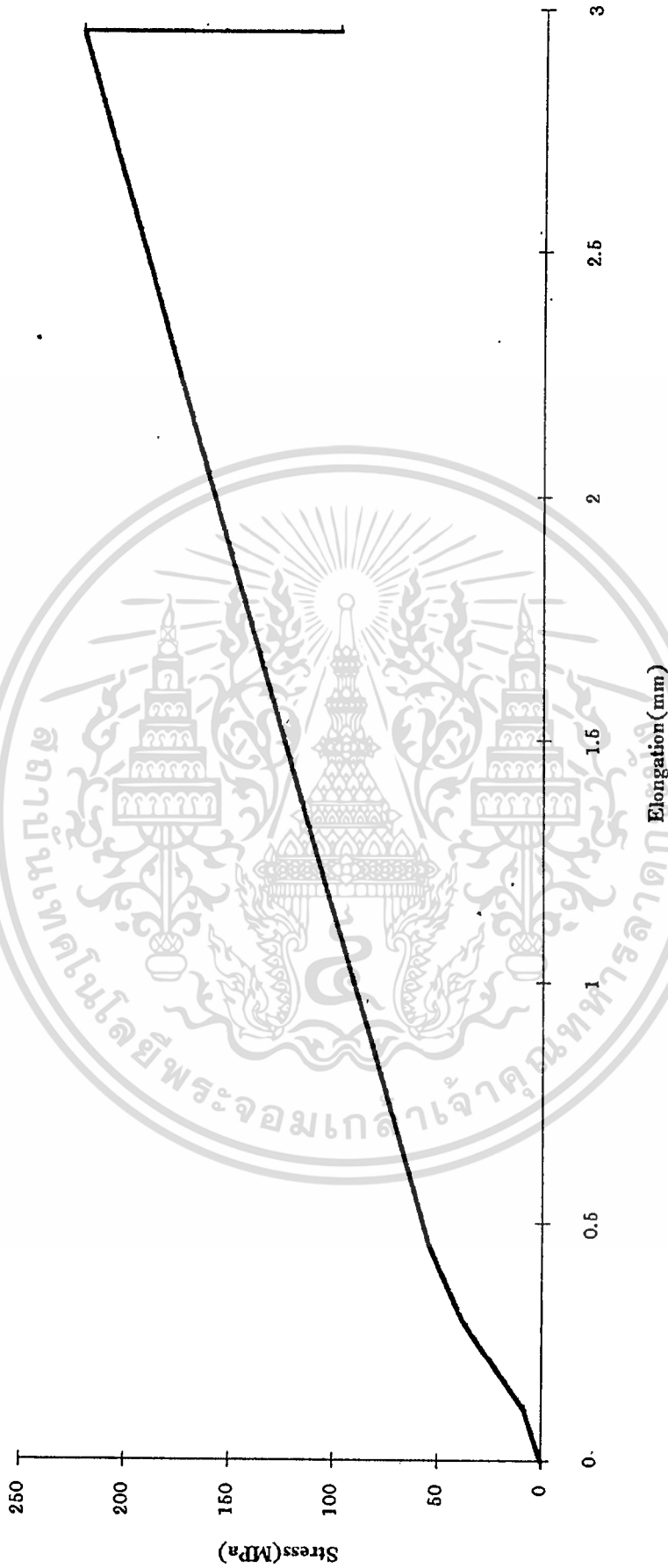
### Tensile test sample 2



รูปที่ 29 กราฟแสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tensile test sample 3



รูปที่ 30 กราฟแสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การตรวจสอบความหยาบของชิ้นงาน(Roughness Testing)

ความหยาบของผิวชิ้นงานมีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงานอยู่มาก เนื่องจากบริเวณที่ผิวขรุขระจะเป็นบริเวณที่ได้รับความเค้นจากแรงภายนอกสูง เป็นจุดกำเนิดของรอยร้าวได้ง่าย ซึ่งมีผลทำให้ชิ้นงานดังกล่าวเสียหายได้ง่าย

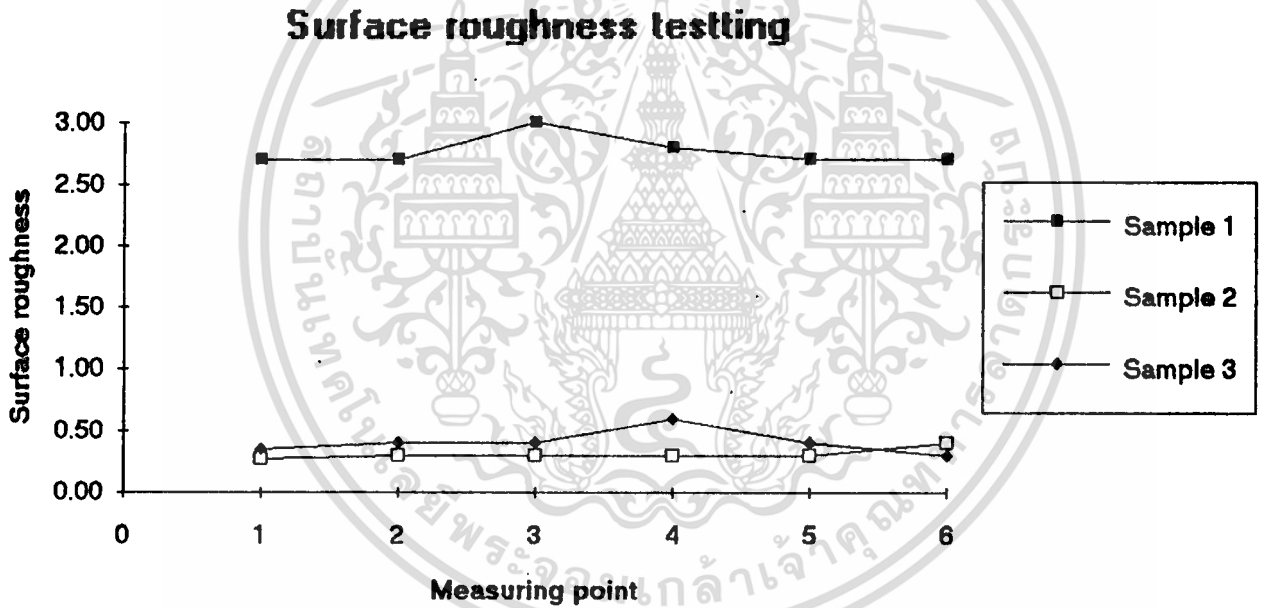
เนื่องจากในกรรมวิธีเตรียมชิ้นงาน จะต้องผ่านการตัด และการขัดแต่งกรรมวิธีเหล่านี้ทำให้ชิ้นงานเกิดรอยขีดข่วนขึ้นได้ และมีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงาน ดังนั้นเมื่อได้ขนาดของชิ้นงานตามมาตรฐานแล้วก่อนที่จะนำไปทำการทดสอบ เราจึงจำเป็นต้องทำการขัดชิ้นงานดังกล่าวด้วยกระดาษทรายก่อน

ในการทดสอบความหยาบของผิวจะได้จากการเลือกสุ่มชิ้นงานจากชิ้นงานจากชิ้นงานที่ขีดเรียบร้อย นำไปวัดค่าความหยาบละเอียดของผิวด้วยเครื่องทดสอบความหยาบ



## Surface roughness testing

Point	Sample1	Sample2	Sample3
1	2.70	0.27	0.35
2	2.70	0.30	0.40
3	3.00	0.30	0.40
4	2.80	0.30	0.60
5	2.70	0.30	0.40
6	2.70	0.40	0.30



รูปที่ 31 กราฟแสดงความหยาบของผิวชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การตรวจสอบโครงสร้าง

เพื่อตรวจดูโครงสร้างอย่างคร่าว ๆ ของชิ้นงานที่ผ่านการทดลอง  
ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยในการตรวจสอบ จะมีวิธีการเตรียมชิ้นงานและวิธีการตรวจ  
สอบดังนี้

1. สุ่มเลือกงาน โดยจัดแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มดังนี้

1.1 ชิ้นงานที่อุณหภูมิห้อง

1.2 ชิ้นงานที่อุณหภูมิ  $260^{\circ}\text{C}$

1.3 ชิ้นงานที่อุณหภูมิ  $175^{\circ}\text{C}$

1.4 ชิ้นงานที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$

โดยในแต่ละกลุ่มจะเตรียมชิ้นงานโดยแบ่งออกเป็น

- ชิ้นงานตามขวาง

- ชิ้นงานตามยาว ดังรูป

(รวมทั้งหมด 16 ชิ้นงาน)

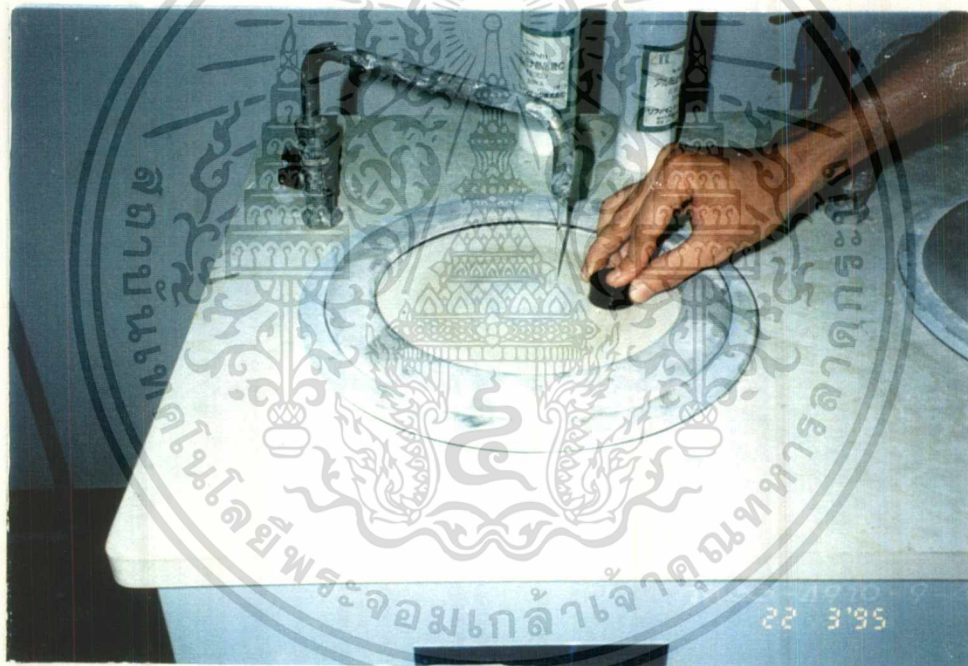


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำออกไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 32 แสดงชิ้นงานที่ตัดตามยาวและตามขวาง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

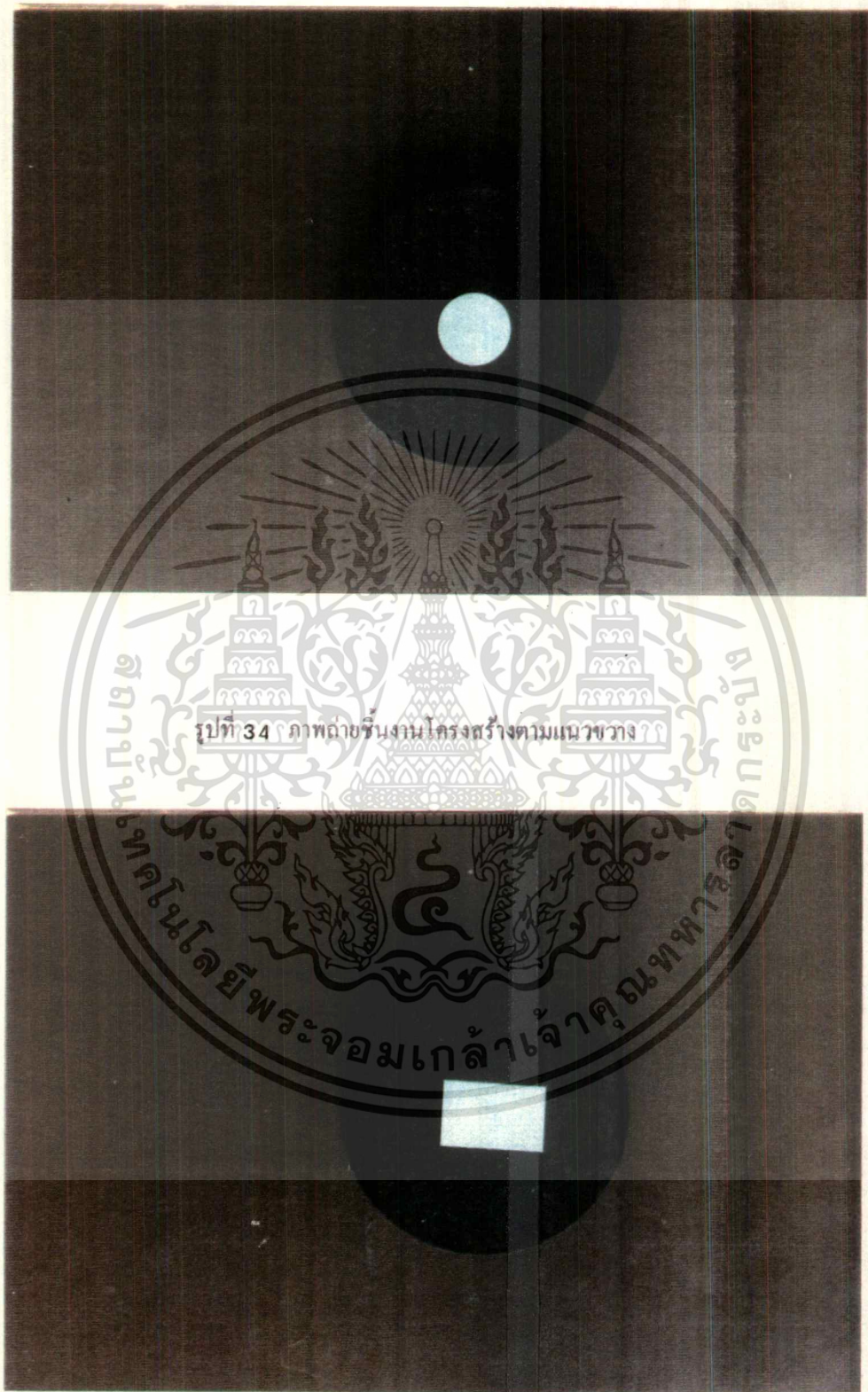
2. นำชิ้นงานดังกล่าวผ่านเข้าเครื่องอัดเรซิน
3. นำชิ้นงานในข้อที่ 2 ผ่านเข้าเครื่องขัดตั้งรูปมีขั้นตอนการขัดดังนี้
  - 3.1 ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 300, 500, 800 ตามลำดับ
  - 3.2 ขัดด้วยน้ำยาขัดขนาด 1.00, 0.3, 0.05 ไมครอน
  - 3.3 หยอดด้วยสารละลาย NaOH เข้มข้น 10% นานประมาณ 10 วินาที จากนั้นล้างออกด้วยน้ำสะอาด แล้วนำไปฝังลมให้แห้ง



รูปที่ ๓๓ ภาพของเครื่องขัดละเอียด

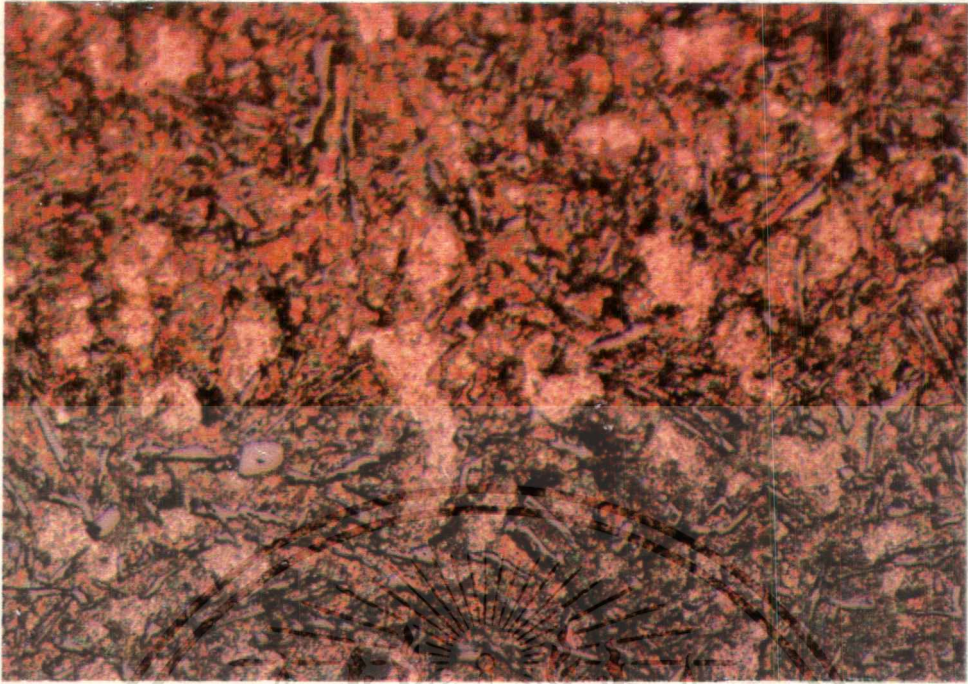
4. นำชิ้นงานที่ได้มาส่องด้วยกล้อง OPTICAL MICROSCOPE
5. ถ่ายภาพโครงสร้างของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

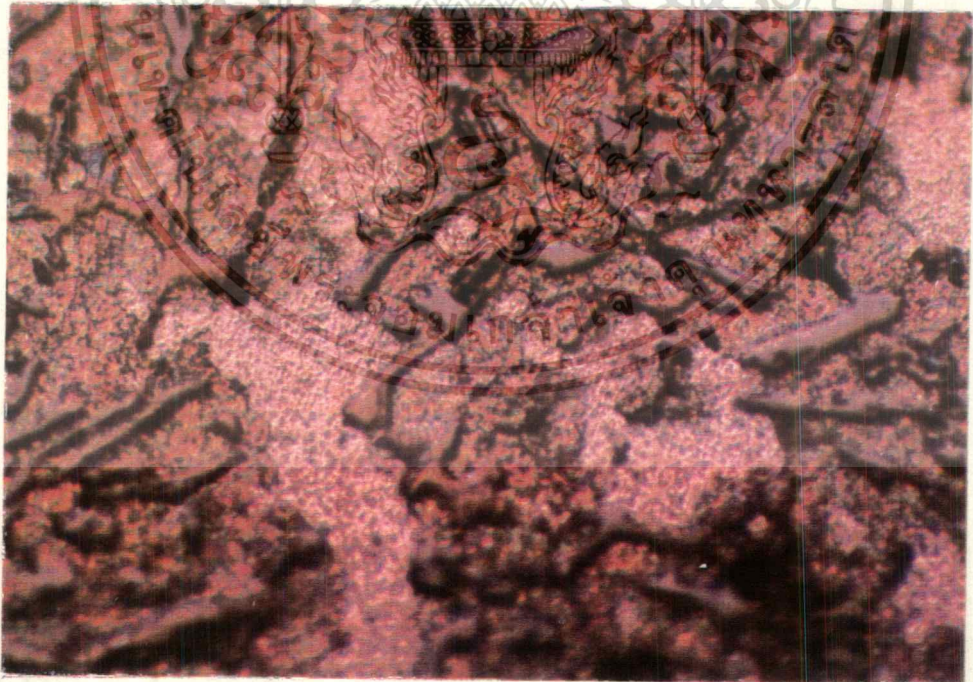


รูปที่ 35 ภาพถ่ายชิ้นงานโครงสร้างตามแนวยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

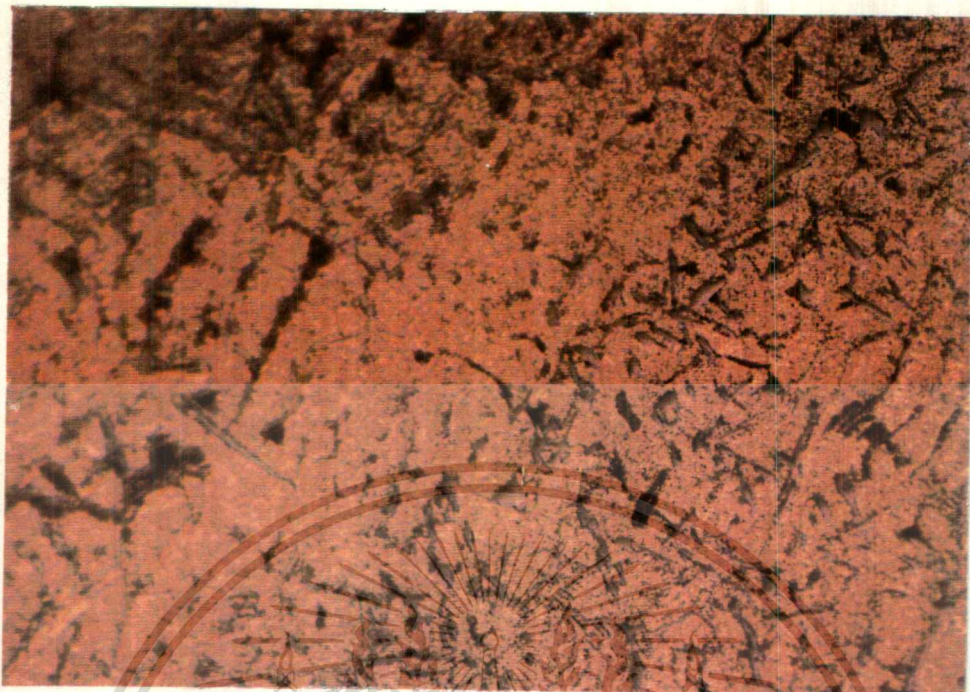


รูปที่ 36 ภาพขยายขนาด200เท่าของดินตัดขวางของชั้นงานก่อนการทดสอบ

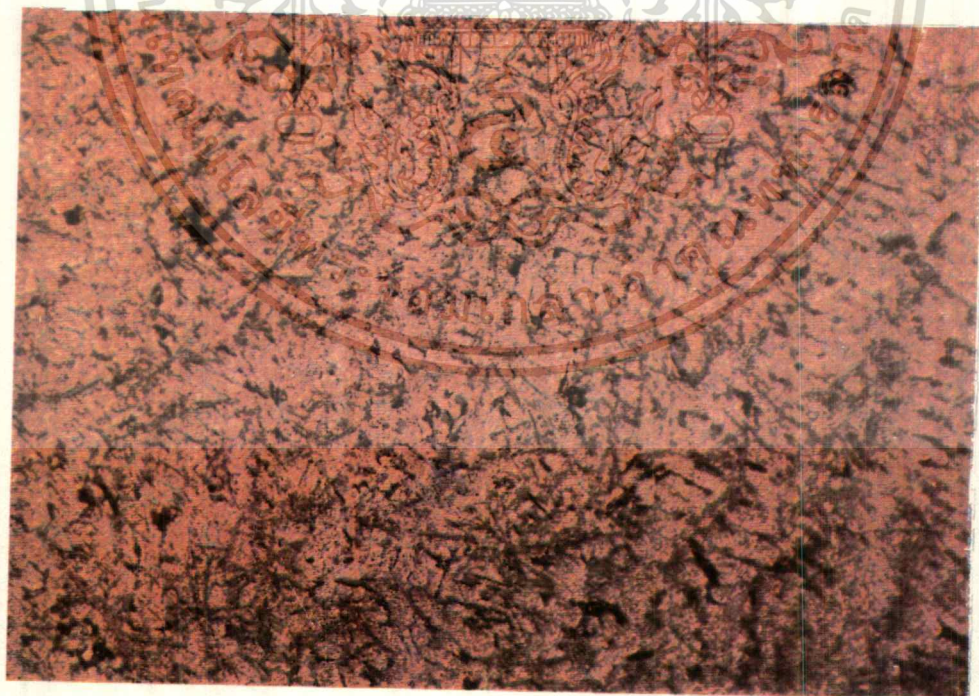


รูปที่ 37 ภาพขยายขนาด500เท่าของดินตัดขวางของชั้นงานก่อนการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

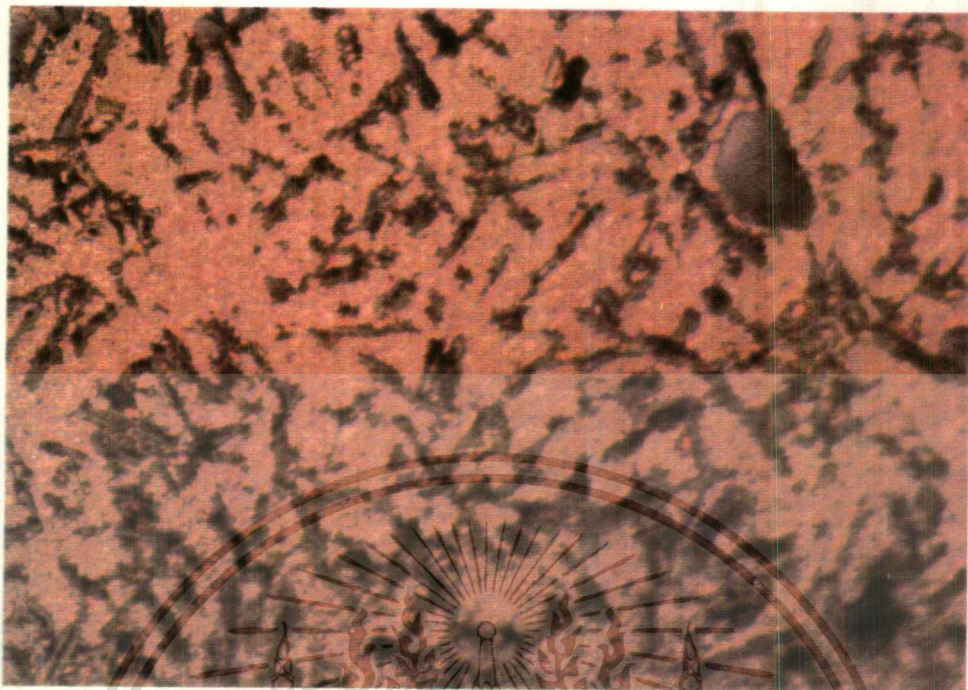


รูปที่ 38 ภาพขยายขนาด200เท่าของด้านตัดขวางของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 175 C



รูปที่ 39 ภาพขยายขนาด100เท่าของด้านตัดตามยาวของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 175 C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

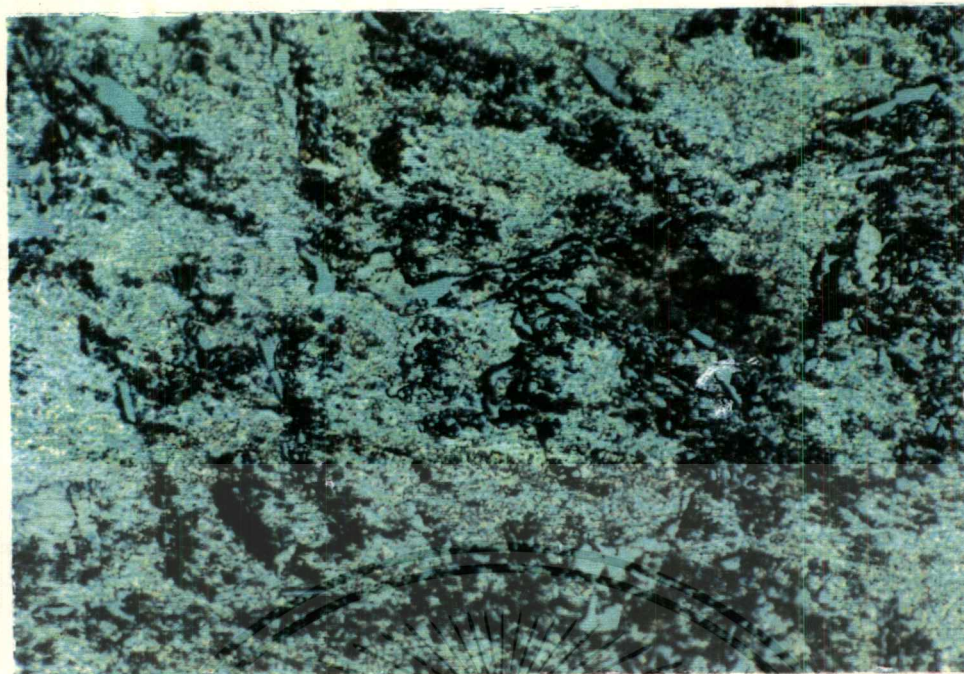


รูปที่ 40 ภาพขยายขนาด 200 เท่าของด้านตัดขวางของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 100°C

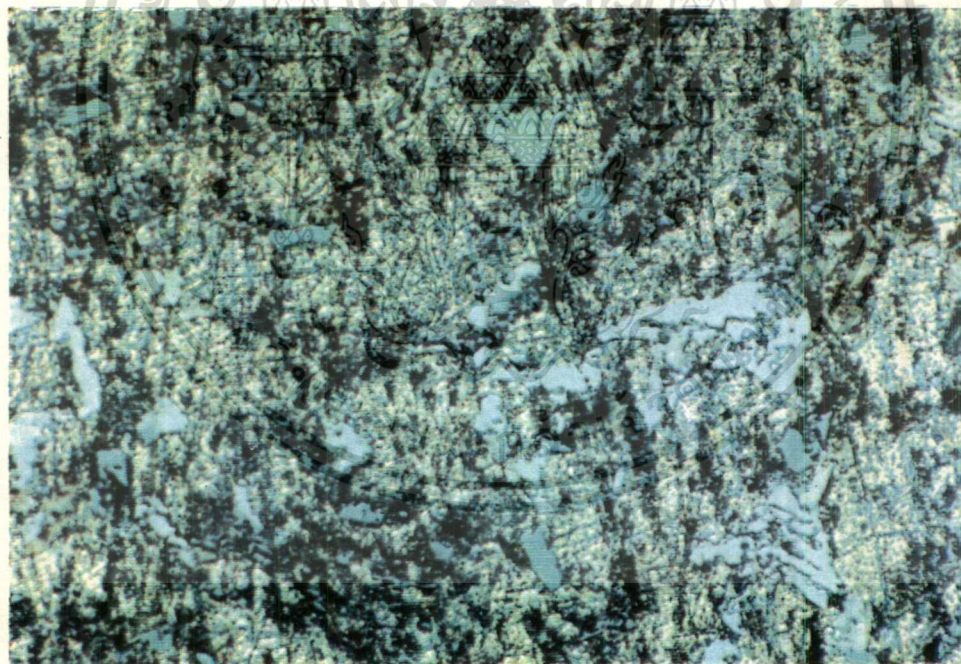


รูปที่ 41 ภาพขยายขนาด 200 เท่าของด้านตัดตามยาวของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 100°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

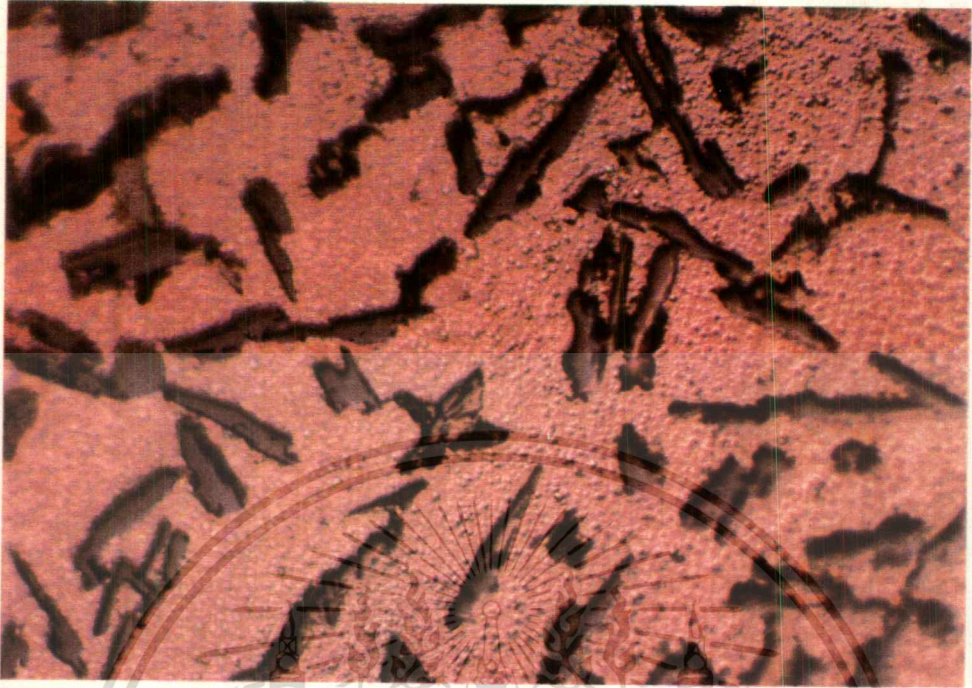


รูปที่ 42 ภาพขยายขนาด200เท่าของด้านตัดขวางของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 260 C

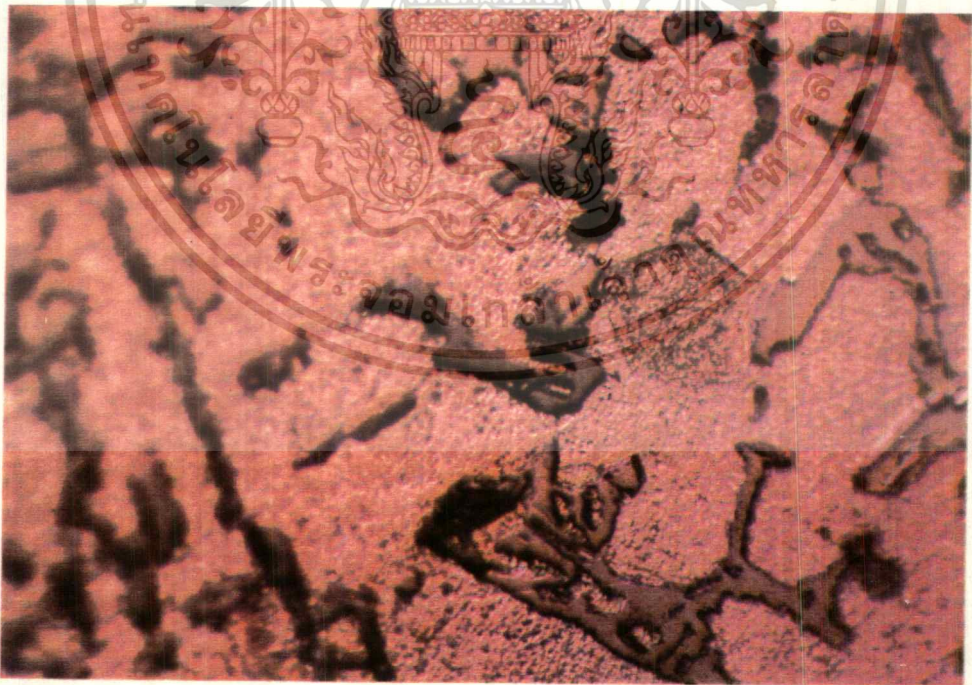


รูปที่ 43 ภาพขยายขนาด200เท่าของด้านตัดตามยาวของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 260 C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

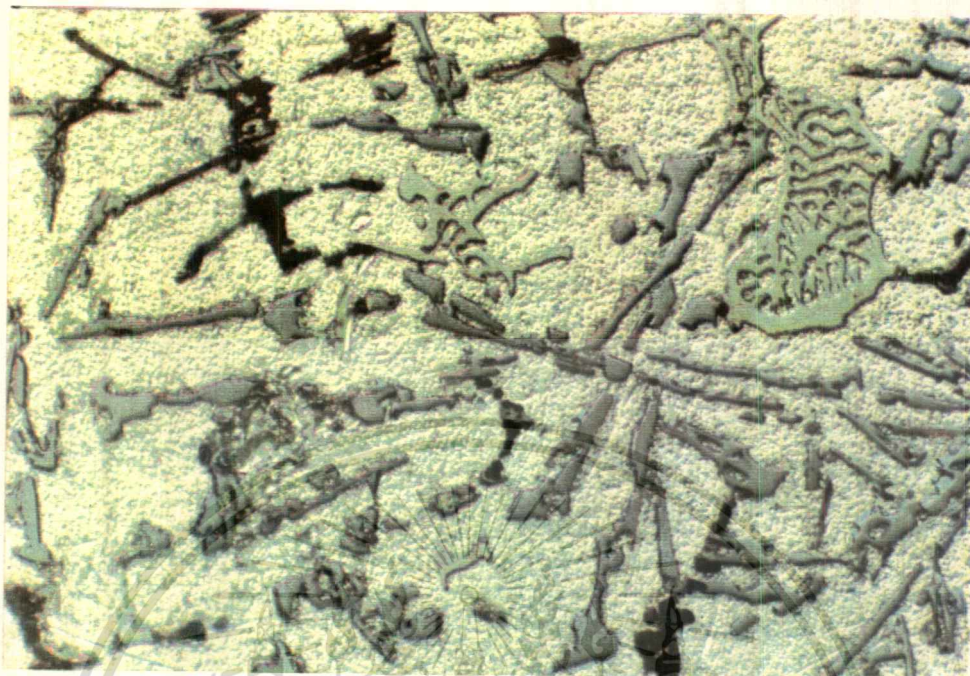


รูปที่ 44 ภาพขยายขนาด500เท่าของด้านตัดขวางของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 100° C

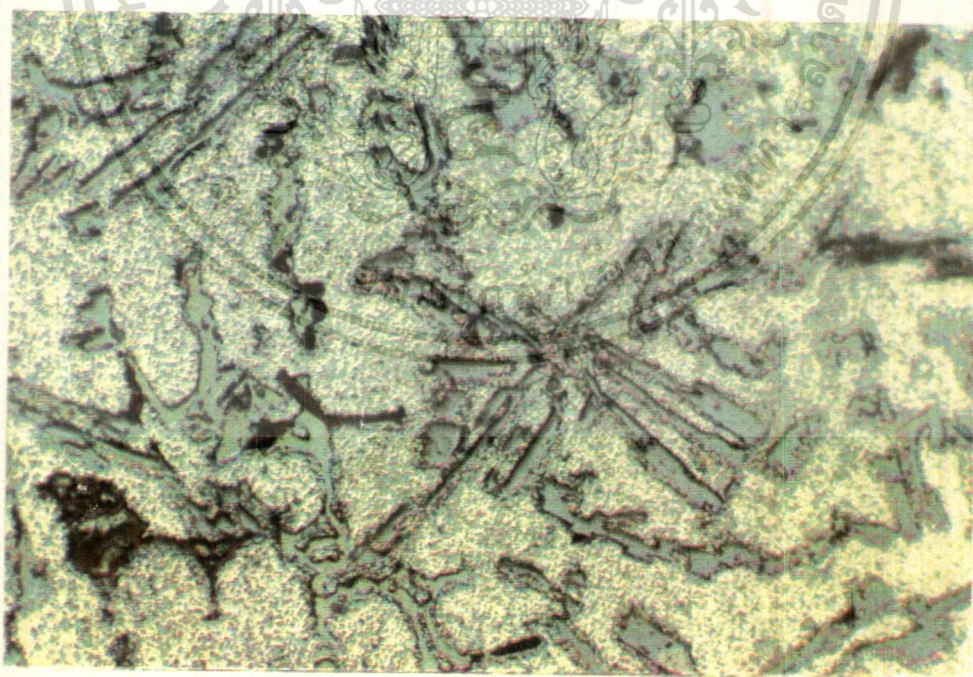


รูปที่ 45 ภาพขยายขนาด500เท่าของด้านตัดตามยาวของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 100° C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

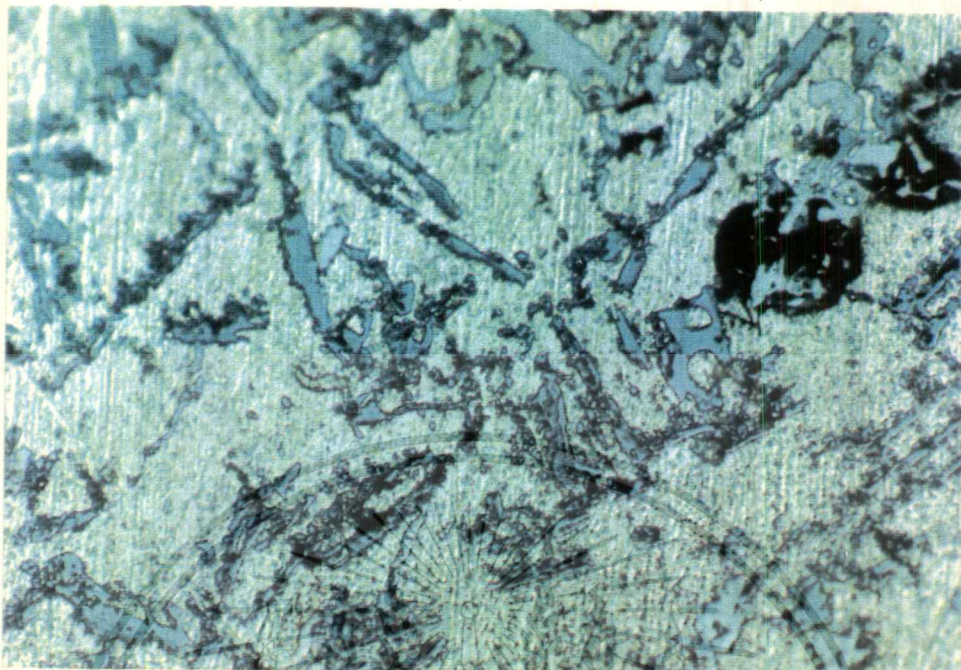


รูปที่ 46 ภาพขยายขนาด500เท่าของด้านตัดขวางของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 175 C

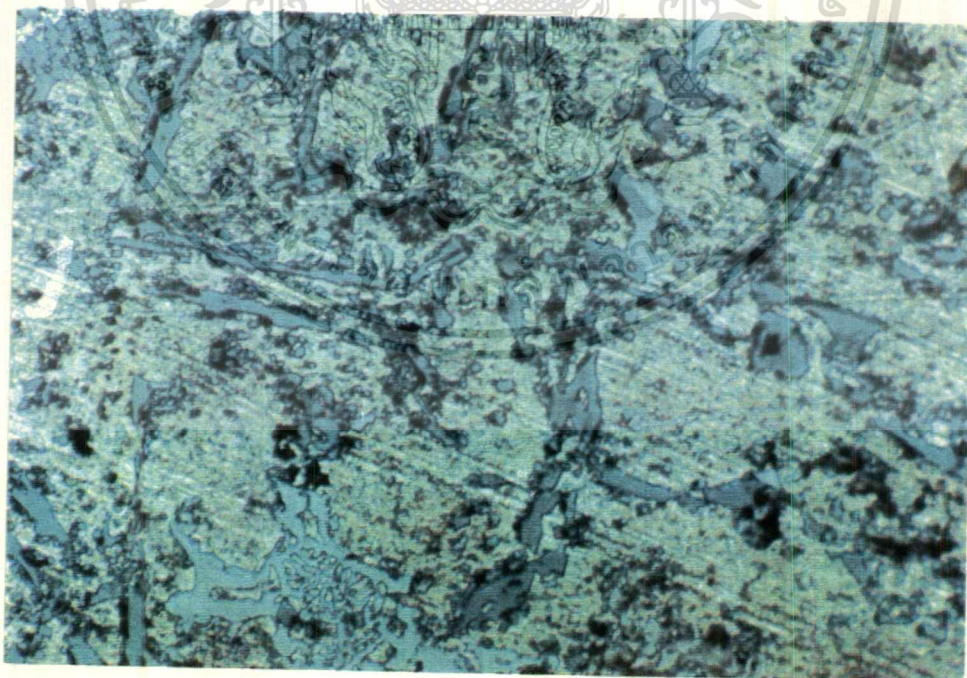


รูปที่ 47 ภาพขยายขนาด500เท่าของด้านตัดตามยาวของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 175 C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 48 ภาพขยายขนาด500เท่าของด้านตัดขวางของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 260 C



รูปที่ 49 ภาพขยายขนาด500เท่าของด้านตัดตามยาวของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 260 C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการทดลอง

1. การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ มีผลต่อความต้านทานการล้าของชิ้นงาน ดังจะเห็นได้จากกราฟการเปรียบเทียบข้อมูล แต่ละอุณหภูมิที่ทดลอง ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะมีพิคคความล้า (fatigue limit) สูงกว่า

จากการทดลอง ที่จำนวนรอบ เท่ากับ  $10^7$  รอบ จะได้ว่า

ที่  $T = 100^\circ\text{C}$  มี Fatigue limit = 82.71 MPa

$T = 175^\circ\text{C}$  มี Fatigue limit = 78.85 MPa

$T = 260^\circ\text{C}$  มี Fatigue limit = 38.79 MPa

2. ผลจากการทดสอบแรงดึง สามารถแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติพื้นฐาน ดังนี้

Ultimate Tensile Stress = 223.60 MPa

Proof Stress ที่ 0.2% Strain = 52.87 MPa

Elongation โดยเฉลี่ย = 3.134 มม.

Elastic Young Modulus = 919.0 Mpa

3. ผลจากการตรวจสอบโครงสร้าง สังเกตเห็นได้ว่าการกระจายของซิลิกอนในเนื้ออลูมิเนียม ก่อนขึ้นแม่พิมพ์ และโพรงที่เกิดขึ้นในอลูมิเนียมมีค่อนข้างน้อย

## วิจารณ์ผลการทดลอง

1. จากรูปพื้นผิวของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความล้าแล้ว จะมีลักษณะเป็นไปตามทฤษฎีคือสามารถแบ่งพื้นที่ความเสียหายได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ ดังนี้
  - 1.1 ส่วนที่เริ่มต้นการเกิดรอยร้าว พื้นผิวที่ได้จะมีลักษณะเรียบละเอียด
  - 1.2 ส่วนการขยายรอยร้าว พื้นผิวที่ได้มีลักษณะคล้ายลูกคลื่น
  - 1.3 ส่วนการแตกหักอย่างฉับพลัน พื้นผิวที่ได้มีลักษณะขรุขระ คล้ายกับพื้นผิวที่ได้จากการทดสอบแรงดึง เนื่องจากพื้นที่บริเวณนี้ไม่สามารถต้านทาน Stress ที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงานได้
2. ผลของการทดลองอาจเกิดความผิดพลาดได้ เนื่องจากสาเหตุต่อไปนี้
  - 2.1 ระหว่างการใส่ชิ้นงานเพื่อการทดลองนั้น อาจทำให้เกิดความเค้นขึ้นที่ตัวชิ้นงาน
  - 2.2 ความละเอียดของผิวของชิ้นงานแต่ละชิ้นงานอาจจะไม่เท่ากัน เนื่องจากใช้วิธีขัดด้วยมือ
  - 2.3 ระหว่างการตั้งอุณหภูมิ บางครั้งอุณหภูมิก่อนเข้าสู่จุดที่เราตั้งไว้อาจจะสูงมากเกินไป ทำให้โครงสร้างเปลี่ยนแปลงและอ่อนแอลง (เนื่องจากระบบ Close loop control ของเครื่องตั้งอุณหภูมิไม่มีความละเอียดพอ)
  - 2.4 ภาพของจุลโครงสร้างไม่ชัดเจน เนื่องจากการขัดที่ไม่ได้ระนาบซึ่งจะมีผลสูงมากต่ออัตราการขยายที่มีกำลังขยายสูงมาก
3. เนื่องจากอุณหภูมิเหนี่ยวนำนี้ เกิดจากการหล่อที่มีการเย็นตัวในทุกทิศทางเข้าสู่จุดศูนย์กลาง ดังนั้นเนื้ออุมิเหนี่ยวนำจะมีเม็ดเกรนที่ละเอียดมาก ซึ่งทำให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลต่อความต้านทานการล้ามาก เนื่องจากสาเหตุดังนี้
  - 3.1 ที่อุณหภูมิสูง ๆ ขึ้น อะตอมและอิเล็กตรอนจะได้รับพลังงานมากขึ้น ทำให้โครงสร้างเกิดการสั่นไหวมากขึ้น มีผลทำให้พันธะยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมลดลง
  - 3.2 เกิดการเลื่อน (slide) ระหว่างผลึกหรือเม็ดเกรน เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิมิผลทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างผลึกลดลง โดยเฉพาะเนื้ออุมิเหนี่ยวนำนี้มีเม็ดเกรนที่ละเอียด ดังนั้นจะมีผลึกมาก หรือมีขอบเกรนเยอะ ทำให้มีผลต่อความต้านทานการล้าของโลหะชนิดนี้มาก

4. ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 100°C มีค่า Stress มากกว่าที่อุณหภูมิ 150°C ที่เล็กน้อย ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะ

4.1 เกิดจากการผิดพลาดของการทดลอง (ตามหัวข้อที่ 2)

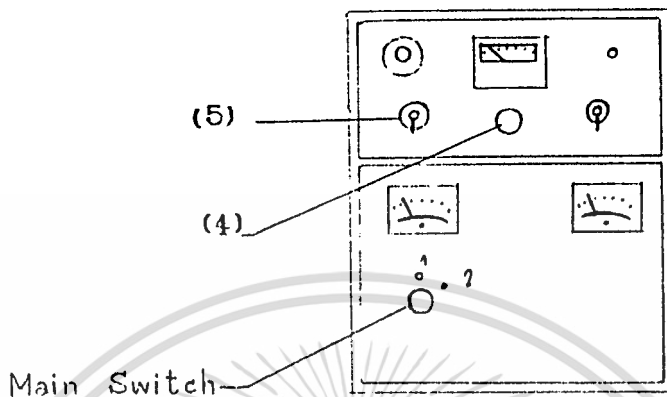
4.2 ที่อุณหภูมิสูงไม่มาก โดหะอาจมีความแข็งแรงใกล้เคียงกัน ซึ่งเราจะตรวจสอบได้โดยทดสอบที่อุณหภูมิ 75°C และ 125°C เมื่อมาเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิ 100°C และ 150°C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

## การตั้งอุณหภูมิ

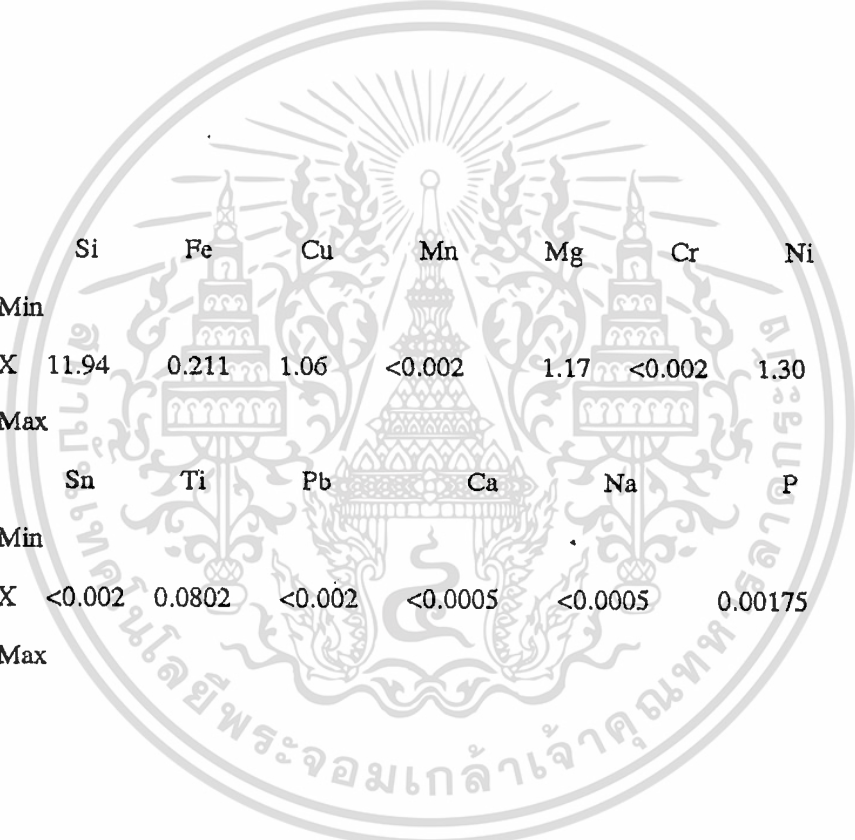


## รูปที่ 50 แสดงภาพของเครื่องตั้งอุณหภูมิ

1. เปิด Main Switch ในที่หมายเลข 2
  - 1) หมายเลข 1 ทำงานตลอดเวลา
  - 2) หมายเลข 2 หยุดเมื่อ Limit Switch ทำงาน
2. เปิด Output adjust (4) ไปจนสุด
3. ปรับสวิทช์ (5) ไปที่ Low (อุณหภูมิ 100-400 ปรับ Low, อุณหภูมิ 400-800 ปรับ heigh) พร้อมทั้งหมุน temp set fine (6) ไปยังตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ต้องการ (โดยดูจากกราฟที่ A1) การทดลองครั้งนี้ใช้อุณหภูมิที่ 100 °C ปรับไปที่ประมาณ 380-450 °C low
4. เมื่ออุณหภูมิใกล้ถึงที่ต้องการ (ประมาณ 5-10 °C ก่อนถึง) ให้ลด Output adjust(3) ลงมาจนอยู่ที่ตำแหน่งที่เหมาะสมกับอุณหภูมิ (ดูกราฟรูปที่ A1)
5. ปรับอุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการโดยใช้ Temp set fine(6) 1 ช่องใน Temp set fine จะปรับอุณหภูมิประมาณ 0.4-0.5 °C
6. สังเกตกระแสที่ Control curent amp meter จะต้องมีค่าอยู่ประมาณ 3-6 mA

## ส่วนประกอบทางเคมีของอลูมิเนียม

Aluminium Alloys + Phos



	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
Min								
X	11.94	0.211	1.06	<0.002	1.17	<0.002	1.30	0.0117
Max								
	Sn	Ti	Pb	Ca	Na	P	Al	
Min								
X	<0.002	0.0802	<0.002	<0.0005	<0.0005	0.00175	84.22	
Max								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมกลิ้งชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึง

N	G	X	Z	F
00	M03			
01	00	-400	-400	
02	00	-100	-2800	
03	95			
04	01	-50	-200	40
05	01	00	-2260	40
06	01	50	-200	40
07	01	-100	300	40
08	01	00	2060	40
09	01	100	300	40
10	01	-150	-400	40
11	01	00	-1860	40
12	01	150	-400	40
13	00	00	400	
14	00	-150	00	
15	01	-50	100	40
16	01	00	1660	40
17	01	50	100	40
18	00	00	-100	
19	00	-50	00	
20	01	-50	-200	40
21	01	00	-1260	40
22	01	50	-200	40
23	00	200	00	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N	G	X	Z	F
24	00	00	-500	
25	03	-300	930	02
26	M99	I1300	K930	
27	01	00	800	02
28	03	300	930	02
29	M99	I1600	K00	
30	00	100	00	
31	00	00	-5260	
32	00	-100	00	
33	01	-50	-100	10
34	01	50	-100	10
35	00	100	00	
36	00	00	8060	
37	00	-100	00	
38	01	-50	100	10
39	00	400	00	
40	00	150	500	
41	M05			
42	M30			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

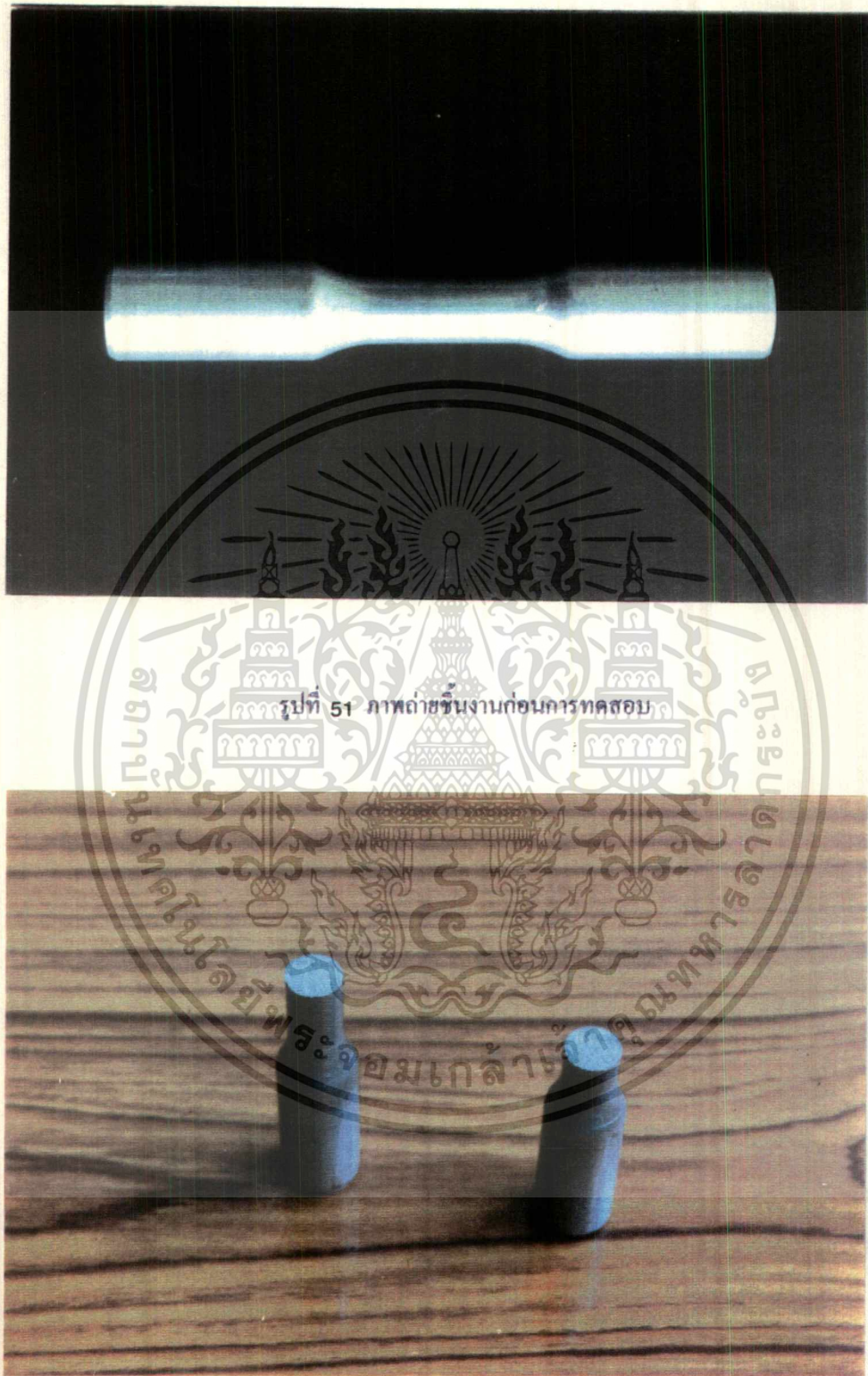
โปรแกรมกลิ้งชิ้นงานทดสอบความต้านทานการล้า

N	G	X	Z	F
00	M03			
01	00	-400	-400	
02	00	-150	00	
03	01	00	-9000	50
04	00	00	9000	
05	00	-52	00	
06	95			
07	01	00	-1000	30
08	00	00	20	
09	M05			
10	M00			
11	M03			
12	00	00	-20	
13	01	00	-1550	30
14	01	00	-2900	50
15	01	00	-3550	30
16	00	52	00	
17	00	00	3400	
18	00	-50	0	
19	01	-50	400	40
20	00	00	2200	40
21	01	-50	400	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

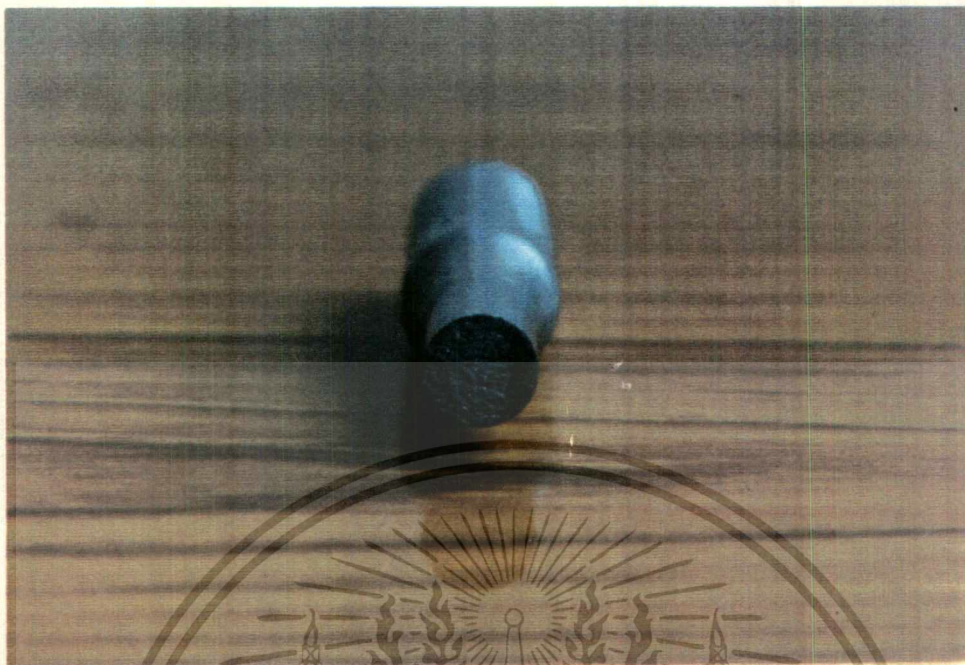
N	G	X	Z	F
22	01	-100	-400	40
23	01	00	-2200	40
24	01	100	-400	40
25	00	00	400	
26	00	-100	00	
27	01	-50	250	40
28	01	0	1700	40
29	01	50	250	40
30	00	100	00	
31	00	00	-2600	
32	03	-200	730	10
33	M99	I1232	K730	
34	01	00	1540	10
35	03	200	730	10
36	M99	I1432	K0	
37	00	100	00	
38	00	00	-5400	
39	00	-100	00	
40	01	-50	-100	10
41	01	50	-100	
42	00	100	0	
43	00	00	8000	
44	00	-100	00	
45	01	-50	100	10
46	00	350	0	
47	00	300	1500	
48	M05			
49	M30			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

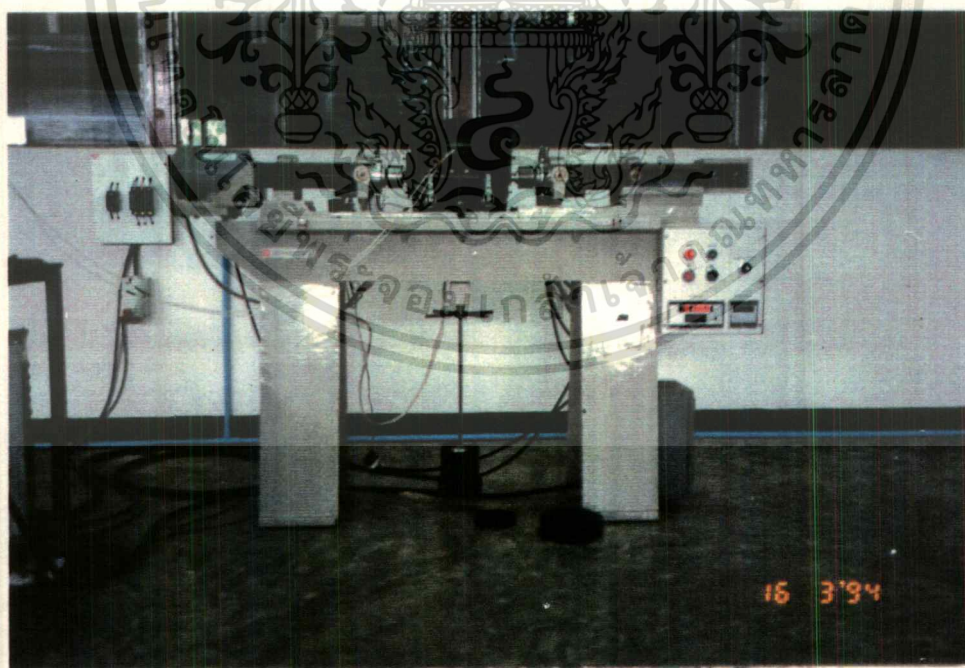


รูปที่ 52 ภาพถ่ายชิ้นงานหลังการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

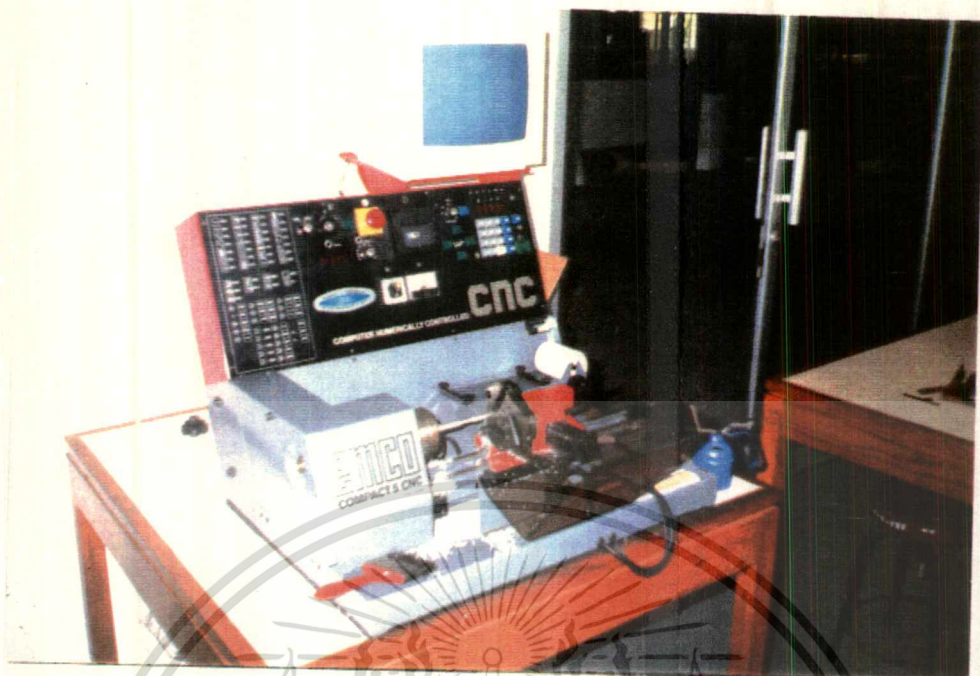


รูปที่ 53 ภาพถ่ายชิ้นงานหลังการทดสอบ

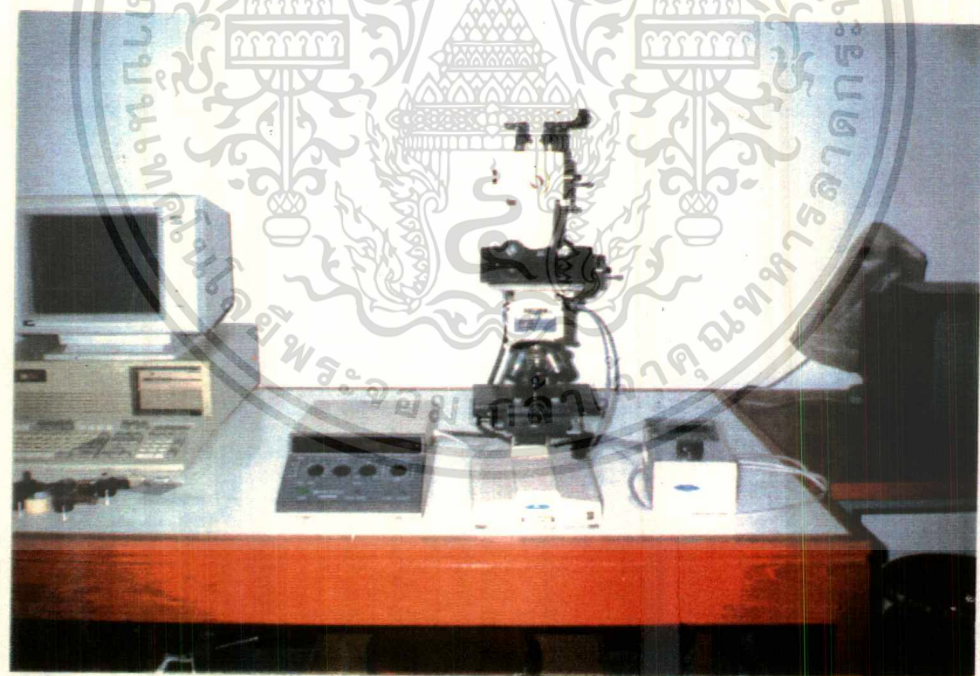


รูปที่ 54 ภาพถ่ายเครื่องทดสอบความถี่แบบหมุนคัต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 55 ภาพถ่ายเครื่องกลึง CNC



รูปที่ 56 ภาพถ่ายกล้อง Electron microscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

ผศ. พรศักดิ์ อรรถวานิช ที่ให้คำปรึกษา

คุณมณฑา เทียมเมือง ที่ให้ความช่วยเหลือ

เจ้าหน้าที่ประจำภาควิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

1. วิทยานิพนธ์ เรื่องการทดสอบความล้าแบบหมุนตัดของอลูมิเนียมอัลลอย, 2534
2. Machine design เล่ม 1 ดร.วริทธิ์ อิงภากรณ์. ชาญ ถนัดงาน, 2531
3. Numerical Methods for Engineer, steven C. Chapra, 1988
4. Internal Combustion Engine Fundermental, Jeck P.Holemen, 1989.
5. JIS hand book, Non Furrous Metals, 1986
6. คู่มือเครื่อง Uno's high temperature rotating bending fatigue testing machine
7. วัสดุในงานวิศวกรรม ดร.ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยา, 2533