

การทดสอบความต้านทานความล้า
แบบหมุนดัดของอลูมิเนียมผสม(AC8A)

โดย

นาย ไพบูลย์ อารีย์พงศา
นาย วิสันต์ เศรษฐกุลวิชัย

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2536

033179

การทดสอบความต้านทานความล้าแบบหมุนดัดของอูมิ เนียมผสม (AC8A)

จัดทำโดย 1. นายไพบูลย์ อารีย์พงศ์
2. นายวิสันต์ เศรษฐกุลวิชัย

อาจารย์ที่ปรึกษา: อ.พรศักดิ์ อรรถวานิช

บทคัดย่อ

โลหะอูมิเนียมผสมทนความร้อน (AC8A) เป็นที่นิยมใช้กันมากในงานทางด้านวิศวกรรม โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมรถยนต์ ซึ่งใช้ในการผลิตลูกสูบในเครื่องยนต์ แต่คุณสมบัติที่สำคัญบางอย่าง เช่น ความต้านทานการล้าของโลหะชนิดนี้ที่สภาวะจริงมีค่าน้อยมาก ดังนั้นเราจึงทำการศึกษาและทดลองคุณสมบัติดังกล่าวนี้ ด้วยเครื่องทดสอบความล้าแบบหมุนดัด โดยควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบไว้ที่ 260°C (อุณหภูมิจริงในห้องเผาไหม้), 200°C และ 150°C นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการทดสอบความต้านทานแรงดึง, การตรวจสอบจุลโครงสร้างและความหยาบของชิ้นงาน ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้จะมีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์และปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะที่จะนำไปใช้งานจริง

Rotating Bending Fatigue Strength Testing Aluminium Alloy(AC8A)

By 1.Mr.Paiboon Areepongsa
2.Mr.Wisan Sethakulvichai

Supervisor: Mr.Pornsak Attavanich

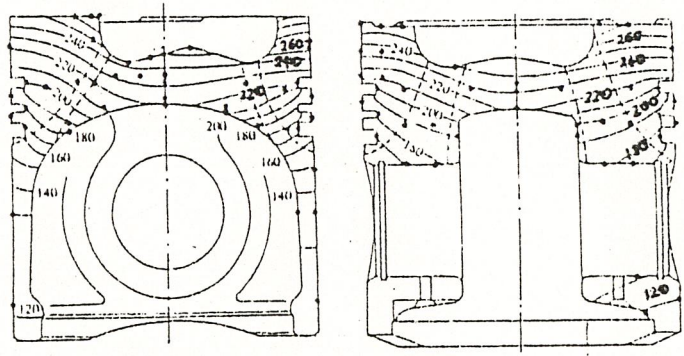
Abstract

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), 200°C and 150°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

บทนำ	หน้า	1
ความล้า		
- ทฤษฎีความล้า		1
- การคำนวณ		5
- วิธีการเตรียมชิ้นงานและการทดลอง		7
- ผลการทดสอบ		9
การทดสอบแรงดึง		
- หลักการและวิธีการทดสอบ		24
- ผลการทดสอบ		25
การตรวจสอบความหยาบของพื้นผิว		
- หลักการและวิธีการทดสอบ		28
- ผลการทดสอบ		29
การตรวจสอบโครงสร้างของโลหะ		
- หลักการและวิธีการทดสอบ		31
- ผลการทดสอบ		34
สรุปผลการทดลอง		44
วิจารณ์ผลที่ได้จากการทดลอง		45
ภาคผนวก		46
กิตติกรรมประกาศ		56
หนังสืออ้างอิง		57

โลหะผสม อลูมิเนียม AC8A ใช้ในการทำลูกสูบเครื่องยนต์ซึ่งจะต้องรับความเค้นเนื่องจากแรงแปรแบบสลับที่อุณหภูมิสูงอยู่ตลอดเวลา สภาพวะของลูกสูบขณะเครื่องยนต์ทำงาน โดยปกติแล้วจะมีจังหวะ ดุด อัด ระเบิด คาย ทำให้เกิดความดันสูงและต่ำสลับกันไป และอุณหภูมิขณะเครื่องยนต์ทำงานนั้น มีค่าสูงตลอดเวลา การกระจายของอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้ว heat flux จะสูงที่สุดที่หัวกระบอกสูบ ตำแหน่งที่วาล์วไอเสีย และบริเวณศูนย์กลางของกระบอกสูบ และต่ำสุดที่ผนังของกระบอกสูบ โดยทั่วไปแล้วลูกสูบเหล็กหล่อจะทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า อลูมิเนียม ประมาณ 40-80 °c ในกรณีของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ลูกสูบจะร้อนที่สุด ตรงศูนย์กลาง ส่วนเครื่องยนต์ดีเซล จะร้อนที่สุดบริเวณผิวขอบ และบริเวณ Pre chamber ดังรูป วัดการกระจายของอุณหภูมิของลูกสูบที่ 3000 รอบ/นาที ระยะชัก 125 mm. อัตราส่วนกำลังอัด เท่ากับ 17



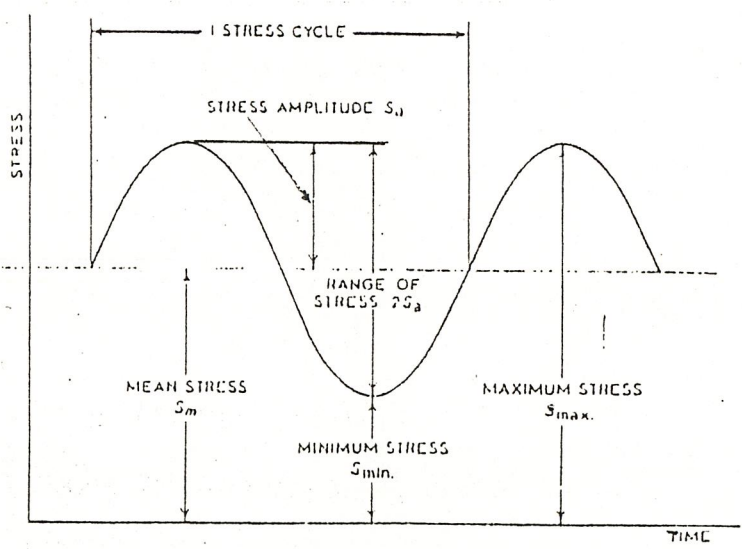
รูปที่ 1 แสดงการกระจายของอุณหภูมิในกระบอกสูบ

อุณหภูมิสูงสุดตามที่ได้เห็นในรูป ใช้เป็นสภาวะในการทดสอบความล้าของ อลูมิเนียมอัลลอยด์ (AC8A) ที่อุณหภูมิสูง

ความล้าของวัสดุ ปัจจุบันความเสียหายของวัสดุ จะเกิดจากความเสียหายเนื่องจากความล้า คือการที่วัสดุถูกกระทำด้วยแรงแปร (cycle or fluctrating load) ซึ่งจะมีผลให้ ชิ้นงานเกิดความเสียหายที่ค่าความเค้นต่ำกว่าการกระทำด้วยแรงคงที่ สาเหตุสำคัญของ fatigue failure ได้แก่

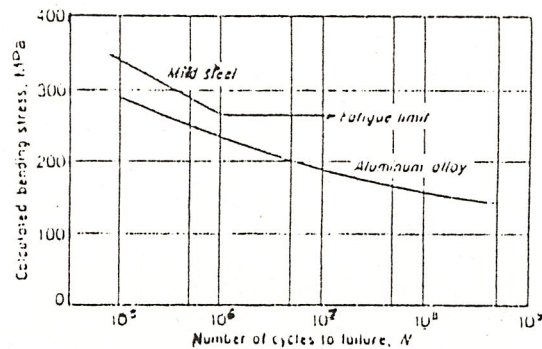
1. ค่า Maximum Tensile Stress ที่สูงพอ
2. แรงแปรที่มีขนาดใหญ่มากที่มากกระทำ
3. จำนวนครั้งหรือรอบมากพอ

นอกจากนี้ยังมีตัวแปรอื่น ๆ อีก เช่น การสึกกร่อน, อุณหภูมิ, การโอเวอร์โหลด เป็นต้น ในเรื่องของความล้านี้ สมมติรูปของความเค้นที่กระทำต่อวัสดุเป็นแบบวัฏจักร (stress cycle) กระทำอย่างต่อเนื่องเพื่อที่จะคำนวณได้ เพราะโดยทั่วไปแล้วแรงจะเปลี่ยนในลักษณะที่ไม่ทราบแน่นอน สามารถสมมติแรงแทนโดยการกระทำเป็น cycle ดังรูป



รูปที่ 2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความเค้นต่อเวลา

การที่วัสดุถูกกระทำด้วยแรงความเค้นสลับกันไป จะทำให้วัสดุเกิดการแตกหักได้ แม้ว่าแรงที่มากระทำนั้นต่ำกว่า 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 ซึ่งที่จุดนี้ กราฟ S-N curve จะขนานกับแกน X สำหรับโลหะประเภทเหล็กค่าความเค้นของจุดนี้อยู่ที่ประมาณ 10 ล้านรอบ และที่จุดนี้จะมีลักษณะหักมุม

- แบบที่ 2 โลหะผสมที่ไม่ใช่เหล็กบางชนิด เส้นกราฟจะไม่มีส่วนที่ขนานกับแกน X และไม่มีจุดหักมุม เพราะฉะนั้นขีดจำกัดของความล้าจึงกำหนด โดยการใส่ค่า stress ที่รับได้เมื่อใช้แรงตามจำนวนครั้งที่กำหนด ตัวอย่างของโลหะประเภทนี้ได้แก่ ทองเหลือง ทองแดง และอลูมิเนียม

โครงสร้างที่เปลี่ยนไปในระหว่างเกิดกระบวนการลำของโลหะ

เมื่อชิ้นงานทดสอบของโลหะอยู่ภายใต้ความเค้นเป็นรอบๆ พื้นผิวของความเสียหายเนื่องจากการลำสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

1) การเริ่มต้นเกิดรอยร้าว โดยทั่วไปจะมีสาเหตุมาจากตาดินหรือจุดบกพร่องงานชิ้นงาน เช่น การแทรกตัวของสารเจือปน หรือรูเข็ม (pin-holes) ที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นงาน ซึ่งเป็นส่วนที่มีความเค้นสูง เป็นเหตุให้เกิดการเลื่อนบนระนาบเกิดขึ้นได้ง่าย ทำให้เกิดรอยร้าวขึ้น

2) การขยายตัวของรอยร้าว จะเป็นรูปแบบคล้ายหาดทราย การลำจะเกิดเป็นแนวเสียดทานขณะที่การร้าวขยายตัวไปข้างหน้าตามพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานทดสอบ แนวเสียดทานของการลำนี้ มีประโยชน์ในการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดจากการลำในการหาจุดเริ่มต้นและทิศทางของการกระจายรอยแตกร้าว เนื่องจากการลำ

3) การแตกหักอย่างฉับพลัน เมื่อรอยร้าวบดคลุมพื้นที่เพียงพอ โดยที่พื้นที่หน้าตัดที่เหลือของโลหะไม่สามารถต้านทานแรงกระทำที่เกิดขึ้นได้ ชิ้นงานก็จะขาดจากกันอย่างฉับพลัน

อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อโครงสร้างของโลหะ

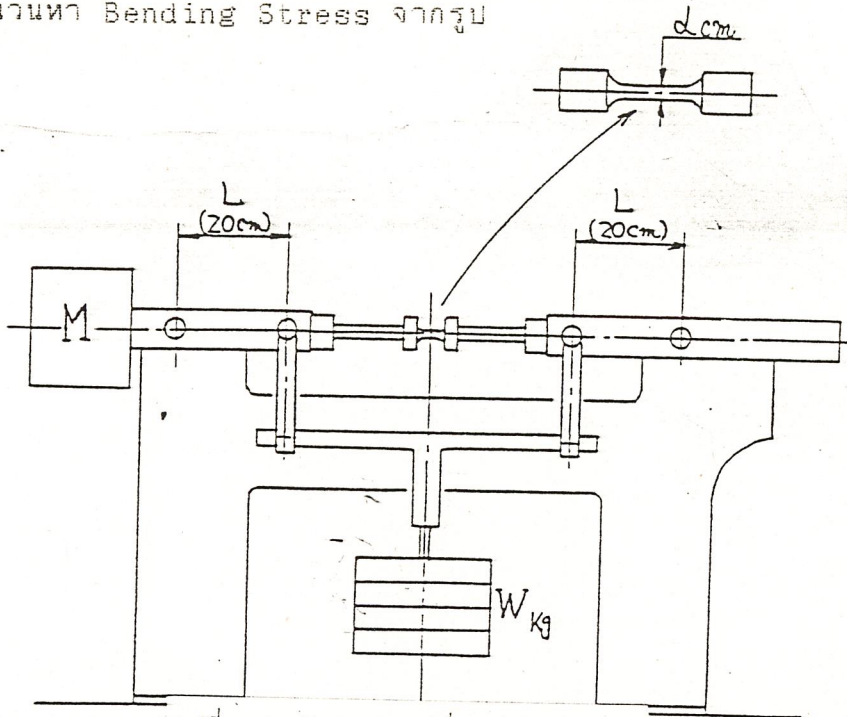
เมื่อชิ้นงานทดสอบอยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิสูง จะมีผลทำให้โครงสร้างของชิ้นงานนั้นมีความแข็งแรงน้อยลง สาเหตุนี้เนื่องจากปัจจัยหลัก 2 ประการ คือ

1) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมลดลง เนื่องจากเมื่อเราเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ชิ้นงาน อะตอมและอิเล็กตรอนภายในโครงสร้างจะได้รับพลังงานเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการสั่นไหวภายในโครงสร้างมากขึ้น มีผลทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมลดลง

2) การเลื่อน (slide) ระหว่างผลึกในโครงสร้าง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างผลึก (ขอบเกรน) จะมีค่าลดลง ทำให้เกิดการเลื่อนระหว่างผลึกง่ายขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการเสียรูปได้ง่ายขึ้น

การคำนวณ

การคำนวณหา Bending Stress จากรูป



รูปที่ 4 แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบความดัด

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

จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 M &= WL/2 = 10W \\
 S &= 32M/d^3 \\
 &= 320W/d^3 \\
 &= 101.81W/d^3 \text{ kgf/cm}^2 \\
 &= 9982.18W/d^3 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

สมมติให้ $S = A \cdot N^B$ -----(1)

: S = bending stress(MPa)

N = number of cycle

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

จาก Regression analysis จะได้ว่า

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

หรือ $\ln A = \ln S - B \ln N$

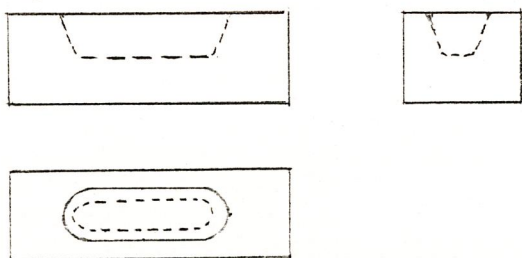
$$B = \frac{n \sum \ln S \cdot \ln N - \sum \ln N \cdot \sum \ln S}{n \sum \ln N^2 - (\sum \ln N)^2} \quad \text{--(3)}$$

วิธีทดลองและผลการทดลอง

การเตรียมชิ้นงาน

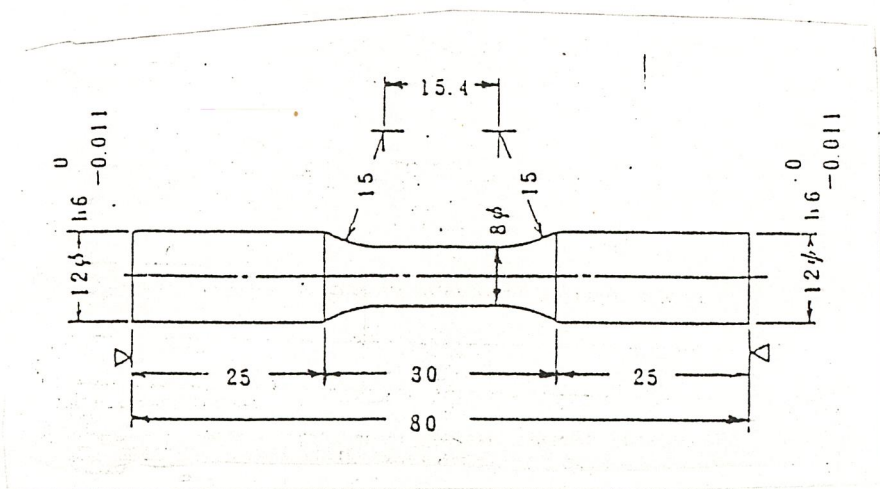
ขั้นตอนการหล่ออลูมิเนียม

1. นำ ingot ของอลูมิเนียม มาหลอมที่เตาหลอมที่อุณหภูมิ 900-950 °c เป็นเวลา 1.5 ชม.
2. จากนั้นนำมาไว้ที่เตาพักเพื่อลดอุณหภูมิลงจนถึงที่ประมาณ 750 °c จากนั้นจะทำการตัก slag ออกแล้วใส่ แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส(แบบก้อน,ผง) เป่าด้วยก๊าซ N₂ เพื่อไล่แก๊สและสิ่งสกปรก ตัก slag ออกอีกครั้งแล้วทิ้งไว้ 30 นาที
3. นำมาเทลงในแบบหล่อที่อุณหภูมิประมาณ 250 °c



รูปที่ 5 แสดงลักษณะของแบบหล่อ

ชิ้นงานที่นำมาทดสอบ จะต้องมีความใกล้เคียงมาตรฐานการทดสอบ ดังรูป



รูปที่ 6 แสดงขนาดของชิ้นงานที่ใช้ทดสอบความล้า

กรรมวิธีการทำชิ้นงาน

1. นำชิ้นอลูมิเนียมจากบริษัทผู้ผลิต มากึ่งหยาบเป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 14 mm.
2. นำชิ้นงานดังกล่าวมากึ่งละเอียดด้วยเครื่อง CNC.
3. ทำการขัดผิวตามแนวยาว เพื่อลบรอยที่เกิดจากการกลึงด้วยกระดาษทราย น้ำ ขนาด 1000


วิธีการทดสอบความล้า เป็นการทดสอบความล้าแบบหมุนตัด ทดสอบโดยใช้เครื่องมือทดสอบความล้า One's High Temperature model 7 Rotating Fatigue testing Machine ทดสอบที่อุณหภูมิ 260 °C

ส่วนประกอบของเครื่องทดสอบ

1. เครื่องทดสอบความล้า
2. เครื่องตั้งอุณหภูมิ

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ประกอบชิ้นงานเข้ากับหัวจับชิ้นงาน (chucking rod)
2. นำ split nut ประกอบเข้ากับหัวจับชิ้นงาน และสวม cap nut ตรงกับขอบ split nut
3. นำใบสวมนเข้ากับแกนหมุนโดยสวมทางด้านซ้ายมือ (ด้านที่มีมือเคอร์) ก่อน จากนั้นจึงสวมทางด้านขวามือ ชันให้แน่น
4. เปิดเครื่องตั้งอุณหภูมิ และรอปรับจนได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ คือที่ 260 °C
5. เปิดเครื่องให้มอเตอร์หมุน จากนั้นปล่อยน้ำหนักลงอย่างช้าๆ
6. ปรับ limit switch ให้พอเหมาะเพื่อให้มอเตอร์หยุดหมุนและชุดให้ความร้อนหยุดทำงานเมื่อชิ้นงานขาด
7. เมื่อชิ้นงานขาดให้บันทึกจำนวนรอบ และขนาดน้ำหนัก



ผลการทดลอง

Data for fatigue testting at260

Load	Stress	Cycles	LnS	LnN	LnS.LnN	LnN.LnN
5	97.65	146600	4.5813897	11.895463	54.497751	141.50204
5	97.65	101400	4.5813897	11.526828	52.808892	132.86777
5	97.65	171500	4.5813897	12.052339	55.216459	145.25886
4.5	87.89	156700	4.476086	11.962088	53.543337	143.09156
4.5	87.89	160500	4.476086	11.986049	53.650588	143.66538
4	78.12	335500	4.3582461	12.723377	55.451609	161.88433
4	78.12	244300	4.3582461	12.406152	54.069066	153.91261
4	78.12	179300	4.3582461	12.096816	52.7209	146.33295
3.5	68.36	413800	4.2247879	12.933138	54.639765	167.26606
3.5	68.36	608900	4.2247879	13.319409	56.271679	177.40666
3.5	68.36	608400	4.2247879	13.318588	56.268208	177.38478
3	58.59	876000	4.070564	13.683121	55.698022	187.22781
3	58.59	1291400	4.070564	14.071237	57.277873	197.99972
3	58.59	857200	4.070564	13.661427	55.609712	186.63458
3	58.59	521600	4.070564	13.164656	53.587576	173.30818
2.5	48.83	4504000	3.8883449	15.320476	59.571296	234.717
2.5	48.83	2952100	3.8883449	14.898027	57.928668	221.95122
2.5	48.83	2457400	3.8883449	14.714614	57.215496	216.51988
2.5	48.83	1773800	3.8883449	14.388635	55.947974	207.03281
2	39.06	10111500	3.6650989	16.129134	59.115055	260.15057
Total			83.946178	266.25163	1111.0899	3576.1148

LnA:	6.9131802
B:	-0.204008
A:	1005.4396

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองและข้อมูลที่ใช้ในการทำกราฟที่อุณหภูมิ 260°C

Data for fatigue testting at200

Load	Stress	Cycles	LnS	LnN	LnS.LnN	LnN.LnN
5.5	107.42	1179200	4.8787464	13.980347	65.382536	195.4501
5.5	107.42	240700	4.6767464	12.391307	57.950998	153.54448
5.5	107.42	644500	4.6767464	13.37623	62.557236	178.92353
5.5	107.42	174900	4.6767464	12.07197	56.46754	145.73245
5	97.65	225500	4.5813897	12.326075	56.470555	151.93214
5	97.65	1349000	4.5813897	14.114874	64.665738	199.22967
5	97.65	1018700	4.5813897	13.834038	63.379118	191.3806
5	97.65	875900	4.5813897	13.683007	62.687188	187.22469
4.5	87.89	3335700	4.476086	15.020193	67.231677	225.6062
4.5	87.89	1141700	4.476086	13.948029	62.432578	194.54751
4.5	87.89	2205500	4.476086	14.606465	65.379793	213.34881
4.5	87.89	1594400	4.476086	14.282008	63.927497	203.97575
4	78.12	7730500	4.3582461	15.860684	69.124765	251.5613
4	78.12	3838300	4.3582461	15.16054	66.073365	229.84198
4	78.12	2825000	4.3582461	14.854019	64.73747	220.64188
4	78.12	6693800	4.3582461	15.716692	68.497213	247.01442
3.5	68.36	11815400	4.2247879	16.284914	68.800308	265.19843
3.5	68.36	10106800	4.2247879	16.128719	68.140416	260.13558
3.5	68.36	10395400	4.2247879	16.156874	68.259365	261.04458
3.5	68.36	12719500	4.2247879	16.358647	69.111812	267.60533
Total			89.269024	290.15563	1291.2672	4243.9394
LnA:	6.07684					
B:	-0.111209					
A:	435.65035					

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองและข้อมูลที่ใช้ในการทำกราฟที่อุณหภูมิ 200 °C

Data for fatigue testting at 150

Load	Stress	Cycles	LnS	LnN	LnS.LnN	LnN.LnN
6.5	126.95	66400	4.8437933	11.103452	53.782828	123.28665
6.5	126.95	80100	4.8437933	11.291031	54.691421	127.48738
6.5	126.95	71500	4.8437933	11.177453	54.141271	124.93545
6.5	126.95	101400	4.8437933	11.526828	55.833574	132.86777
6	117.18	193600	4.7637112	12.173549	57.991274	148.19531
6	117.18	206300	4.7637112	12.237087	58.293947	149.74629
6	117.18	120200	4.7637112	11.696912	55.720712	136.81776
6	117.18	222222	4.7637112	12.311432	58.648107	151.57136
5.5	107.42	522000	4.6767464	13.165423	61.571344	173.32836
5.5	107.42	3435800	4.6767464	15.04976	70.383912	226.49529
5.5	107.42	585700	4.6767464	13.280563	62.109825	176.97335
5.5	107.42	315100	4.6767464	12.650645	59.210627	160.29194
5	97.65	4593400	4.5813897	15.340131	70.279118	235.31962
5	97.65	607200	4.5813897	13.316614	61.008595	177.3322
5	97.65	737400	4.5813897	13.510886	61.398632	182.54403
5	97.65	10184000	4.5813897	16.136328	73.926808	260.38109
4.5	87.89	10193200	4.476086	16.137231	72.231636	260.41024
4.5	87.89	10106800	4.476086	16.128719	72.193534	260.13558
4.5	87.89	14395400	4.476086	16.482419	73.776727	271.67014
4.5	87.89	12719500	4.476086	16.358647	73.22271	267.60533
Total			93.366906	271.08511	1260.9166	3746.7951

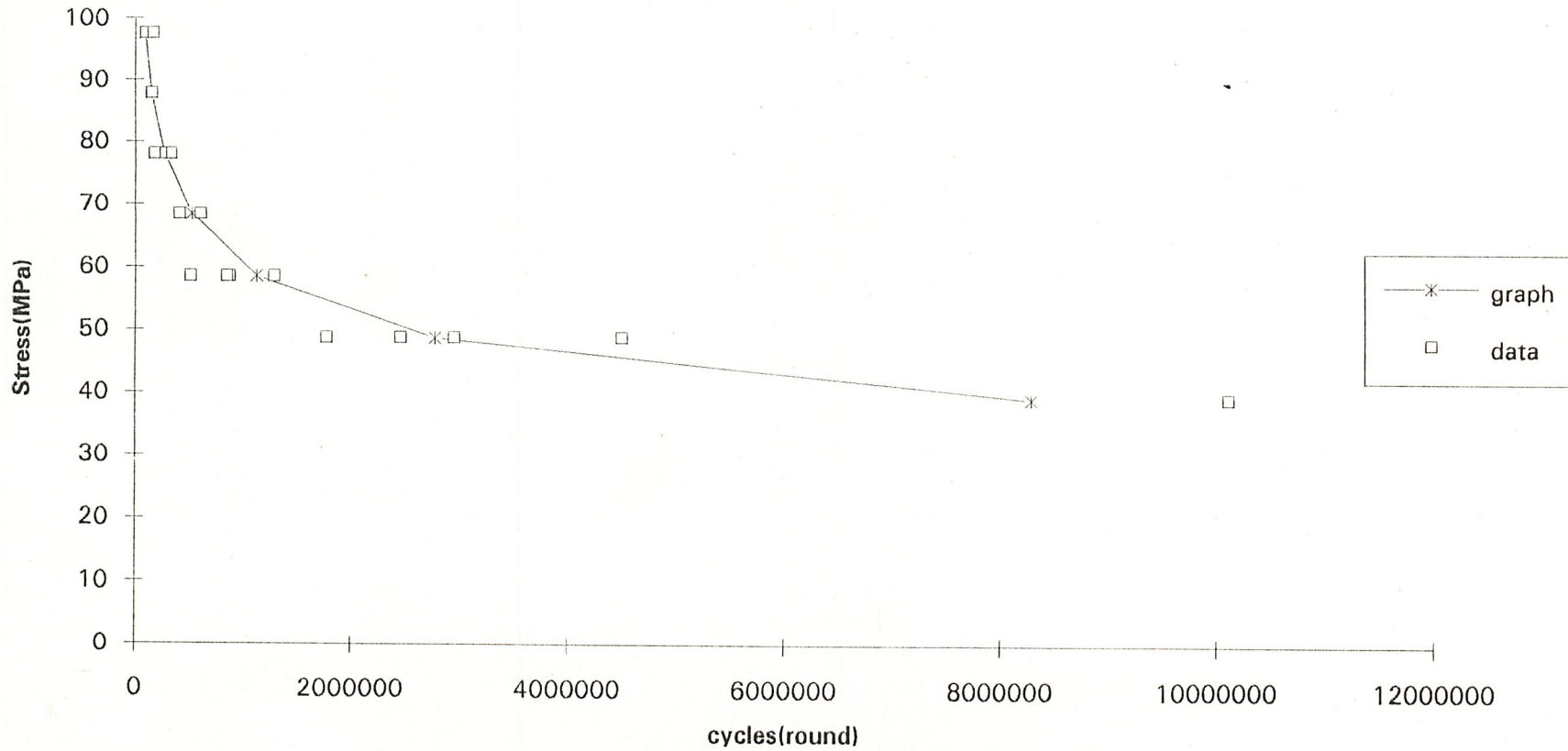
LnA: 5.5295047

B: -0.063534

A: 252.01906

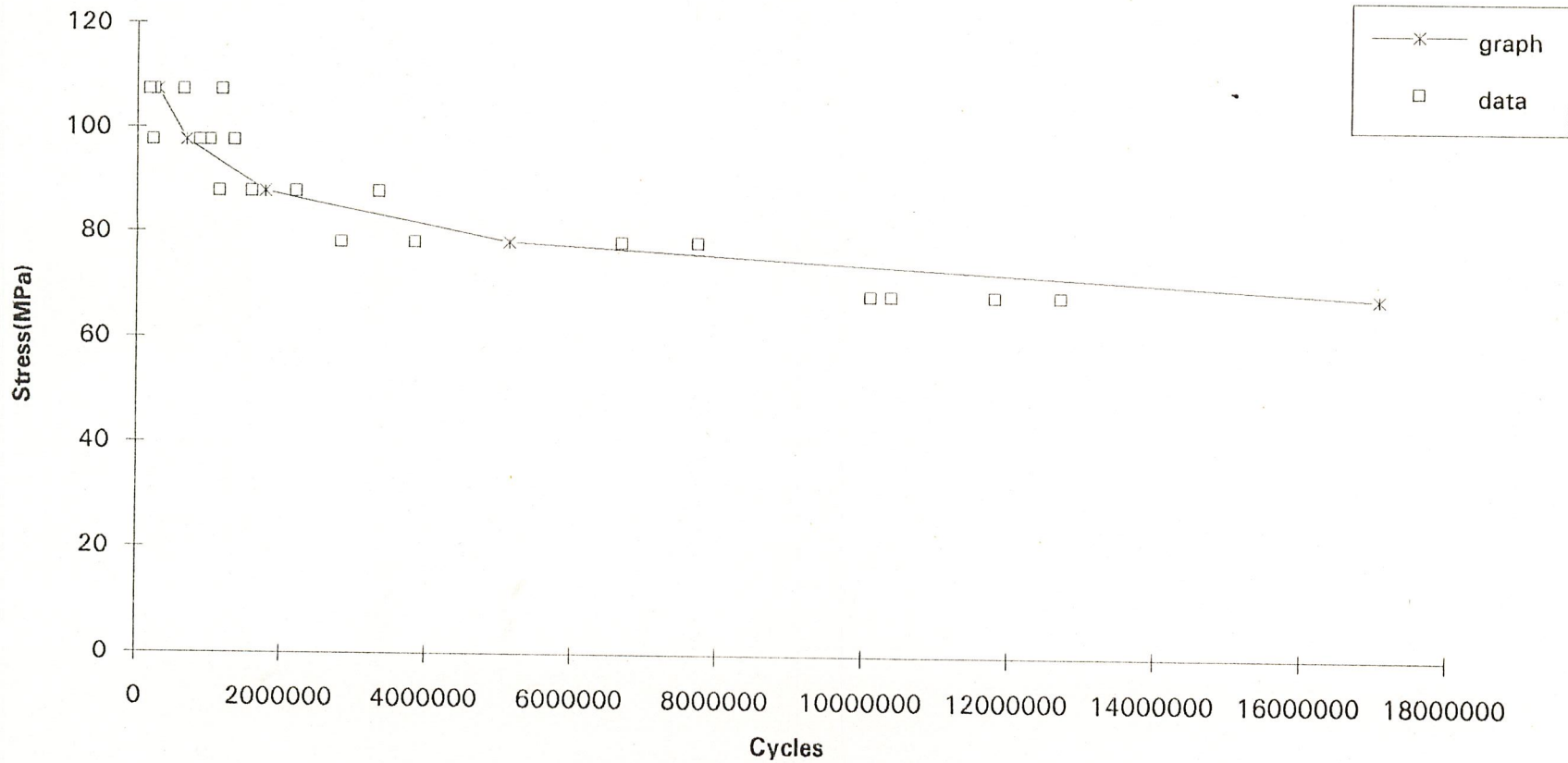
ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองและข้อมูลที่ใช้ในการทำกราฟที่อุณหภูมิ 150°C

Regression graph at temperature 260



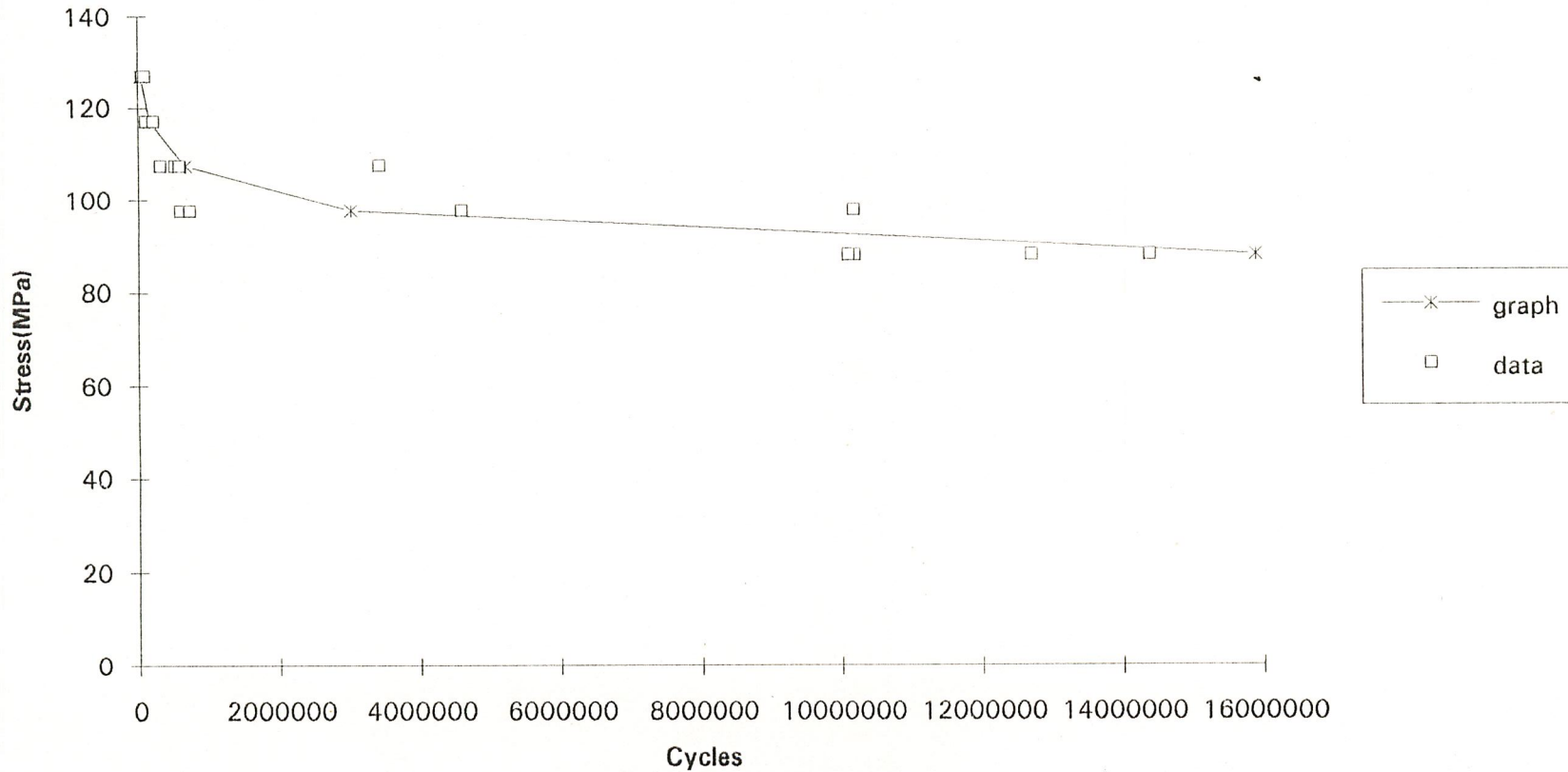
รูปที่ 7 กราฟของผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 260°C

Regression graph at temperature 200



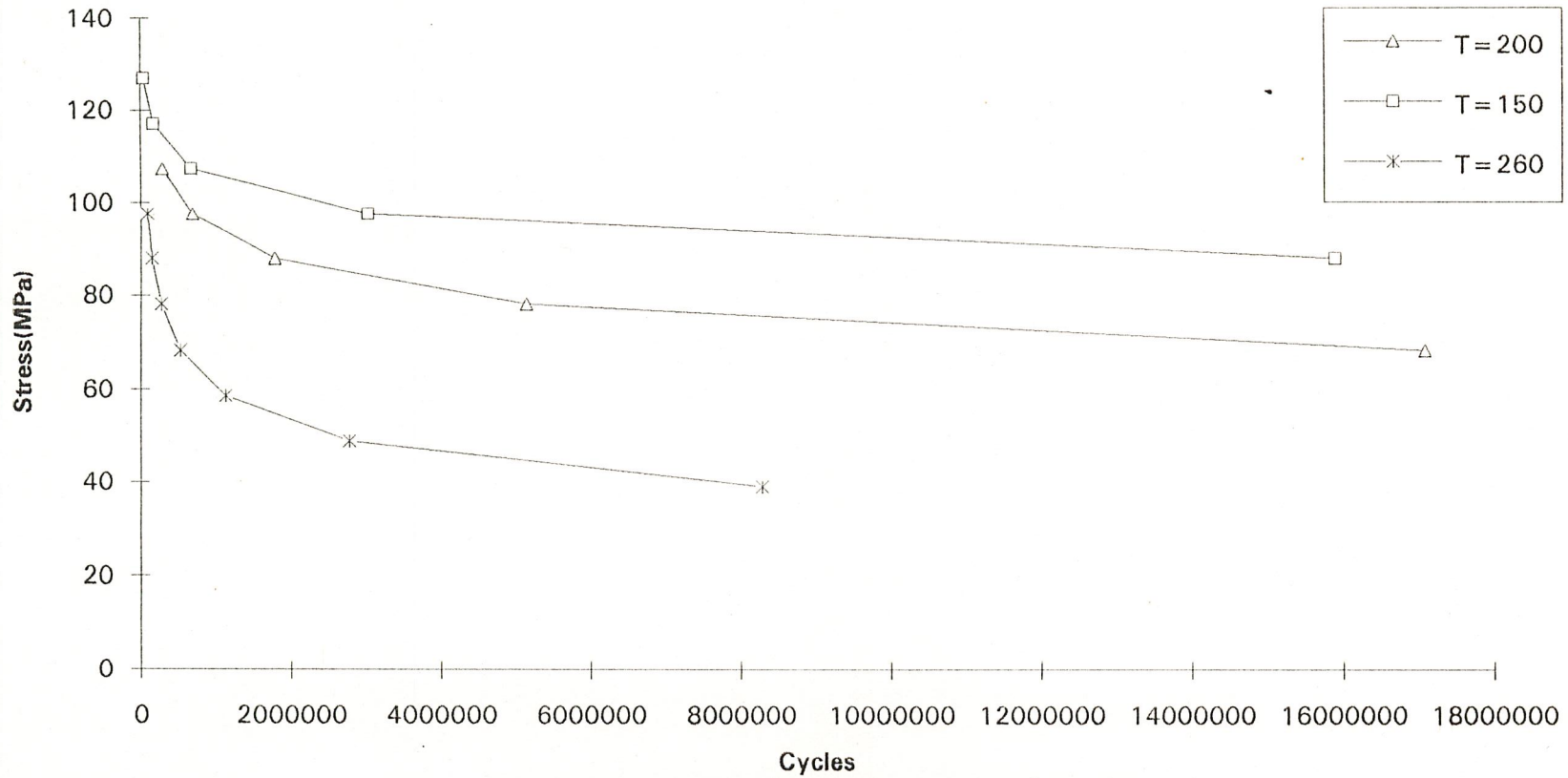
รูปที่ 8 กราฟของผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 200°C

Regression graph for temperature 150



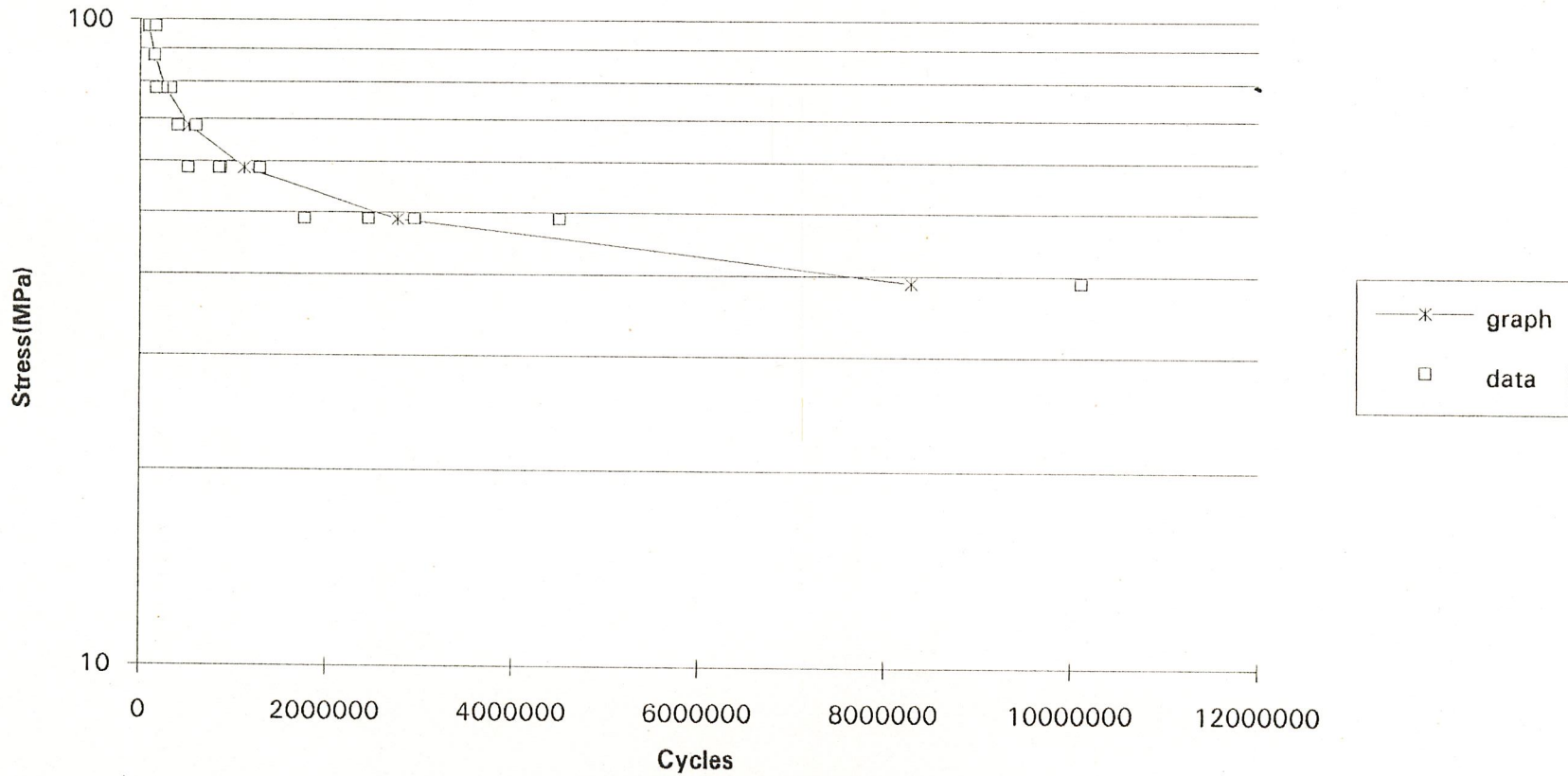
รูปที่ 9 กราฟของผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 150°C

comparison for different temperature



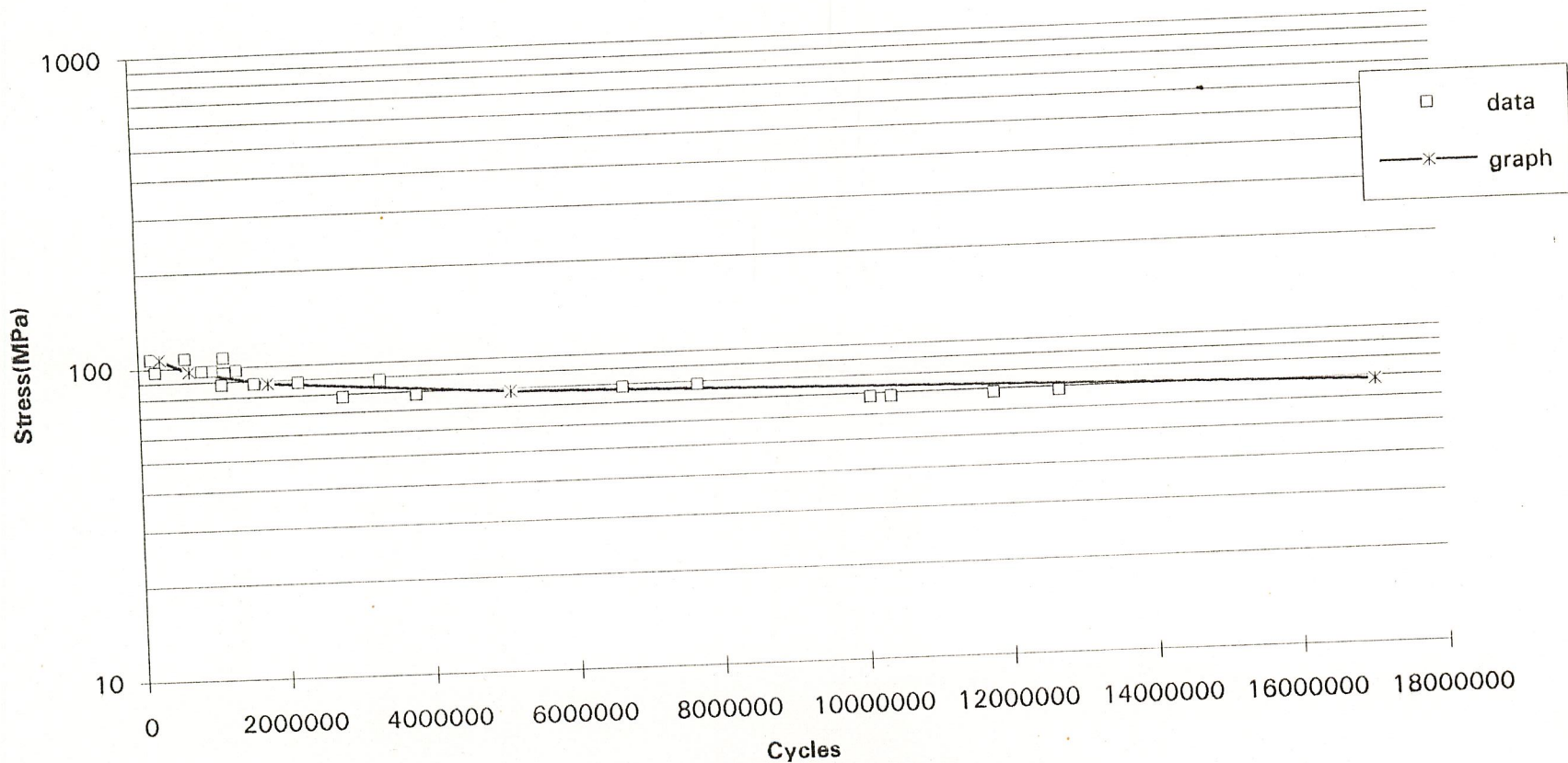
รูปที่ 10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของผลการทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆ

Semi-log for temperature 260



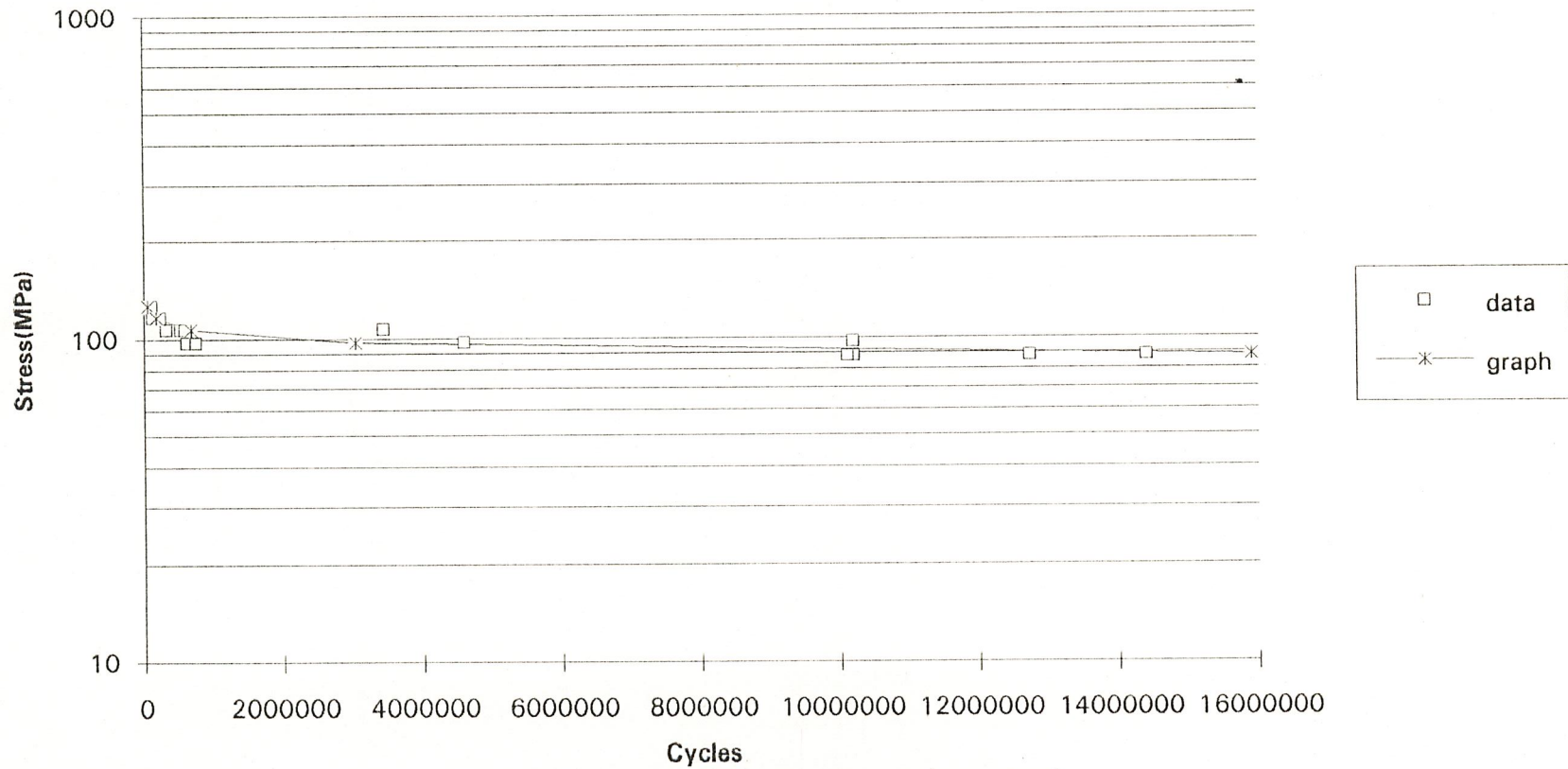
รูปที่ 11 กราฟ Semi-log ของผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 260°C

Semi-Log for temperature 200



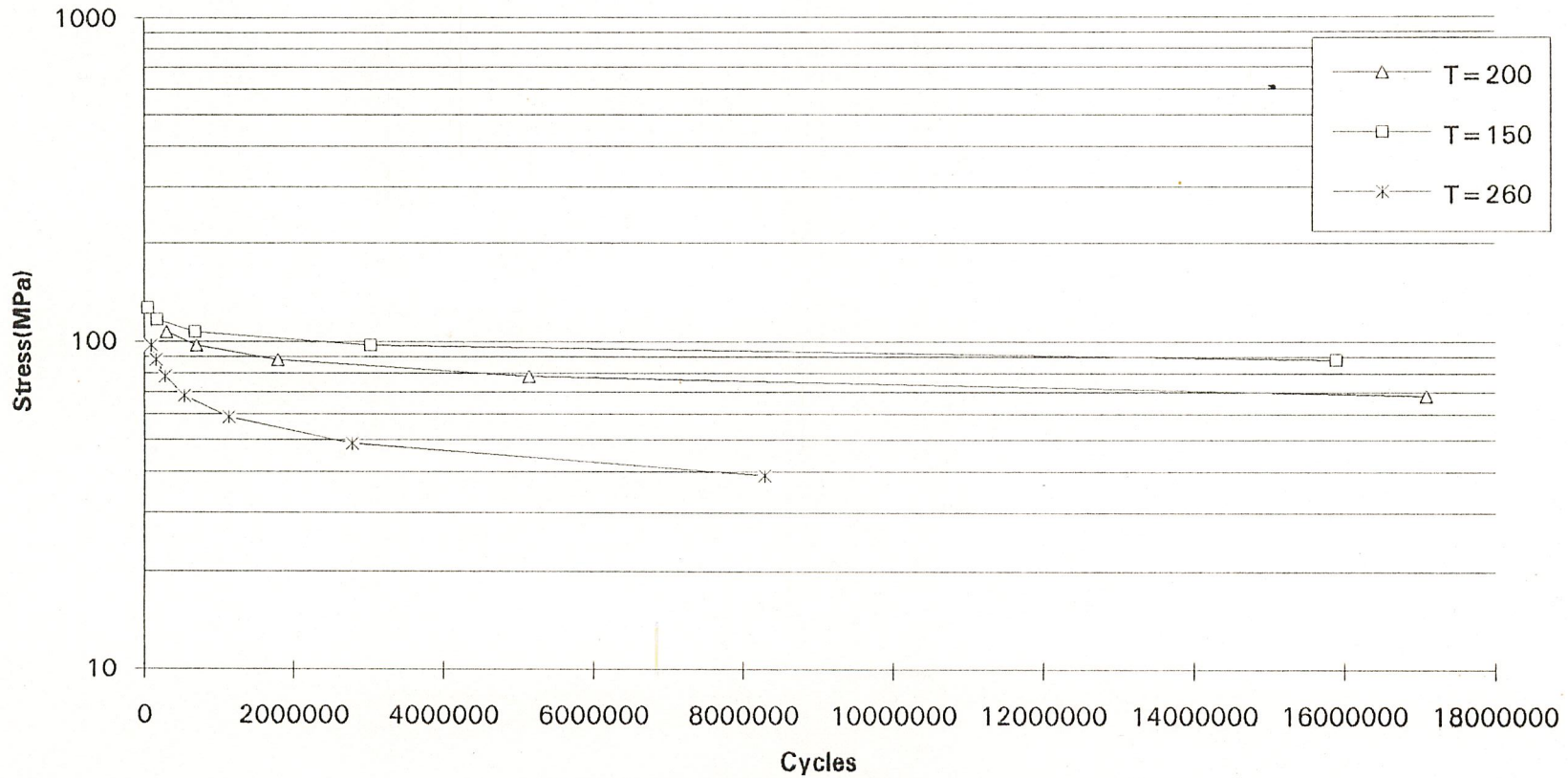
รูปที่ 12 กราฟ Semi-log ของผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 200°C

Semi-Log for temperature 150



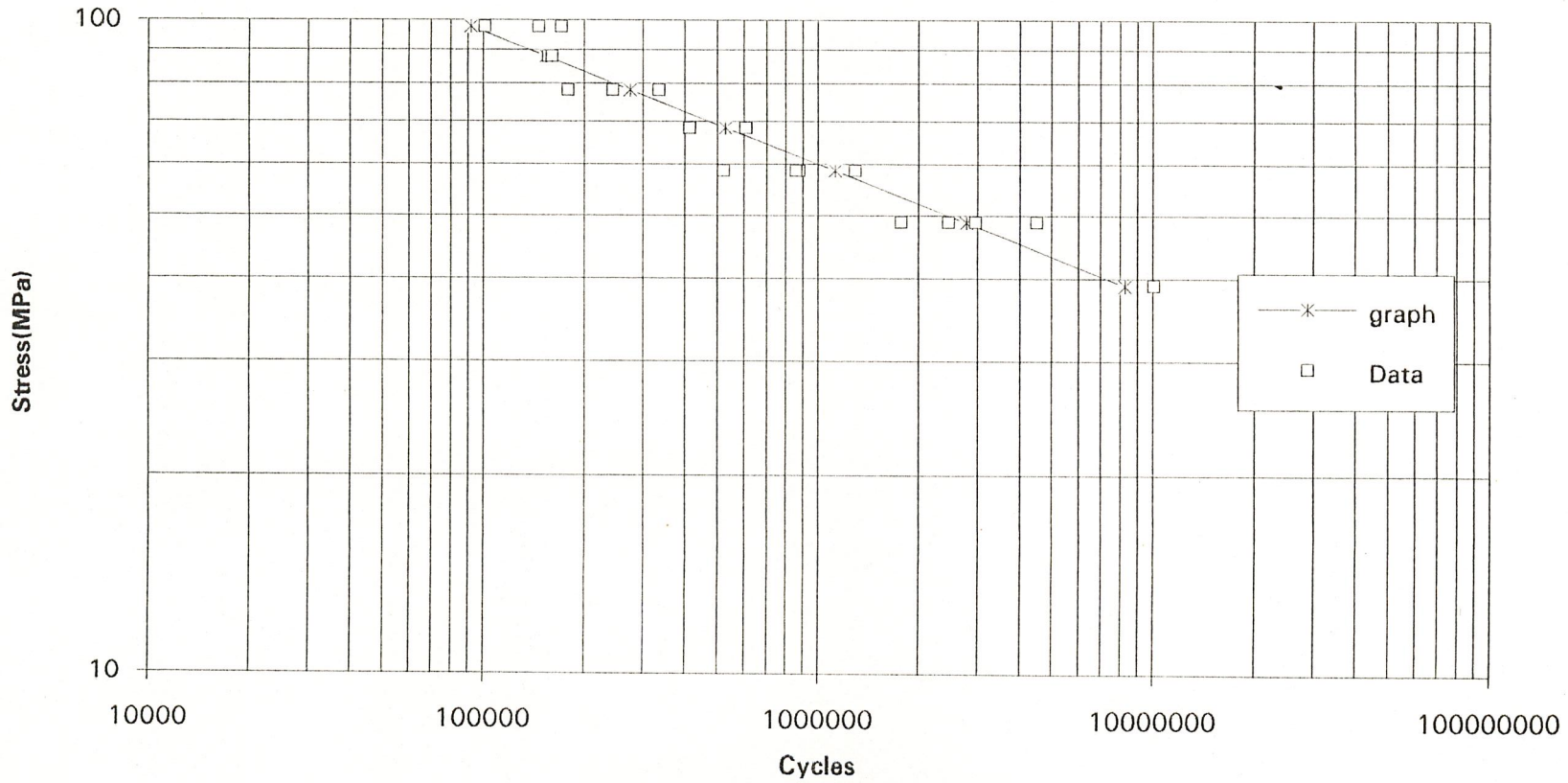
รูปที่ 13 กราฟ Semi log ของผลจากการทดสอบที่อุณหภูมิ 150°C

comparison semi-log for different temperature



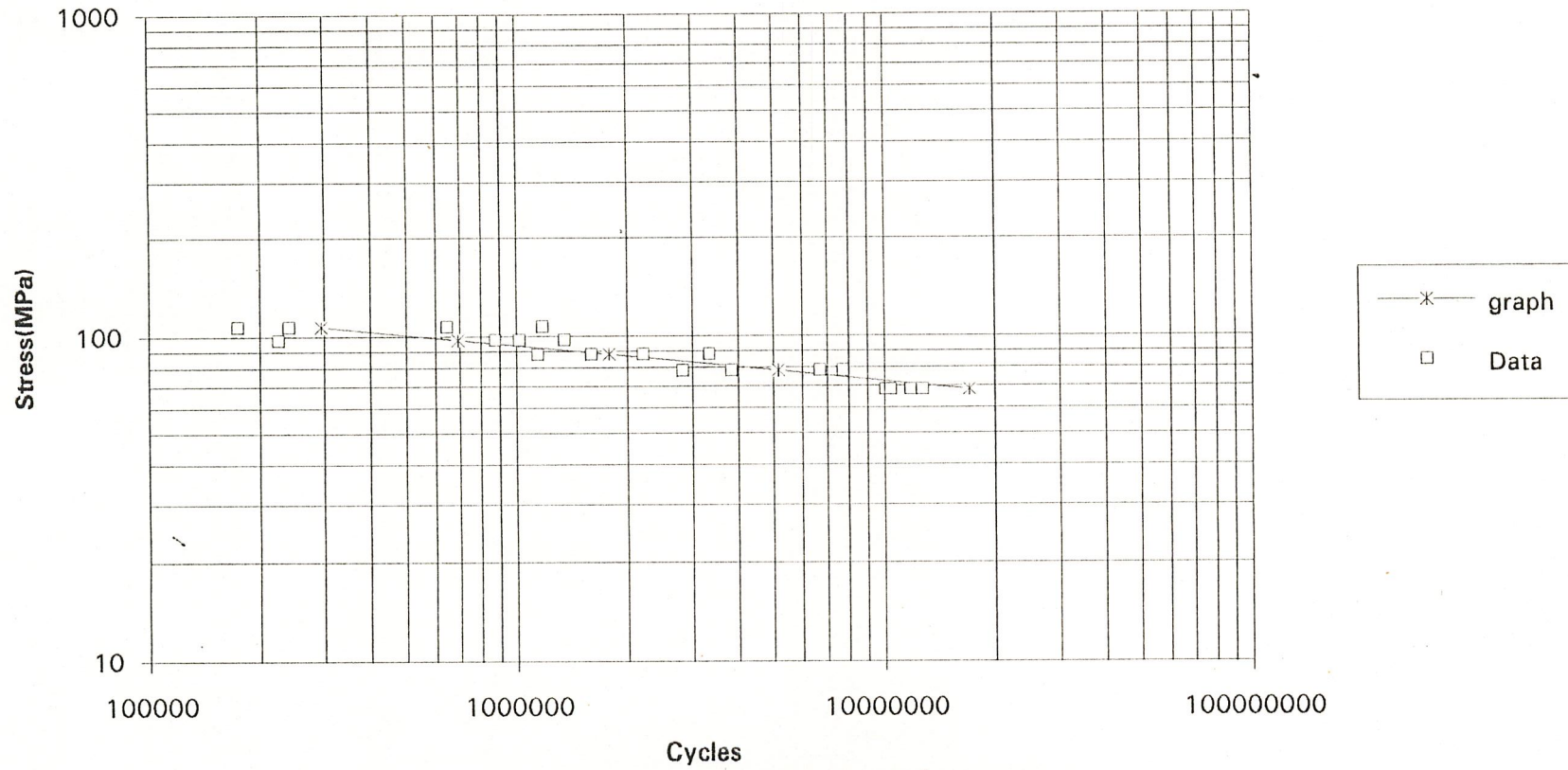
รูปที่ 14 กราฟ Semi-log แสดงการเปรียบเทียบของผลการทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆ

Full-log for temperature 260



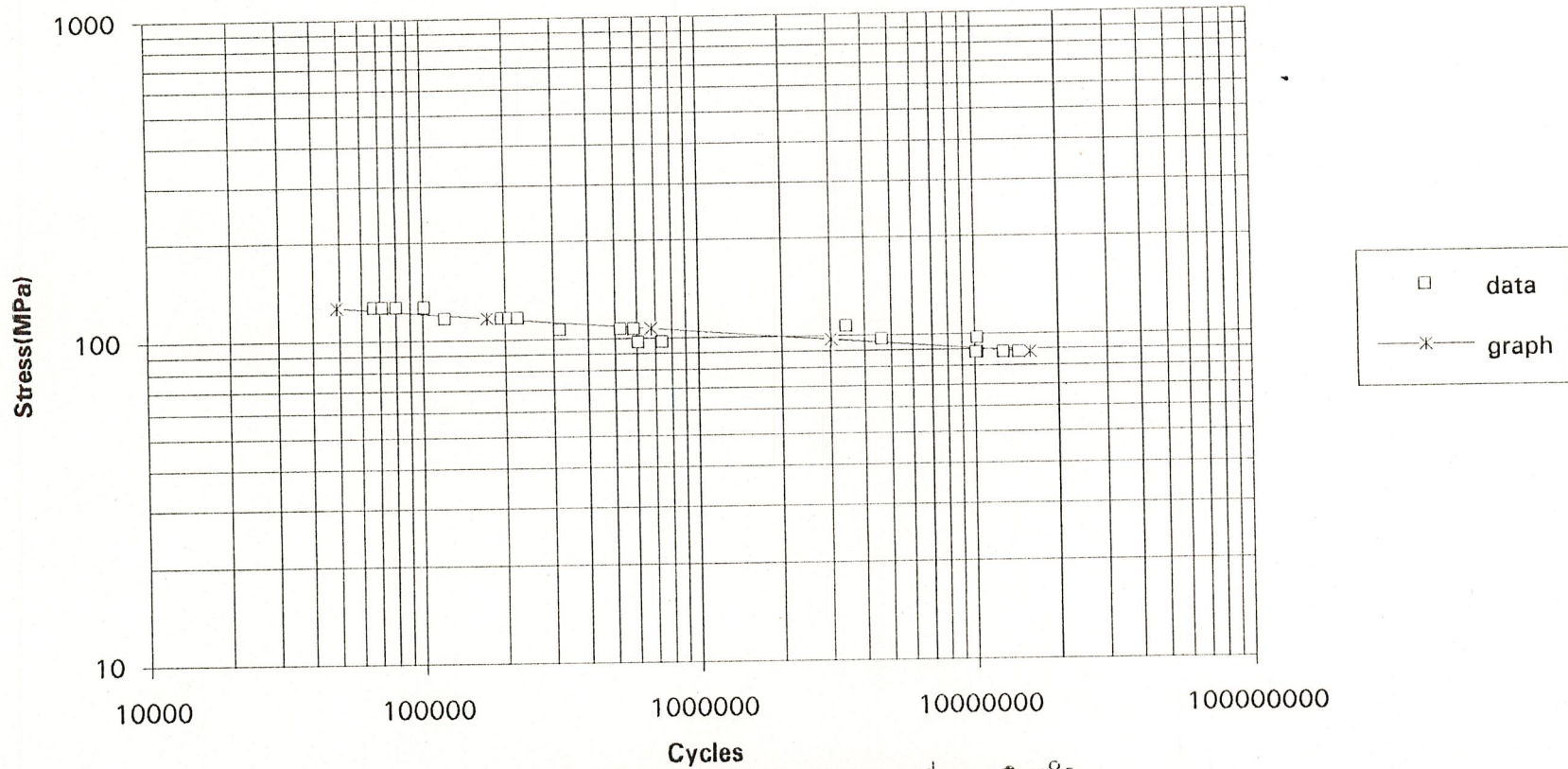
รูปที่ 15 กราฟ Full log ของผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 260°C

Full-log for temperature 200



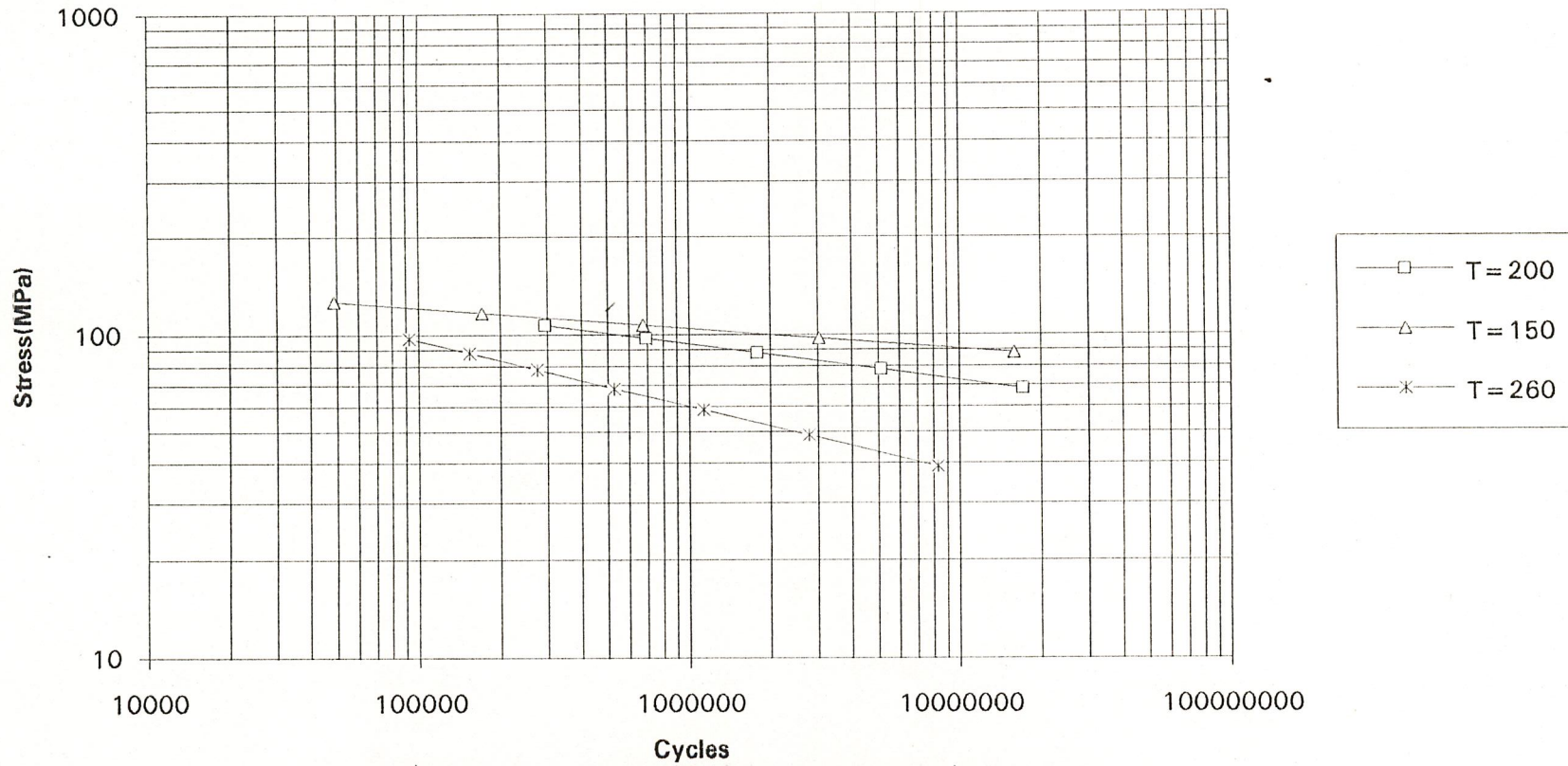
รูปที่ 16 กราฟ Full-log ของผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 200°C

Full-log for temperature 150



รูปที่ 17 กราฟ Full-log ของผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 150°C

Full-log comparison for different temperature



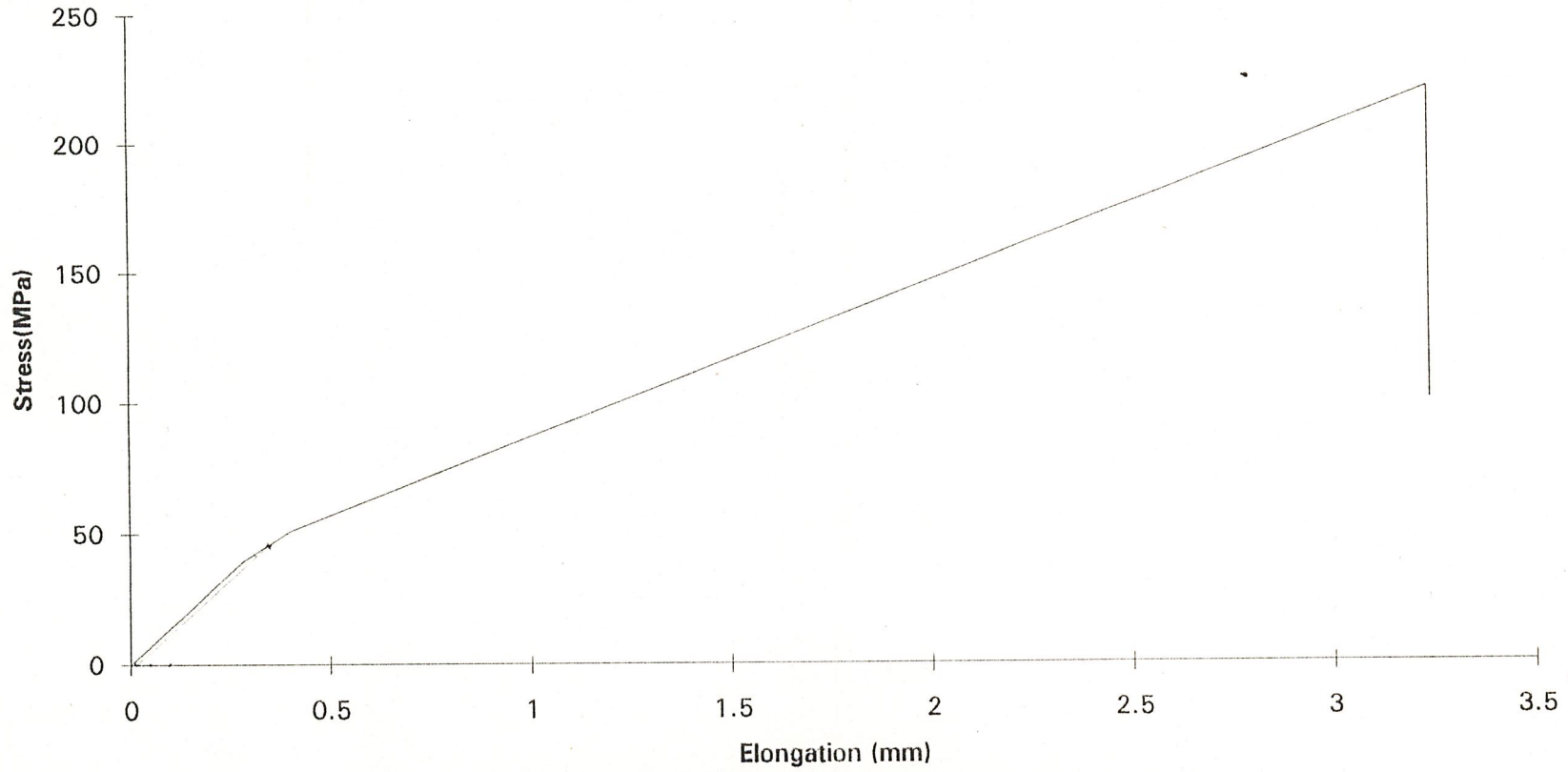
รูปที่ 18 กราฟ Full-log แสดงการเปรียบเทียบของผลการทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆ

การทดสอบแรงดึง(tensile testing)

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งแรงพื้นฐานของวัสดุ วิธีการทดสอบ คือ นำชิ้นงานมาผ่านการกลึงด้วยเครื่อง CNC ให้ได้ขนาดตามที่มาตรฐานกำหนด จากนั้นนำมาประกอบเข้ากับตัวเครื่องทดสอบ โดยเลือกใช้หัวจับแบบดึง(tensile) กำหนดค่าสภาวะต่างๆในการทดสอบดังนี้

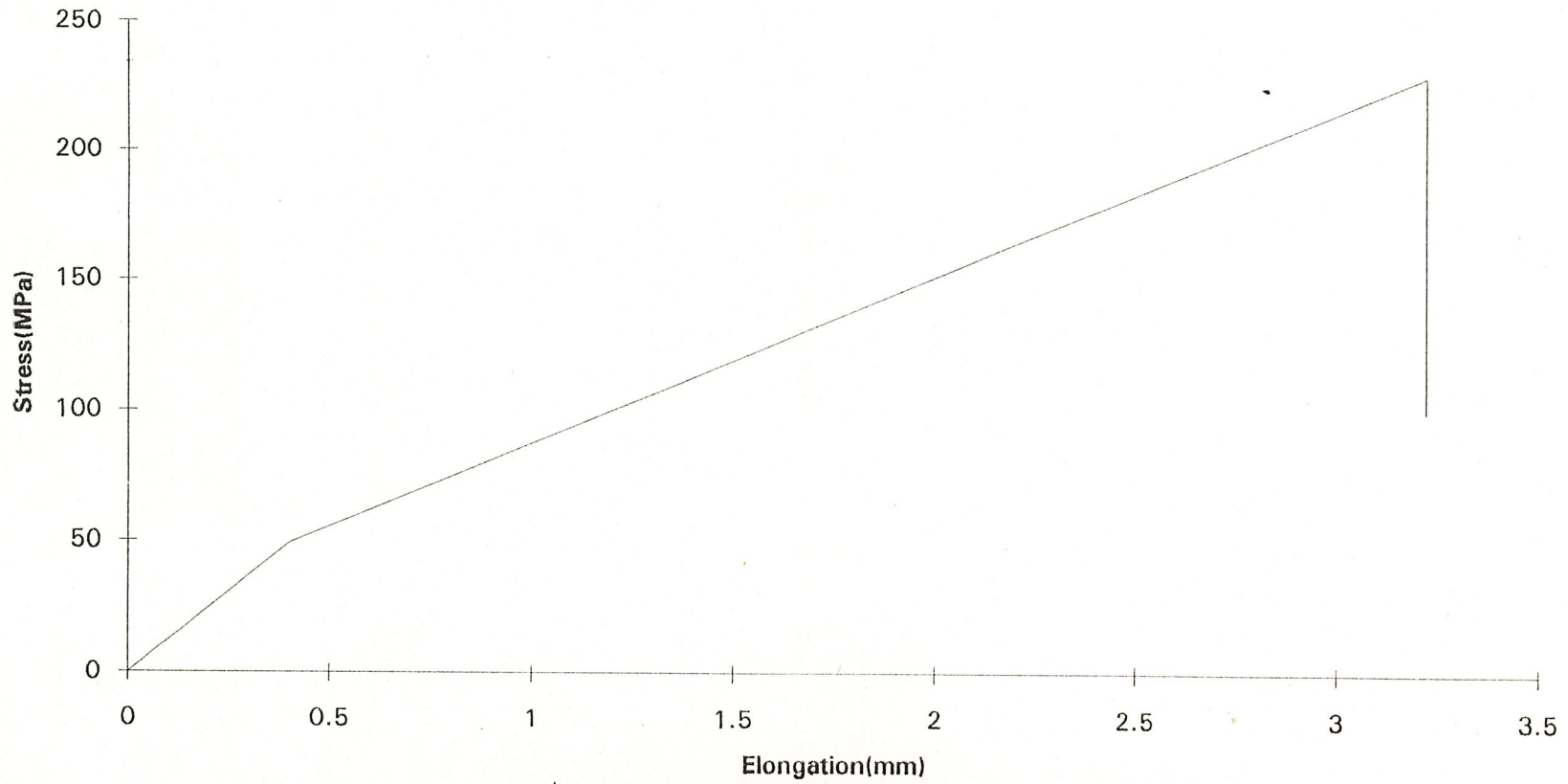
1. TEST MODE	SINGLE TENSION
2. TEST SPEED	5.0000 MM/MIN (1/1)
3. TRAVERSE SPEED	500.00 MM/MIN
4. RETURN POSITION	100.00 MM
5.	STOP
6. RECORDER MODE	X-P
7. X-AXIS	LOAD
8. LOAD CELL	10000 KGF
9. F/S LOAD	2000.0 (* 5) KGF
10. CHART RATIO	10.000
11. CHART MODE	FORWARD UP CONNECT

Tensile test sample1



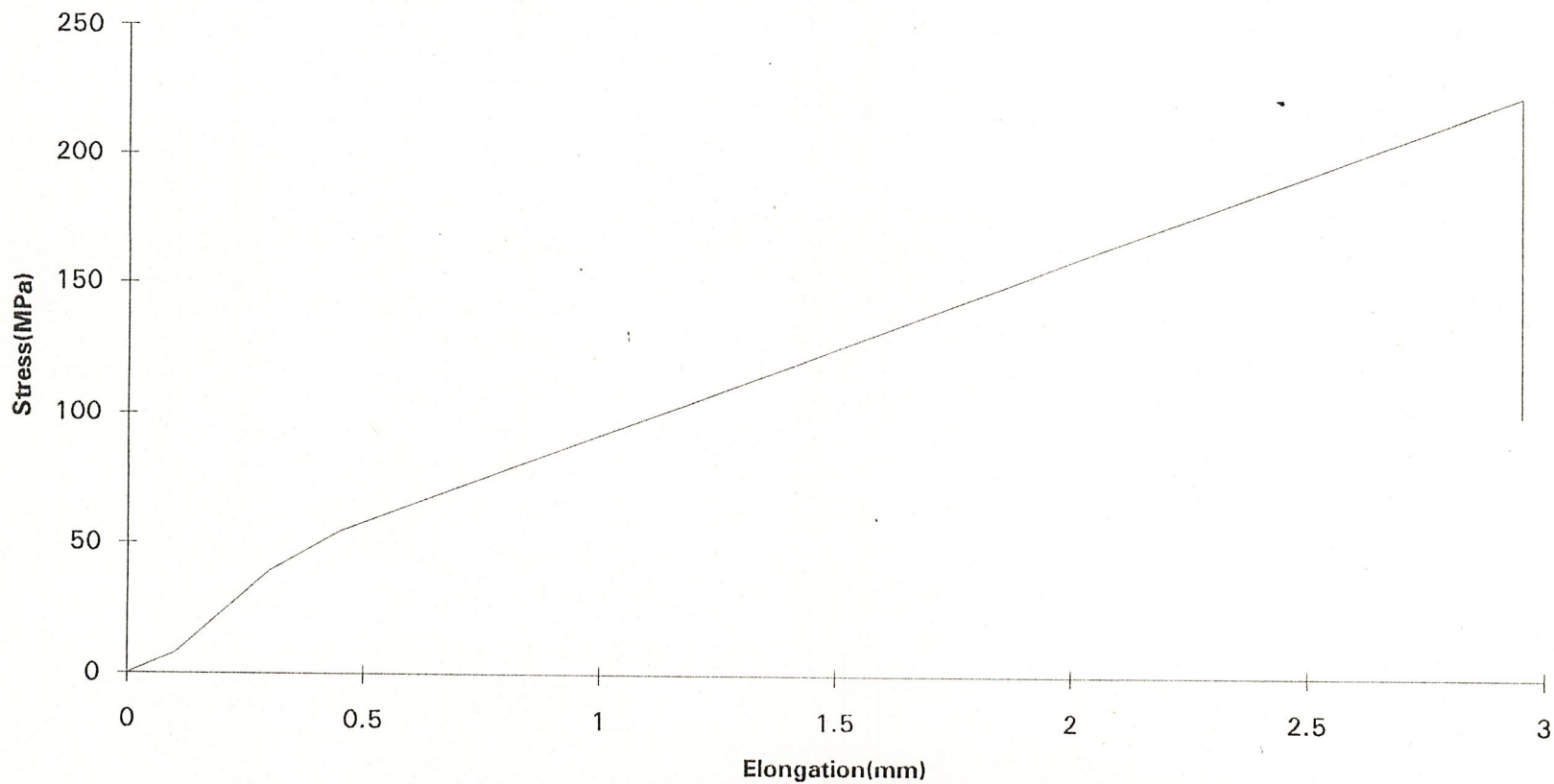
รูปที่ 19 กราฟแสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างที่ 1

Tensile test sample2



รูปที่ 20 กราฟแสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างที่ 2

Tensile test sample3



รูปที่ 21 กราฟแสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างที่ 3

การตรวจสอบความหยาบของผิว (Roughness Testing)

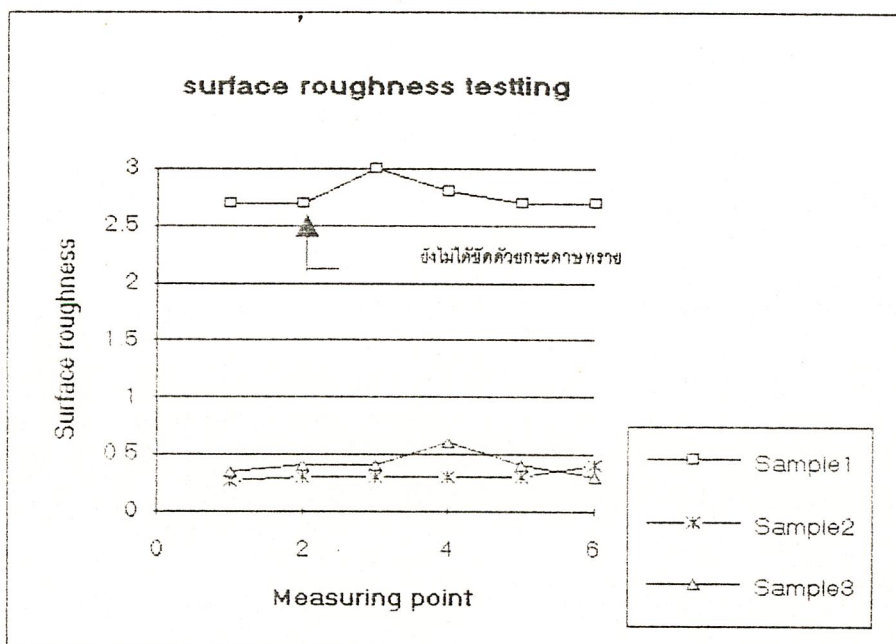
ความหยาบของพื้นผิวชิ้นงานมีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงานอย่างมาก เนื่องจากบริเวณที่พื้นผิวขรุขระจะเป็นบริเวณที่ได้รับความเค้นจากแรงภายนอกสูง เป็นจุดกำเนิดของรอยร้าวได้ง่าย ซึ่งมีผลทำให้ชิ้นงานดังกล่าวเสียหายได้ง่าย

เนื่องจากในกรรมวิธีเตรียมชิ้นงาน จะต้องผ่านการตัด และการขัด ซึ่งกรรมวิธีเหล่านี้ทำให้ชิ้นงานเกิดรอยขีดข่วนขึ้นได้ และมีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงาน ดังนั้นเมื่อได้ขนาดของชิ้นงานตามมาตรฐานแล้ว ก่อนที่จะนำไปทำการทดสอบเราจึงจำเป็นต้องทำการขัดชิ้นงานดังกล่าวด้วยกระดาษทรายก่อน

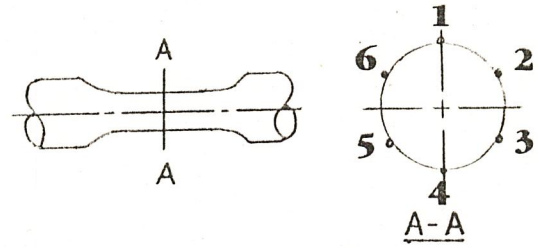
ในการทดสอบความหยาบของผิว จะได้จากการเลือกสุ่มชิ้นงานจากชิ้นงานที่ขัดเรียบร้อยแล้ว นำไปวัดค่าความหยาบละเอียดของผิวด้วยเครื่องทดสอบความหยาบ

Surface roughness testing

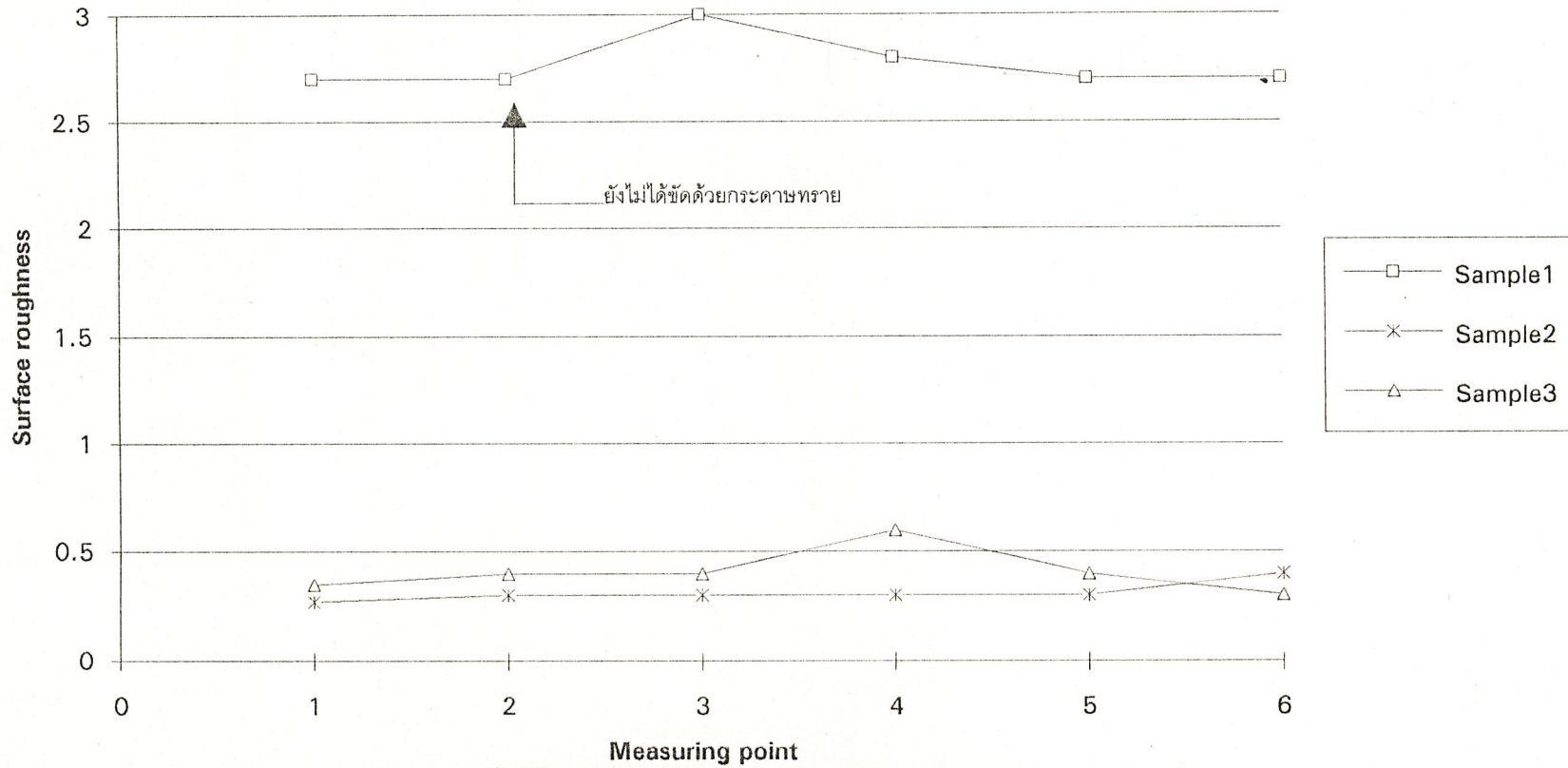
Point	Sample1	Sample2	Sample3
1	2.7	0.27	0.35
2	2.7	0.3	0.4
3	3	0.3	0.4
4	2.8	0.3	0.6
5	2.7	0.3	0.4
6	2.7	0.4	0.3



รูปที่ 22 แสดงกราฟและตารางผลการทดสอบความระเอียดของผิว



surface roughness testing



รูปที่ 23 แสดงกราฟผลการทดสอบความระเอียดของผิว

การตรวจสอบโครงสร้าง

เพื่อตรวจสอบดูโครงสร้างอย่างคร่าวๆของชิ้นงานที่ผ่านการทดลองที่อุณหภูมิต่างๆ โดยในการตรวจสอบ จะมีวิธีการเตรียมชิ้นงานและวิธีการตรวจสอบดังนี้

1. สุ่มเลือกชิ้นงาน โดยจัดแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มดังนี้

1.1 ชิ้นงานที่อุณหภูมิห้อง

1.2 ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 260 °c

1.3 ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 200 °c

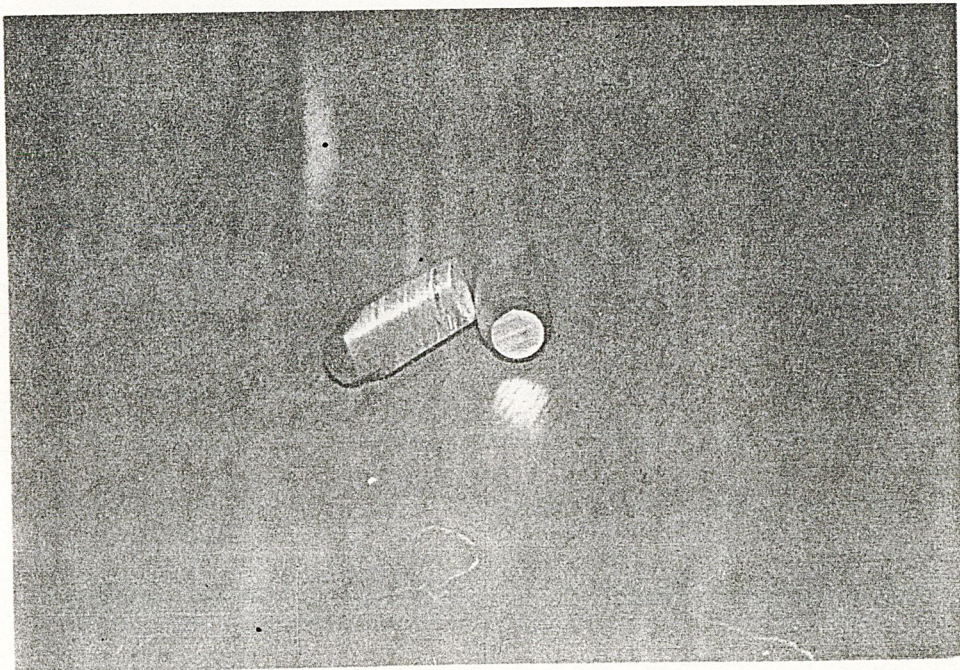
1.4 ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 150 °c

โดยในแต่ละกลุ่มจะเตรียมชิ้นงานโดยแบ่งออกเป็น

- ชิ้นงานตามขวาง

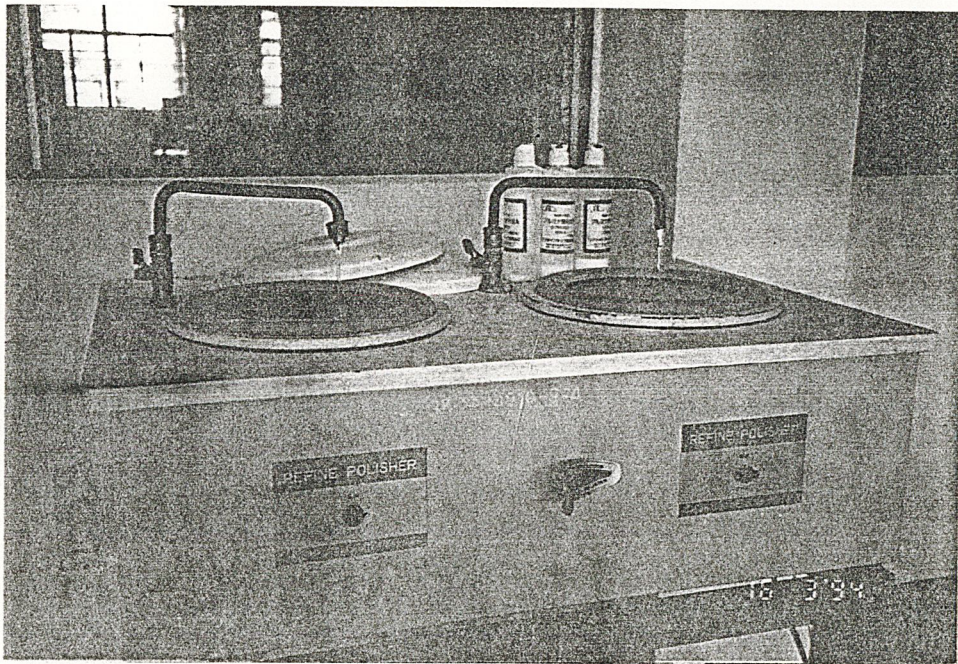
- ชิ้นงานตามยาว ดังรูป

(รวมทั้งหมด 16 ชิ้นงาน)



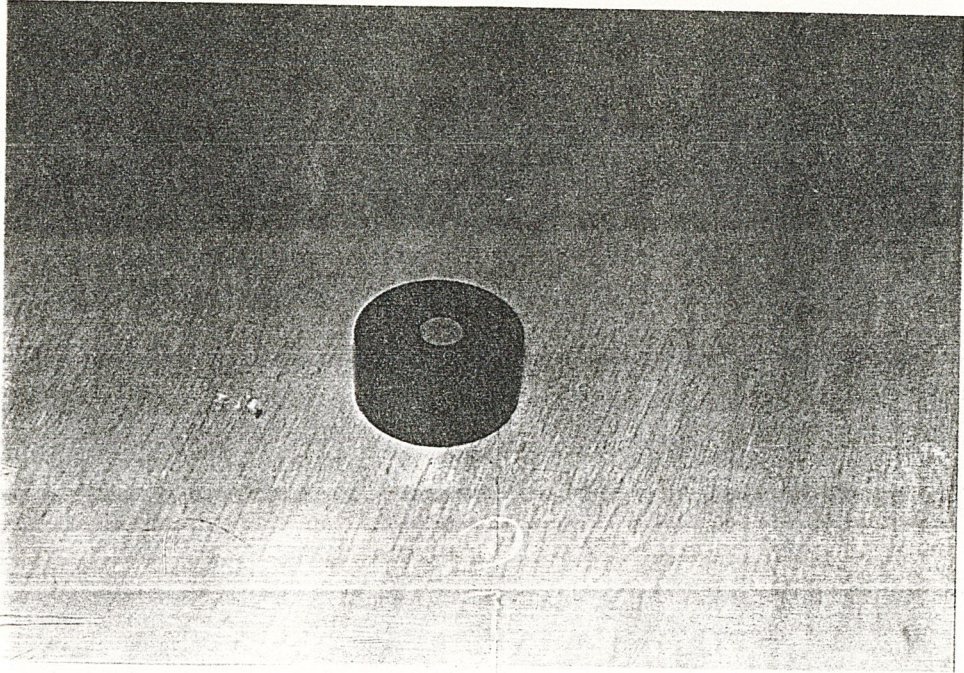
รูปที่ 24 แสดงชิ้นงานที่ตัดตามยาวและตามขวาง

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

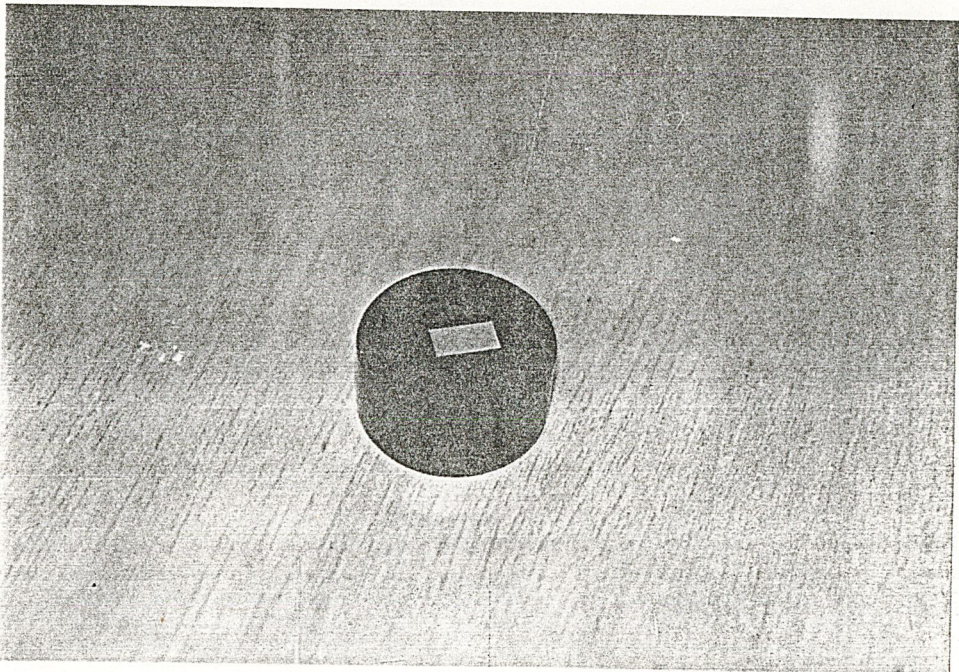


รูปที่ 25 ภาพของเครื่องขัดละเอียด

4. นำชิ้นงานที่ได้มาส่องด้วยกล้อง electron microscope
5. ถ่ายภาพโครงสร้างของชิ้นงาน



รูปที่ 26 ภาพถ่ายชิ้นงานโครงสร้างตามแนวขวาง

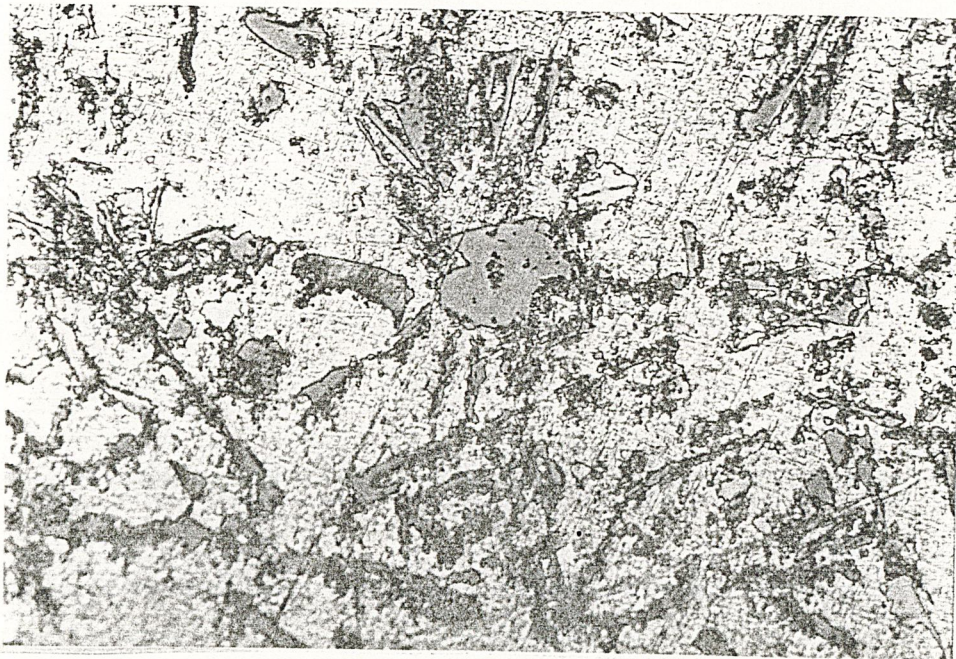


รูปที่ 27 ภาพถ่ายชิ้นงานโครงสร้างตามแนวยาว

ภาพถ่ายจุลโครงสร้างของชิ้นงาน



รูปที่28 ภาพขยายขนาด500เท่าของด้านตัดขวางของชิ้นงานที่ยังไม่ผ่านการทดสอบ



รูปที่29 ภาพขยายขนาด500เท่าของด้านตัดตามยาวของชิ้นงานที่ยังไม่ผ่านการทดสอบ



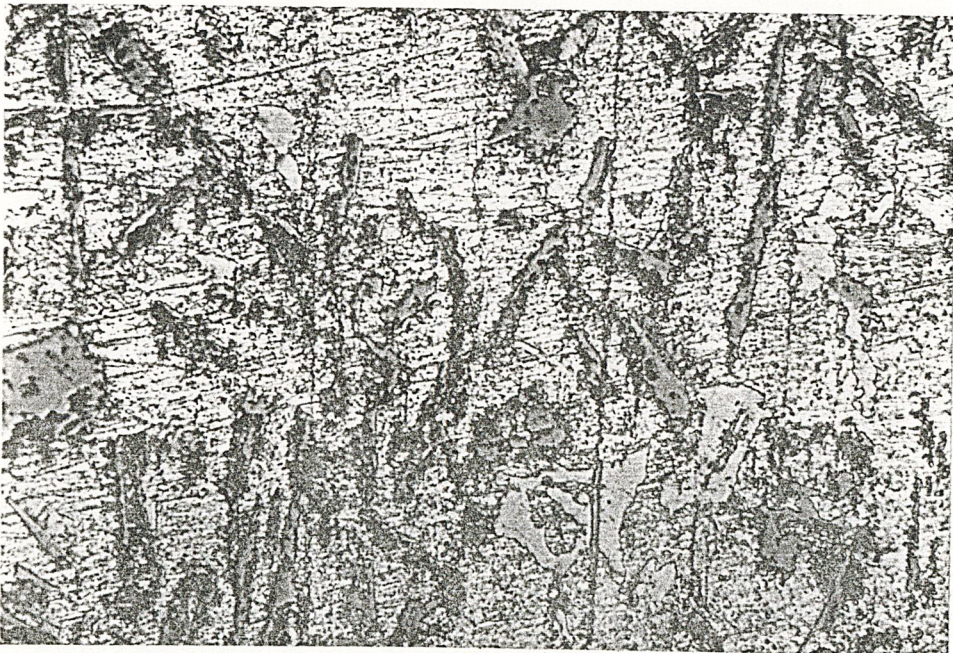
รูปที่30 ภาพขยายขนาด500เท่าของด้านตัดขวางของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ260°C



รูปที่31 ภาพขยายขนาด500เท่าของด้านตัดตามยาวของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ260°C



รูปที่32 ภาพขยายขนาด500เท่าของด้านตัดขวางของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 200°C



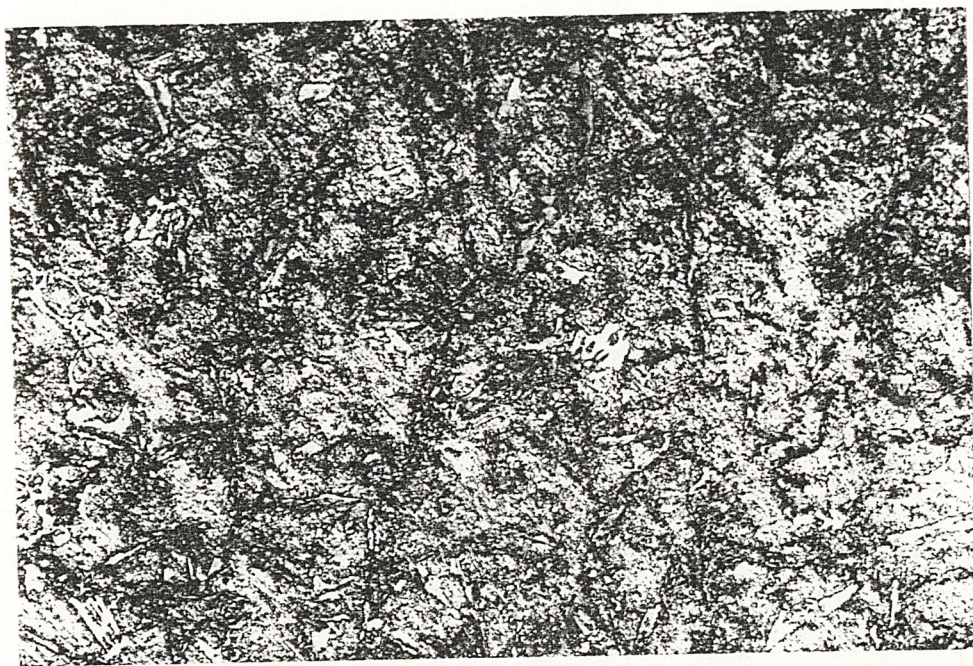
รูปที่33 ภาพขยายขนาด500เท่าของด้านตัดตามยาวของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 200°C



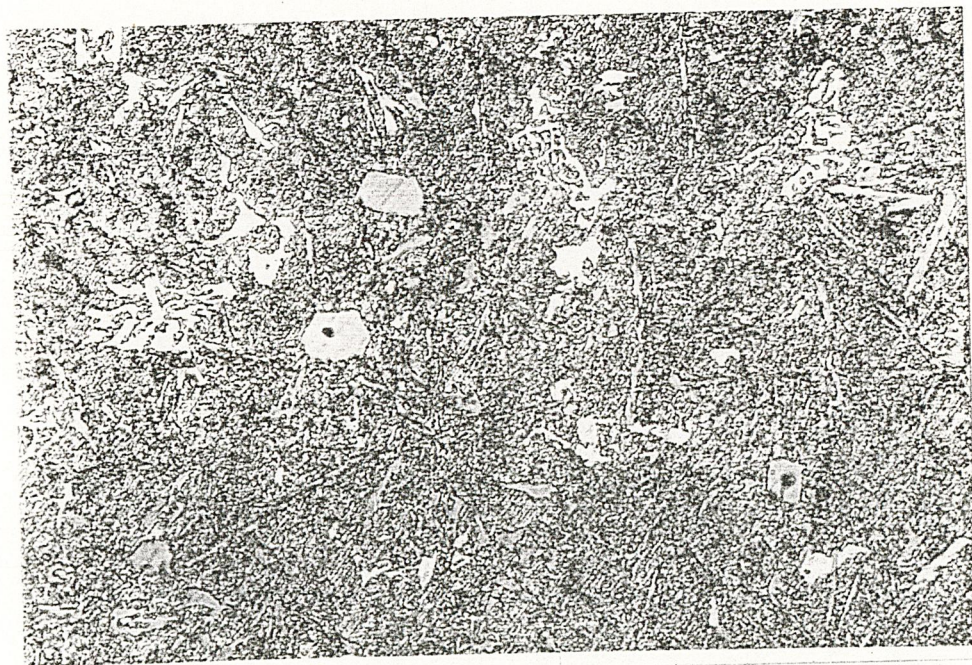
รูปที่ 34 ภาพขยายขนาด 500 เท่าของด้านตัดขวางของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 150°C



รูปที่ 35 ภาพขยายขนาด 500 เท่าของด้านตัดตามยาวของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 150°C



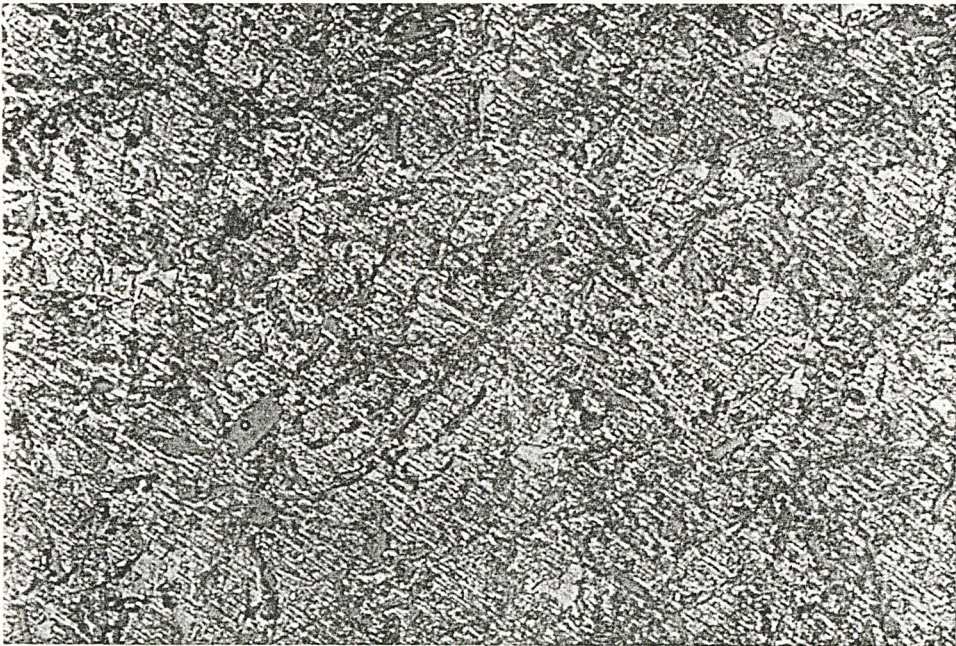
รูปที่36 ภาพขยายขนาด200เท่าของด้านตัดขวางของชิ้นงานที่ยังไม่ผ่านการทดสอบ



รูปที่37 ภาพขยายขนาด200เท่าของด้านตัดตามขวางของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ260°C



รูปที่38 ภาพขยายขนาด200เท่าของด้านตัดตามขวางของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ200°C



รูปที่39 ภาพขยายขนาด200เท่าของด้านตัดตามขวางของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ150°C



รูปที่40 ภาพขยายขนาด100เท่าของด้านตัดขวางของชิ้นงานที่ยังไม่ผ่านการทดสอบ



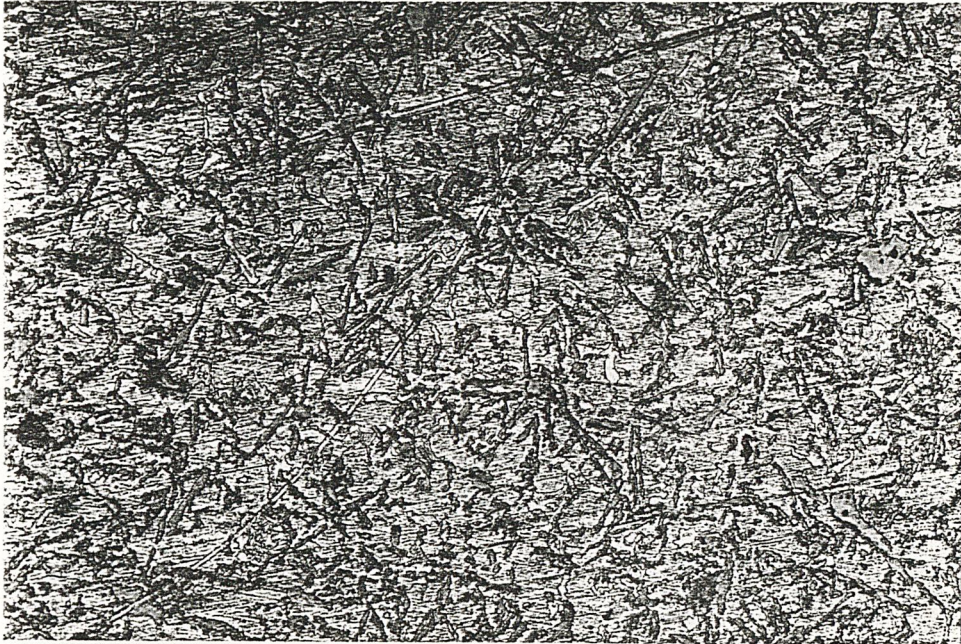
รูปที่41 ภาพขยายขนาด100เท่าของด้านตัดตามยาวของชิ้นงานที่ยังไม่ผ่านการทดสอบ



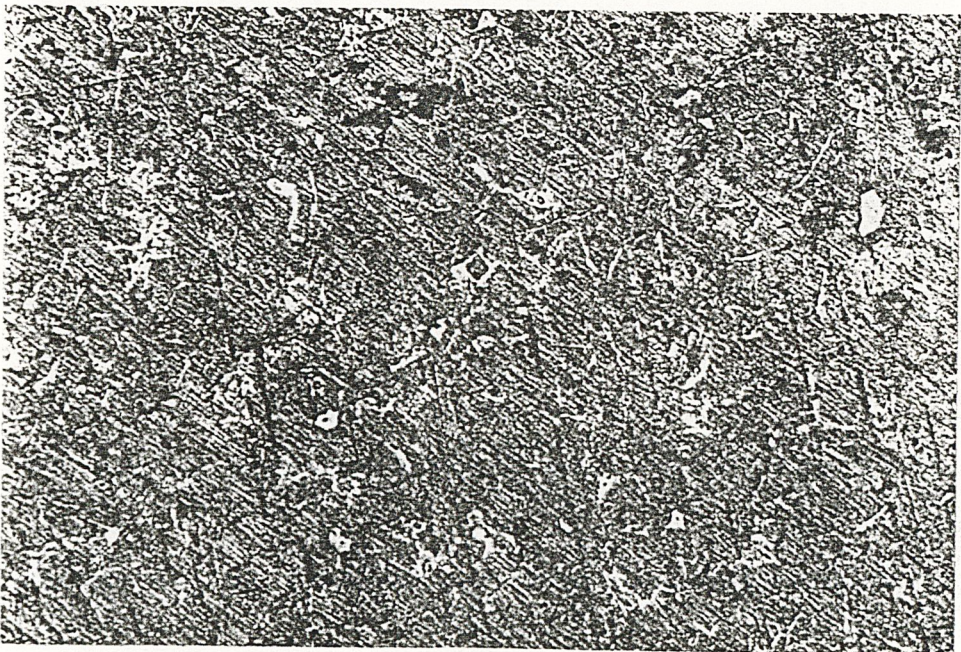
รูปที่42 ภาพขยายขนาด100เท่าของด้านตัดขวางของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ260°C



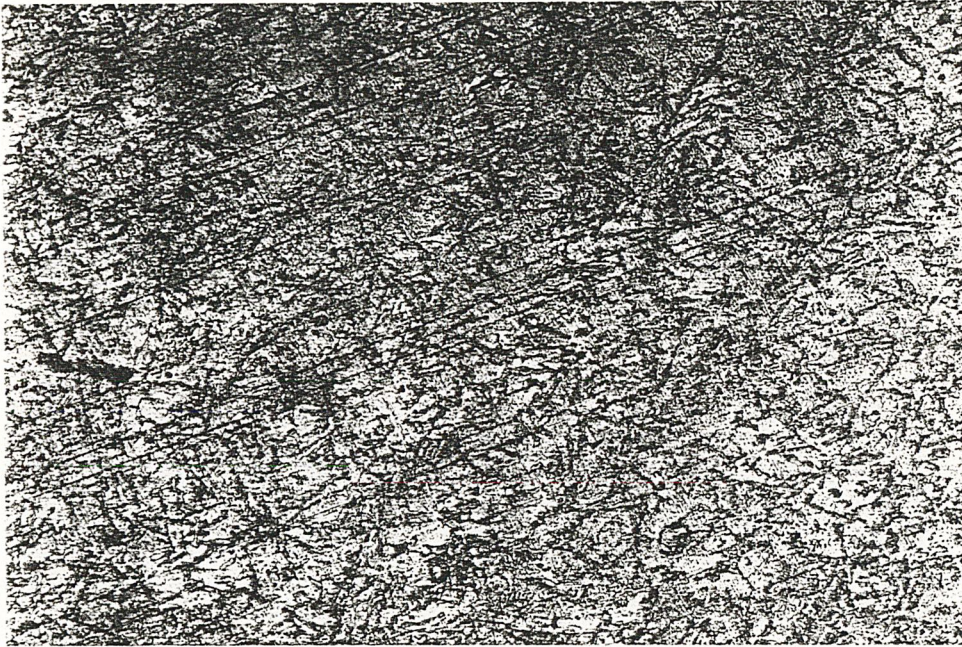
รูปที่43 ภาพขยายขนาด100เท่าของด้านตัดตามยาวของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ260°C



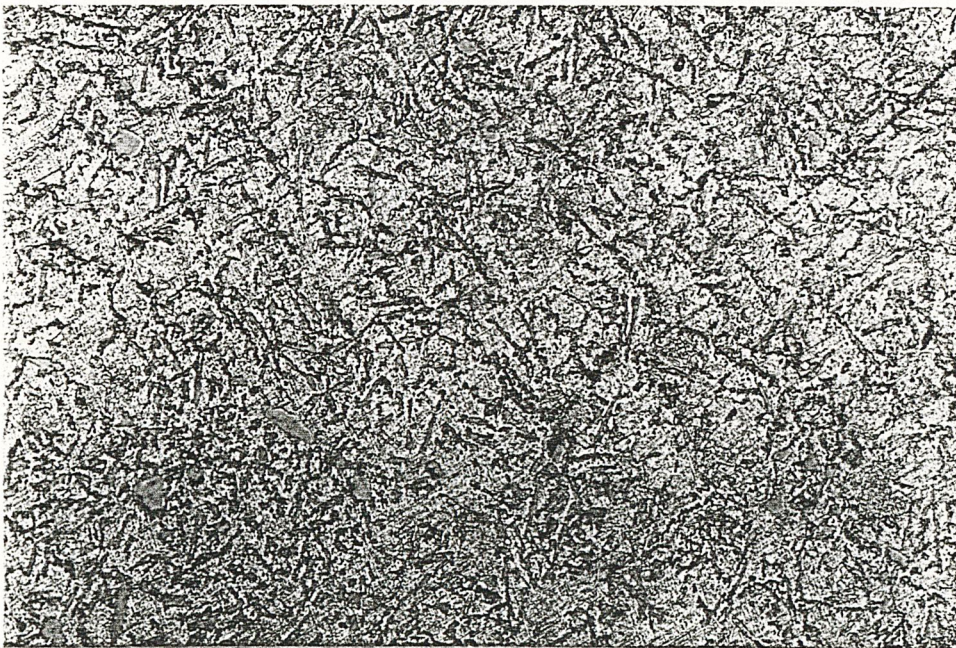
รูปที่44 ภาพขยายขนาด100เท่าของด้านตัดขวางของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 200°C



รูปที่45 ภาพขยายขนาด100เท่าของด้านตัดตามยาวของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ 200°C



รูปที่46 ภาพขยายขนาด100เท่าของด้านตัดขวางของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ150°C



รูปที่47 ภาพขยายขนาด100เท่าของด้านตัดตามยาวของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิ150°C

สรุปผลการทดลอง

1. การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ มีผลต่อความต้านทานการล้าของชิ้นงาน ดังจะเห็นได้จากรูปที่10, รูปที่14 และรูปที่18 ซึ่งเป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลจากการทดลองที่อุณหภูมิต่างกัน จะเห็นได้ว่าการทดลองที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะมีความต้านทานการล้าที่สูงกว่า การทดลองที่อุณหภูมิที่สูงกว่า

2. ผลจากทดสอบแรงดึง สามารถแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติพื้นฐานอย่างชัดเจนดังนี้

Ultimate Tensile Stress = 223.605 MPa

Proof Stress ที่ 0.2 % Strain = 52.87 MPa

Elongation โดยเฉลี่ย = 3.134 mm.

Elastic Young Modulus = 919 MPa

3. ผลจากการตรวจสอบโครงสร้าง สังเกตเห็นได้ว่า การกระจายของซิลิกอน ในเนื้ออลูมิเนียม ค่อนข้างสม่ำเสมอและโพรงที่เกิดขึ้นในเนื้ออลูมิเนียม มีค่อนข้างน้อย

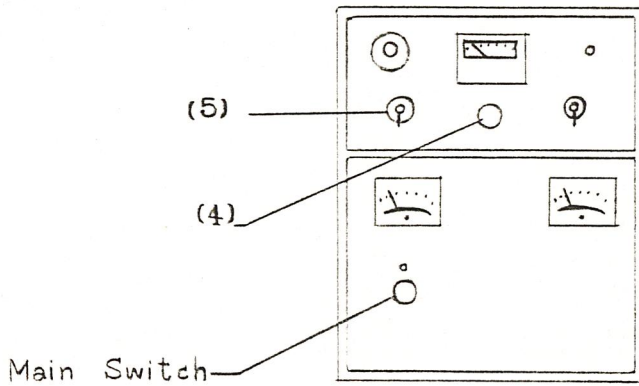
4. การตรวจสอบความละเอียดของพื้นผิว หากให้เห็นชัดว่า หลังจากการขัดด้วยกระดาษทรายแล้ว จะทำให้เนื้ออลูมิเนียมมีความละเอียดเพิ่มขึ้น และพื้นผิวที่ถูกขัดค่อนข้างจะมีความละเอียดที่สม่ำเสมอ คือประมาณ 0.3 ไมครอนเมตร

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. จากรูปพื้นผิวของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความล้าแล้ว จะมีลักษณะเป็นไปตามทฤษฎีคือสามารถแบ่งพื้นที่ความเสียหายได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ 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 ความละเอียดของผิวของชิ้นงานแต่ละชิ้นอาจจะไม่เท่ากัน เนื่องจากใช้วิธีขัดด้วยมือ
 - 2.3 ระหว่างการตั้งอุณหภูมิ บางครั้งอุณหภูมิก่อนเข้าสู่จุดที่เราตั้งไว้อาจจะสูงมากเกินไป ทำให้โครงสร้างเปลี่ยนแปลงและอ่อนแอลง (เนื่องจากระบบ Close loop control ของเครื่องตั้งอุณหภูมิไม่มีความละเอียดพอ)
 - 2.4 ภาพของจลโครงสร้างไม่ชัดเจน เนื่องจากการขัดที่ไม่ได้ระนาบซึ่งจะมีผลสูงมากต่ออัตราการขยายที่มีกำลังขยายสูงมาก
3. เนื่องจากอุณหภูมิเนื้อมชนิดนี้ เกิดจากการหล่อที่มีการเย็นตัวในทุกทิศทางเข้าสู่จุดศูนย์กลาง ดังนั้นเนื้อมชนิดจะมีเม็ดเกรนที่ละเอียดมาก ซึ่งทำให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลต่อความต้านทานการล้ามาก เนื่องจากสาเหตุดังนี้
 - 3.1 ที่อุณหภูมิสูงขึ้น อะตอมและอิเล็กตรอนจะได้รับพลังงานมากขึ้น ทำให้โครงสร้างเกิดการสั่นไหวมากขึ้น มีผลให้พันธะยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมลดลง
 - 3.2 เกิดการเลื่อน (slide) ระหว่างผลึกหรือเม็ดเกรน เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิมีผลทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างผลึกลดลง โดยเฉพาะเนื้อมชนิดนี้มีเม็ดเกรนที่ละเอียด ดังนั้นจะมีผลึกมาก หรือมีขอบเกรนเยอะ ทำให้มีผลต่อความต้านทานการล้าของโลหะชนิดนี้มาก

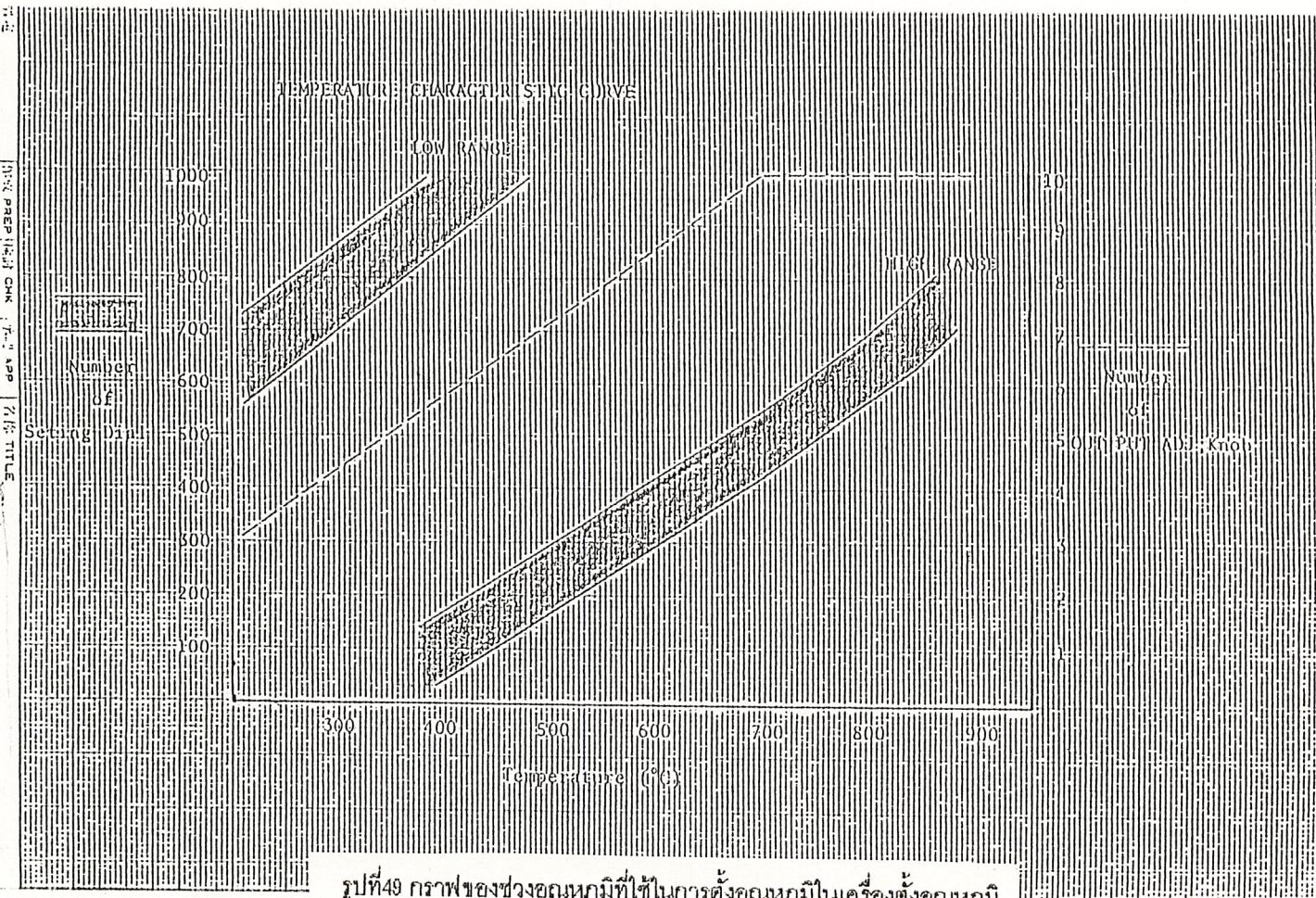
ภาคผนวก

การตั้งอุณหภูมิ



รูปที่ 48 แสดงภาพของเครื่องตั้งอุณหภูมิ

1. เปิด Main Switch ใบบที่หมายเลข 2
 - 1) หมายเลข 1 ทำงานตลอดเวลา
 - 2) หมายเลข 2 หยุดเมื่อ Limit Switch ทำงาน
2. เปิด Output adjust (4) ไปจนสุด
3. ปรับสวิตช์ (5) ไปที่ Low (อุณหภูมิ 100-400 ปรับ Low, อุณหภูมิ 400-800 ปรับ heigh) พร้อมทั้งหมุน temp set fine (6) ไปยังตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ต้องการ (โดยดูจากกราฟที่ A1) การทดลองครั้งนี้ใช้อุณหภูมิที่ 260°C ปรับไปที่ประมาณ 650°C low.
4. เมื่ออุณหภูมิใกล้ถึงที่ต้องการ (ประมาณ $5-10^{\circ}\text{C}$ ก่อนถึง) ให้ลด Output adjust (3) ลงมาจนอยู่ที่ตำแหน่งที่เหมาะสมกับอุณหภูมิ (ดูกราฟรูปที่ A1)
5. ปรับอุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการโดยใช้ Temp set fine (6) 1 ช่องใน Temp set fine จะปรับอุณหภูมิประมาณ $0.4-0.5^{\circ}\text{C}$
6. สังเกตกระแสที่ Control current amp meter จะต้องมีค่าอยู่ประมาณ 3-6 mA



รูปที่ 49 กราฟของช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการตั้งอุณหภูมิในเครื่องตั้งอุณหภูมิ

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								

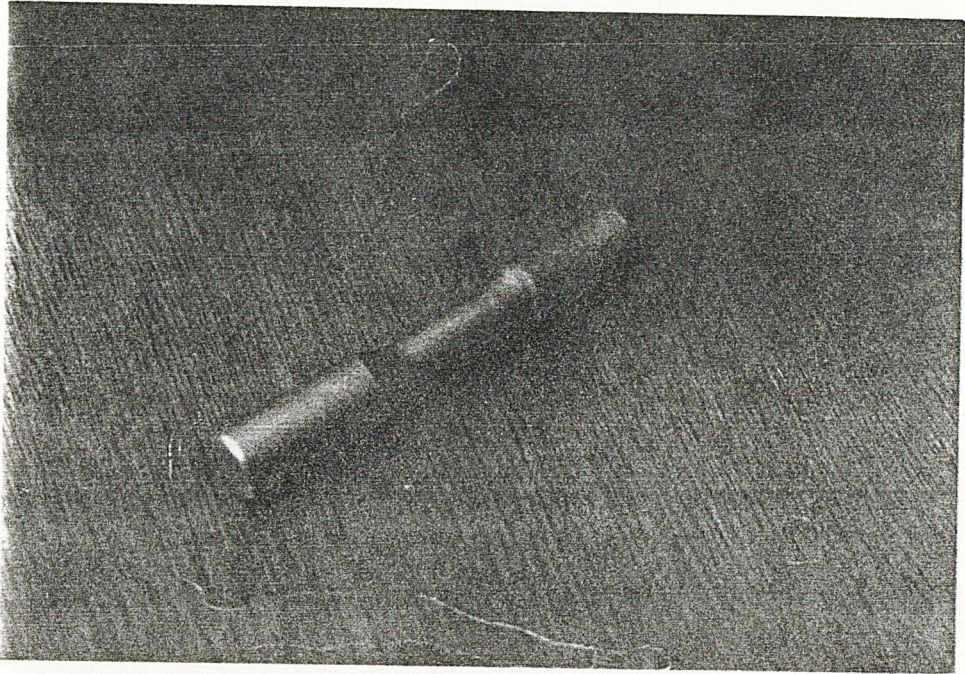
โปรแกรมคลังสินค้าทดสอบความต้านทานการล่า

N	G	X	Z	F
00	M03			
01	00	-400	-400	
02	00	-150	0	50
03	01	0	-9000	
04	00	0	9000	
05	00	-52	0	
06	95			
07	01	0	-1000	30
08	00	0	20	
09	M05			
10	M00			
11	M03			
12	00	0	-20	30
13	01	0	-1550	50
14	01	0	-2900	30
15	01	0	-3550	
16	00	52	0	
17	00	0	3400	
18	00	-50	0	
19	01	-50	400	40
20	01	0	2200	40
21	01	50	400	40
22	01	-100	-400	40
23	01	0	-2200	40
24	01	100	-400	
25	00	0	400	
26	00	-100	0	40
27	01	-50	250	40
28	01	0	1700	40
29	01	50	250	
30	00	100	0	
31	00	0	-2600	
32	03	-200	730	10
33	M99	11232	K730	
34	01	0	1540	10
35	03	200	730	10
36	M99	11432	K0	
37	00	100	0	
38	00	0	-5400	
39	00	-100	0	
40	01	-50	-100	10
41	01	50	-100	10
42	00	100	0	
43	00	0	8000	
44	00	-100	0	

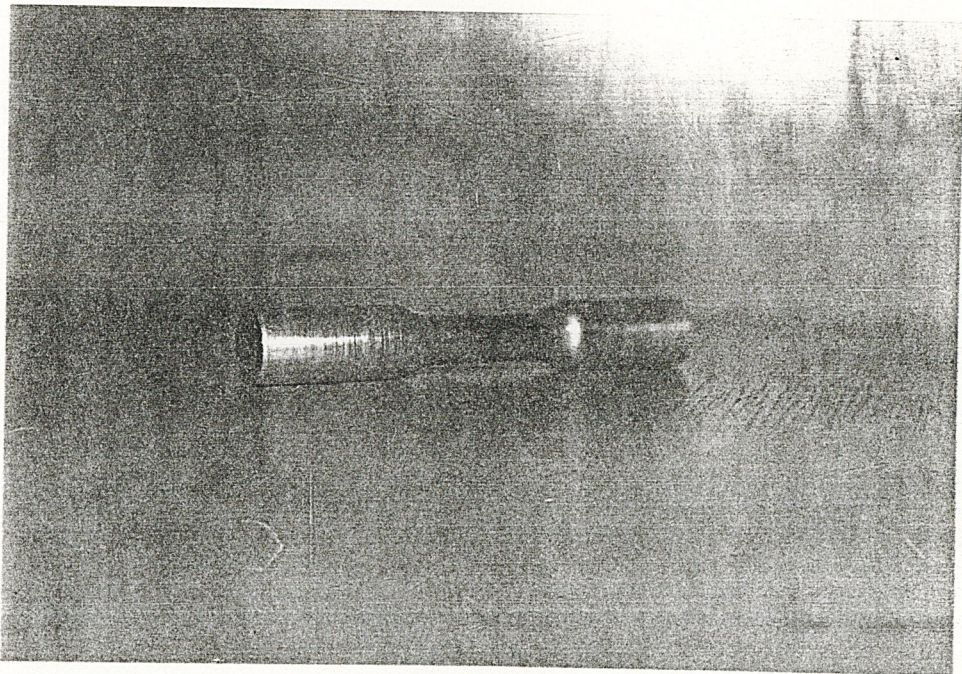
N	G	X	Z	F
45	01	-50	100	10
46	00	350	0	
47	00	300	1500	
48	M05			
49	M30			

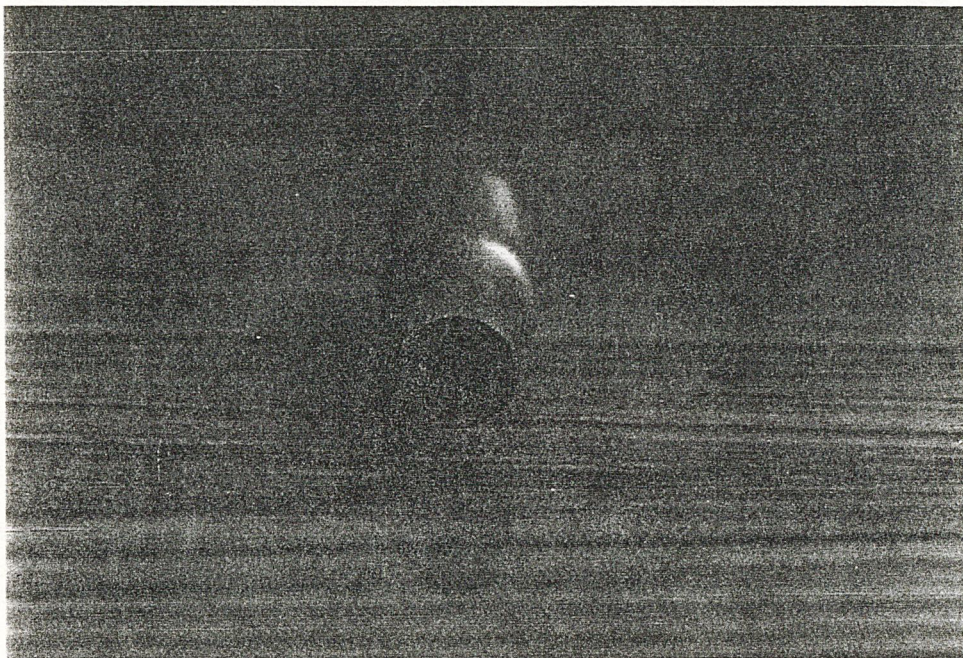
โปรแกรมกลิ้งชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึง

N	G	X	Z	F
00	M03			
01	00	-400	-400	
02	00	-100	-2800	
03	95			
04	01	-50	-200	40
05	01	0	-2260	40
06	01	50	-200	40
07	01	-100	300	40
08	01	0	2060	40
09	01	100	300	40
10	01	-150	-400	40
11	01	0	-1860	40
12	01	150	-400	40
13	00	0	400	
14	00	-150	0	
15	01	-50	100	40
16	01	0	1660	40
17	01	50	100	40
18	00	0	-100	
19	00	-50	0	
20	01	-50	-200	40
21	01	0	-1260	40
22	01	50	-200	40
23	00	200	0	
24	00	0	-500	
25	03	-300	930	02
26	M99	I1300	K930	
27	01	0	800	02
28	03	300	930	02
29	M99	I1600	K0	
30	00	100	0	
31	00	0	-5260	
32	00	-100	0	
33	01	-50	-100	10
34	01	50	-100	10
35	00	100	0	
36	00	0	8060	
37	00	-100	0	
38	01	-50	100	10
39	00	400	0	
40	00	150	500	
41	M05			
42	M30			

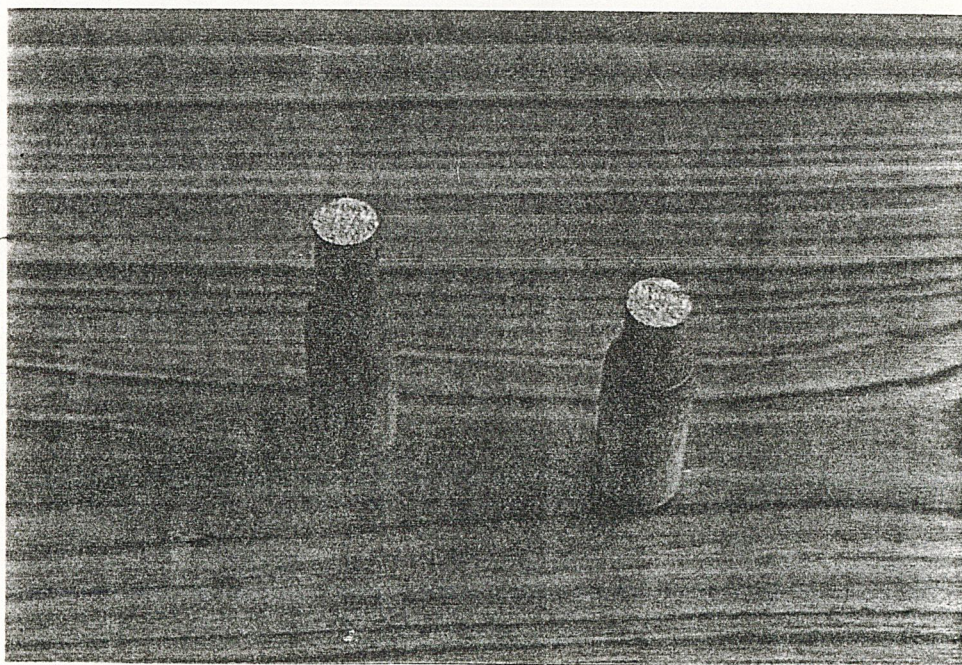


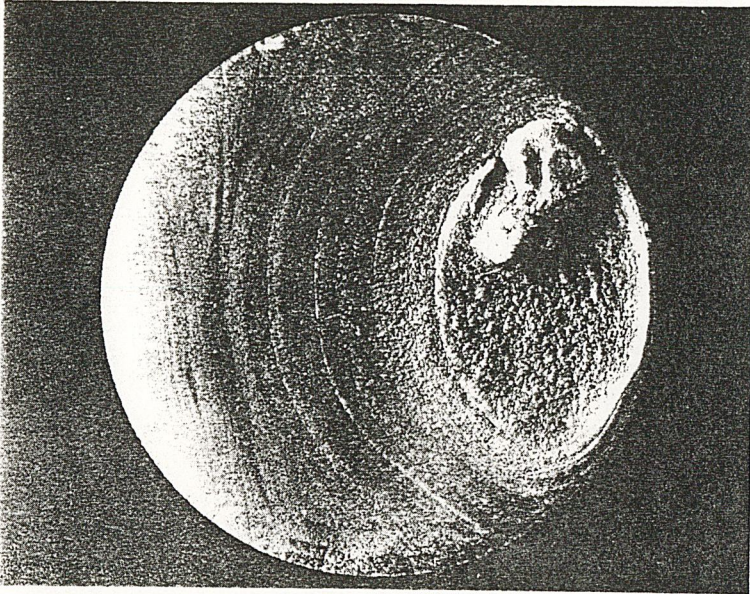
รูปที่50และรูปที่51 ภาพถ่ายชิ้นงานก่อนการทดสอบ





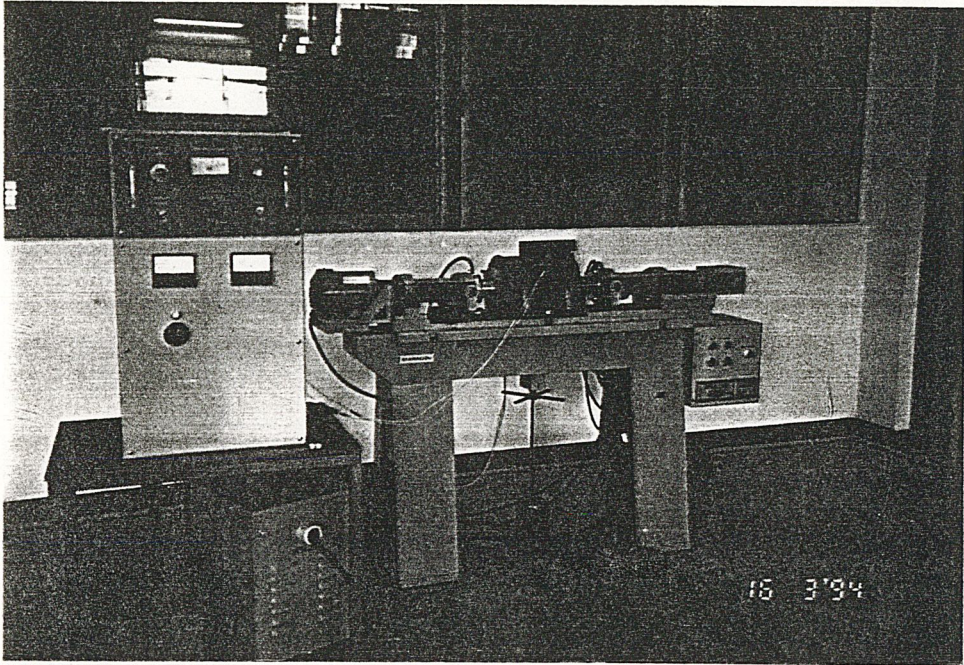
รูปที่52และรูปที่53 ภาพถ่ายชิ้นงานหลังการทดสอบ



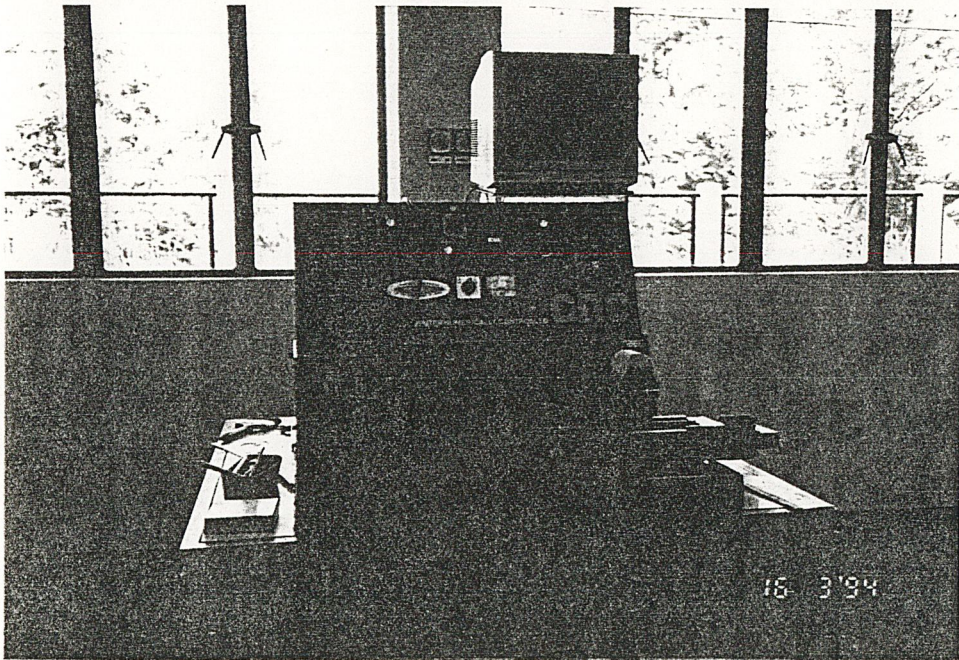


รูปที่ 54

Macroscopic view of a fatigue fracture surface of a steel axle showing clamshell marking and region of final fracture (axle supplied by D.K. Felbeck, photograph through the courtesy of W.H. Durrant).



รูปที่ 55 ภาพถ่ายเครื่องทดสอบความถี่แบบหมุนตัด



รูปที่ 56 ภาพถ่ายเครื่องกลึง CNC

กิติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

ผศ. พรรคศักดิ์ อรรถวานิช ที่ช่วยให้คำปรึกษาและความรู้ต่างๆ
 คุณมณฑาทิพย์ เทียมเมือง ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี
 พี่วรศักดิ์ ชูจิตติพงษ์ ที่ช่วยให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่างๆ
 อมรรัตน์ ต้นกิจเจริญ เพื่อนนักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาคอมพิวเตอร์
 เพื่อนๆทุกคน ที่ช่วยให้ความบันเทิงต่างๆในเวลาที่พวกผมเหนื่อย
 จากการทำงาน
 เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาเครื่องกลทุกท่าน

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. Holmen, 1989
5. JIS hand book, Non Furrous Metals, 1986
6. คู่มือเครื่อง Uno's high temperature rotating bending fatigue testing machine