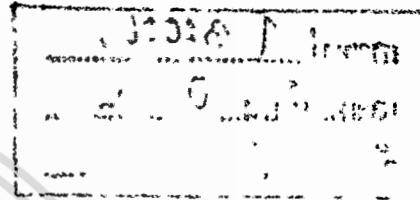




ปีการศึกษา 2532



ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรศักดิ์ อรรถวานิช

ปริญญาโทปีการศึกษา 2532

เรื่อง เครื่องทดสอบและหาการล้าของวัสดุ

โดย นายวีรวุฒิ ธนธีรโชติ

นางสาวสุนิสา กุวิไลวัฒนกิจ

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.พรศักดิ์ อรรถวานิช

### บทคัดย่อ

เครื่องทดสอบหาค่าความล้าของวัสดุ (Rotating Bending Machine) ได้มีการจัดสร้างขึ้น เพื่อทดสอบความถูกต้องของทฤษฎีการล้าของวัสดุ และหาค่า S-N curve ที่สามารถทดสอบขึ้น ได้จริง ผลของการทดสอบได้ผลเป็นที่น่าพอใจพอสมควร และถูกต้องตามทฤษฎีแต่เนื่องจากการ ทดสอบแต่ละครั้งของวัสดุหนึ่ง ๆ ต้องใช้เวลานานมาก จึงได้จุด (Plot) บน S-N curve น้อย

### Abstract

Rotating Bending Machine was built to test correction of the theory "The reversed bending fatigue" and used for measuring the value of S-N curve. The results are properly satisfy and correcting along the theory. But in a one test, normally spends very long time so, Plots and S-N curves can gain only few.

สารบัญ

หน้า

1) บทคัดย่อ	2
2) สารบัญ	3
3) บทนำ	4
4) เนื้อหาภาคทฤษฎี	5
5) เนื้อหาภาคคำนวณ	18
6) ผลการทดลอง	26
7) ตารางของโลหะที่นำมาทดสอบ	27
8) เอกสารอ้างอิง	35
9) กิตติกรรมประกาศ	36



## บทนำ

เครื่องทดสอบและหาการล้าของวัสดุ จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการศึกษา Project I,II ปีการศึกษา 2532 เป็นเครื่องทดสอบแบบ "R.R Moore reversed - bending fatigue machine" ซึ่งจะทดสอบหาการล้าของวัสดุ ภายใต้ภาวะ "Rotating Bending Fatigue" ทำการศึกษาและสร้างเสริมภายในภาคการศึกษาแรก ส่วนการทดสอบตลอดจนสรุปผลนั้นได้ทำอย่างต่อเนื่องในภาคเรียนที่ 2 วิทยาลัยแห่งนี้ถ้ามีข้อผิดพลาดและต้องแก้ไขประการใดของให้แจ้ง (คณะผู้จัดทำทราบ) ด้วยจักเป็นพระคุณยิ่ง

คณะผู้จัดทำ

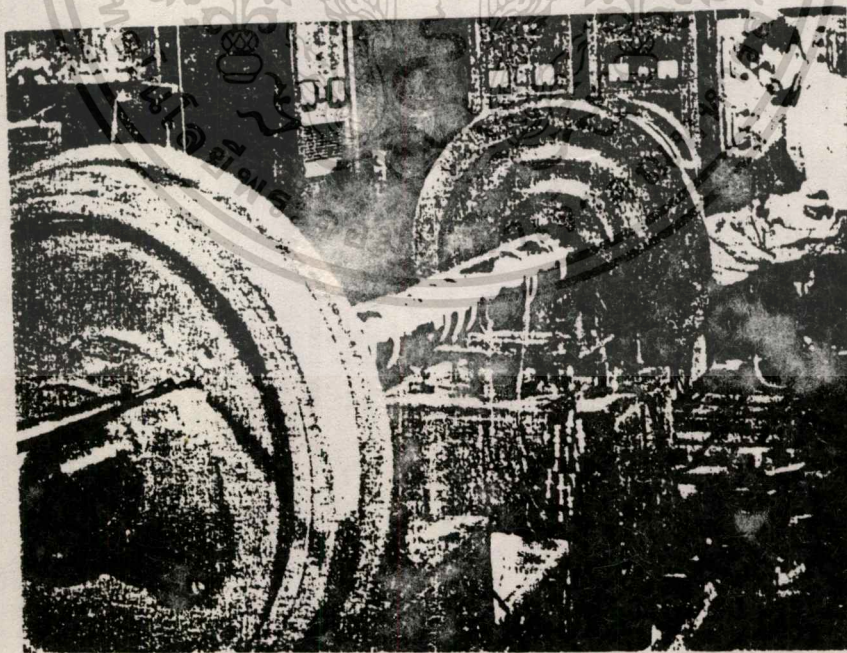


## เครื่องทดสอบและหาการล้าของวัสดุ

การล้าของวัสดุ (Fatigue Failure) คือการที่วัสดุถูกกระทำภายใต้ความเค้นซ้ำแล้วซ้ำเล่า เป็นวัฏจักร (Cycle) จนกระทั่งถึงเวลาหนึ่งจะเกิดการชำรุดเสียหาย ตัวอย่างของชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่มักเกิดการล้า เช่น เฟือง (gear) ซ็อกต้อ (connecting rods) และเพลา (shaft) เป็นต้น โดยทั่วไปจะพบว่าความเสียหายของเครื่องจักรกลในอุตสาหกรรมนั้น 80% เป็นการเสียหายเนื่องมาจากการล้า

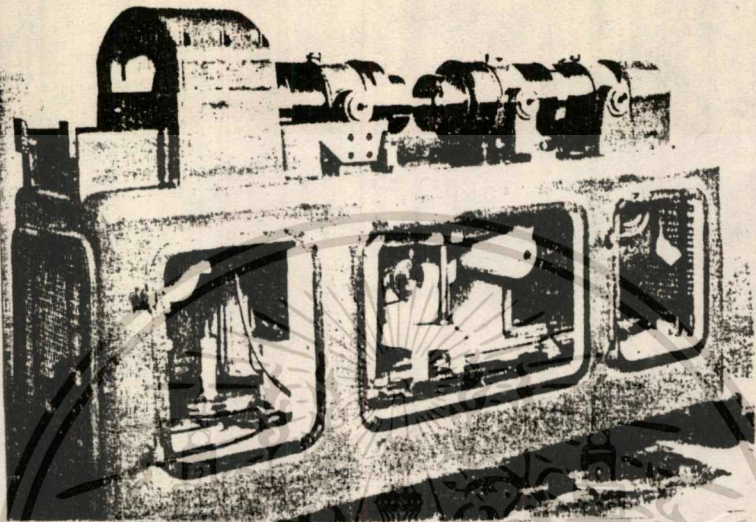
### ประเภทของความเค้น (Type of Fatigue Stress)

1. Direct Stress เป็นแบบของความเค้นที่ง่ายที่สุด การทดสอบทำได้ด้วยการนำเอาวัสดุมากระทำภายใต้การดึงและการอัด (tension or compression) ตลอดระยะเวลาความยาวและจะทำให้เกิดการกระจายของความเค้นไปตลอดหน้าตัด ตัวอย่างเช่น ซ็อกต้อ (Connection-rods) ที่รองรับความเค้นของระบบจุดระเบิดเครื่องยนต์สันดาปภายใน
2. Plane Bending ชิ้นงานที่ถูกทดสอบจะถูกทำให้ก้มงอซ้ำแล้วซ้ำเล่า จนกระทั่งถึงการหักพัง ตัวอย่างเช่น Leaf-Spring ของพาหนะต่างๆ
3. Rotating Bending ชิ้นงานที่ถูกทดสอบจะถูกทำให้หมุนขณะเดียวกันก็เกิดการก้มงอด้วย ตัวอย่างเช่น เพลาของล้อที่กำลังหมุนของเครื่องยนต์



รูปที่ 1 เครื่องมือทดสอบ rotating bending fatigue ของรางรถไฟ

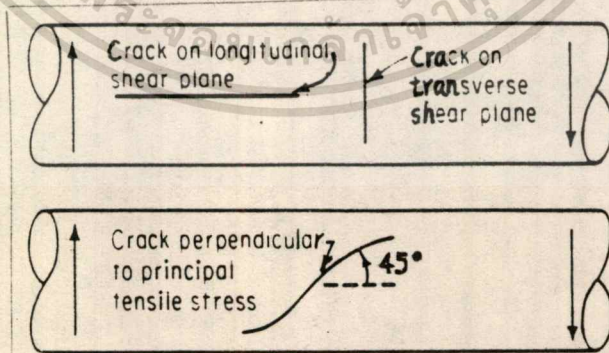
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 "N.E.L. rotating beam fatigue machine"

เส้นผ่าศูนย์กลางที่งานทดสอบ 2 นิ้ว

- 4) Torsion ความเค้นจะกระทำต่อชิ้นงานจะถูกตรึงแน่น 2 ข้าง ข้ำแล้วข้ำเล่า จนกระทั่งหักพัง ตัวอย่างเช่น ความเค้นที่เกิดขึ้นภายใน Helical-Spring

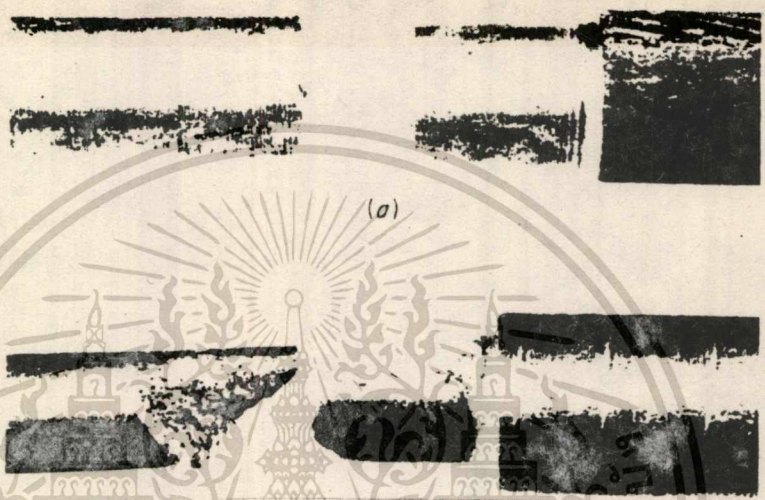


รูปที่ 3 Torsional fatigue can develop parallel to the principal shear stresses (top), or perpendicular to the principal tensile stresses (bottom), (Form D.J.Wulpi,

"How Components Fail," American Society for Metals,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า Metais Park, Ohio, 1966.)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 (a) Transverse shear failure in a 1045 steel bar tested in torsion. (b) Tensile-type failure along a spiral angle in a gray cast-iron bar tested in torsion.

5) Combine Stress เป็นแบบของความเค้นที่รวมเอาความเค้น ทั้ง 4 กรณี นั้นไว้ด้วยกัน ขั้นตอนการคำนวณก็จะต้องแยกกรณีต่าง ๆ ของ การดึง (Tensile), การอัด (Compression), (Torsion) และ Bending แล้วจึงนำแต่ละส่วนมารวมกันแล้วคิดตัวอย่าง ของความเค้นที่ก่อให้เกิดการล้าชนิดนี้คือ Crankshaft engine ซึ่งจะเป็นการรวมของ 2 กรณีคือ bending และ Torsion

นิยามต่าง ๆ ที่สำคัญ

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจำนวนมากรับแรงในแนวตั้ง ลักษณะเช่นเดียวกับคานทั่วไป ฉะนั้นจึงใช้ความเค้น (bending stress) และการขยับตัว (deflection) เป็นข้อจำกัดในการออกแบบความเค้นดัดสูงสุดเกิดขึ้นที่ผิวนอกสุดของคาน ณ ตำแหน่งที่มีโมเมนต์ดัด (bending moment) มีค่าสูงสุด ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

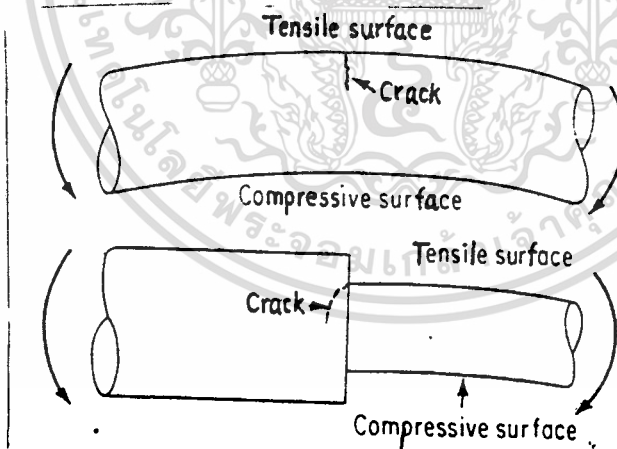
โดยที่ M = โมเมนต์ดัด

C = ระยะจากแกนสะเทิน (neutral axis)

I = โมเมนต์รวมเฉื่อยของพื้นที่

(จากตาราง ค-1  $I = \frac{\pi d^4}{64}$ )

คานและแกนสะเทิน



รูปที่ 5 bending fractures usually develop on surfaces and normal to the stress direction. Sharp fillets concentrate bending stresses, causing cracks to develop more rapidly. Arrows indicate bending direction. (From D. J. Wulpi, "How Components Fail," American Society for Metals. Metals Park, Ohio, 1966)

II stress (ความเค้น)  $\sigma = \frac{F}{A}$  ; F คือแรงกระทำ

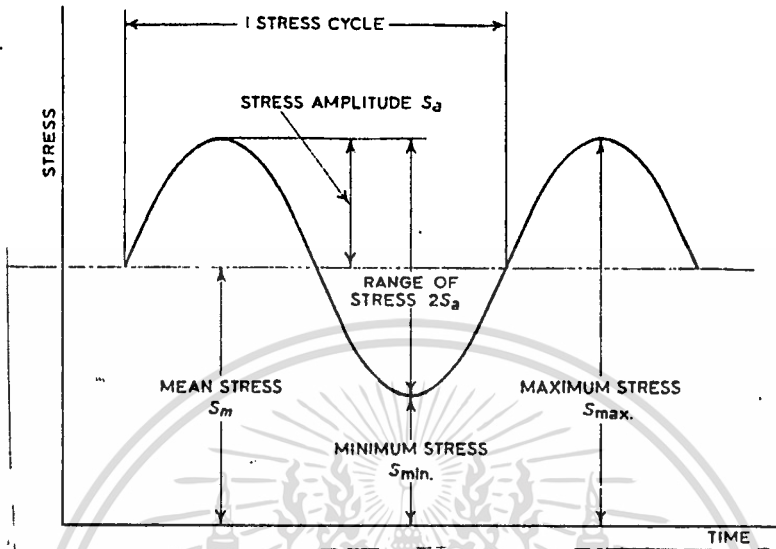
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

A คือพื้นที่ถูกแรงกระทำ

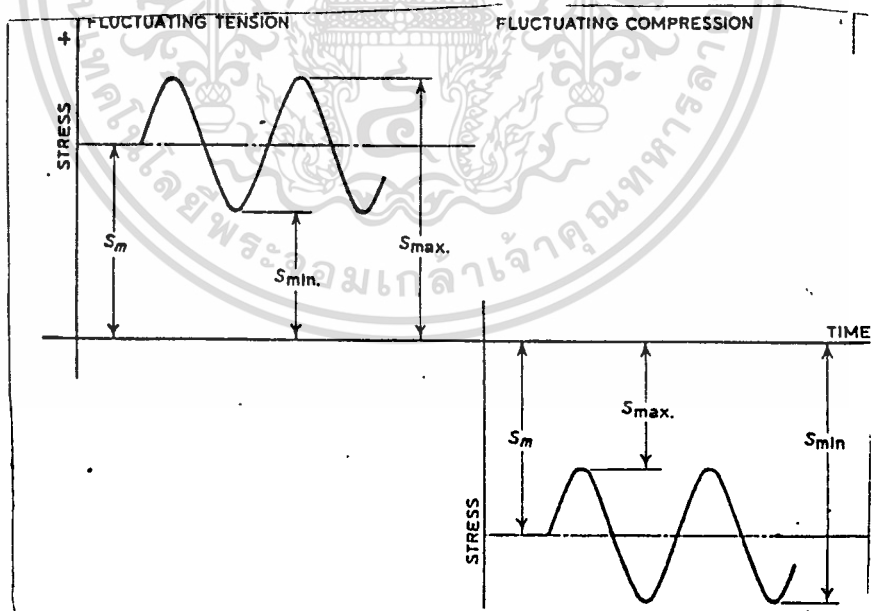
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ผลแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ในเรื่องของการล้านี้ สมมติว่ารูปแบบของความเค้นที่กระทำต่อวัสดุมีลักษณะเป็นวัฏจักร (stress cycle) ซึ่งกระทำอย่างต่อเนื่องเพื่อจะได้คำนวณได้ เพราะในชั้นงานทั่วไปแล้ว แรงจะเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่ไม่สามารถทราบได้อย่างแน่นอน



รูปที่ 6 "Fatigue Stress cycle" Note: range of stress = 2 (stress amplitude)



รูปที่ 7 the stress cycle with algebraic notation

จากรูป 6 และ 7

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

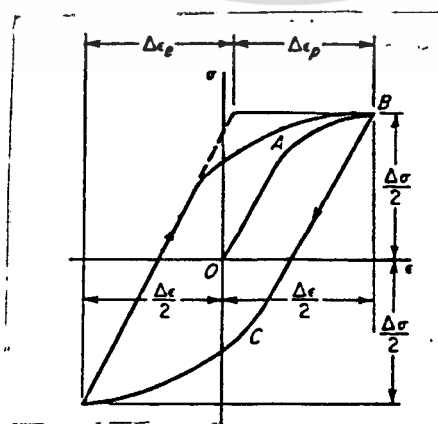
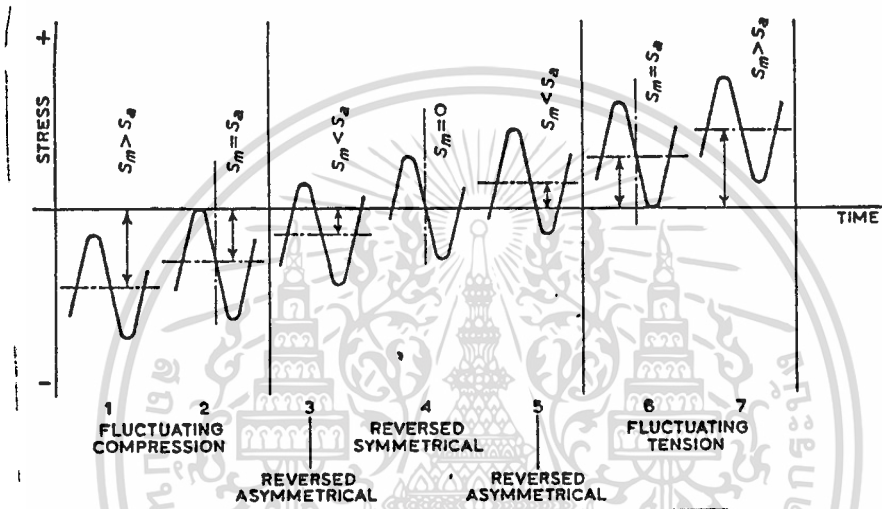
$S_{min}$  "สูง"

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของความเค้นที่เป็นวัฏจักรเป็นดังนี้

- 1) Fluctuating compression  $S_m > S_a$
- 2) Reversed asymmetrical  $S_m < S_a$
- 3) Reversed asymmetrical  $S_m = 0$
- 4) Fluctuating tension  $S_m > S_a$

ดังแสดงในรูป 8



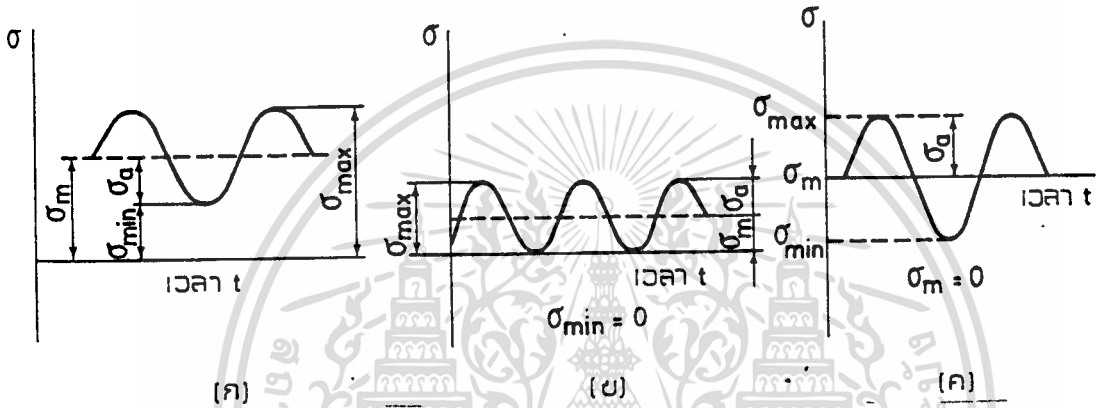
รูปที่ 9 Stress-Strain loop for constant shain cycle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

รูปที่ 11 รูปที่ 12 แสดงให้เห็นความแปรเปลี่ยนไปของ S/N curve เมื่อเปลี่ยนค่า  $S_m$  และ

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



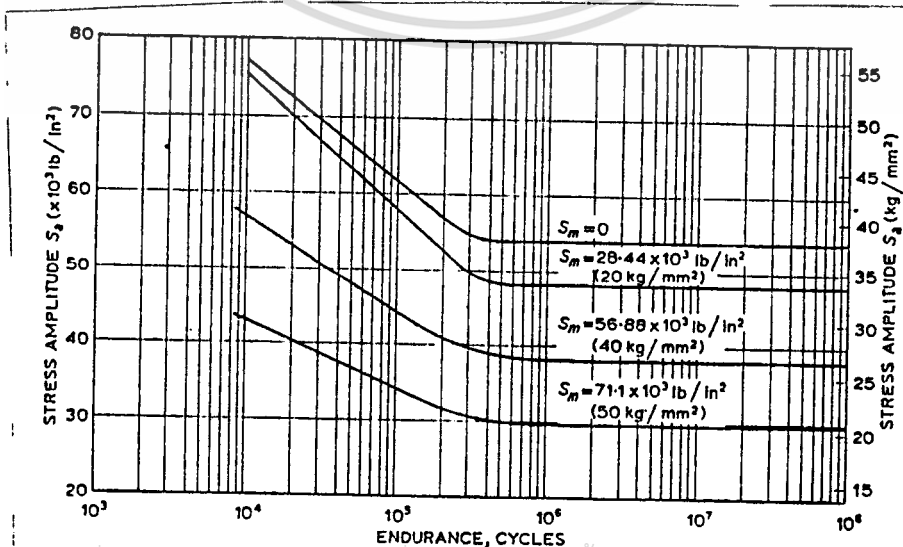
รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงความเค้นแบบไซเคิล

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

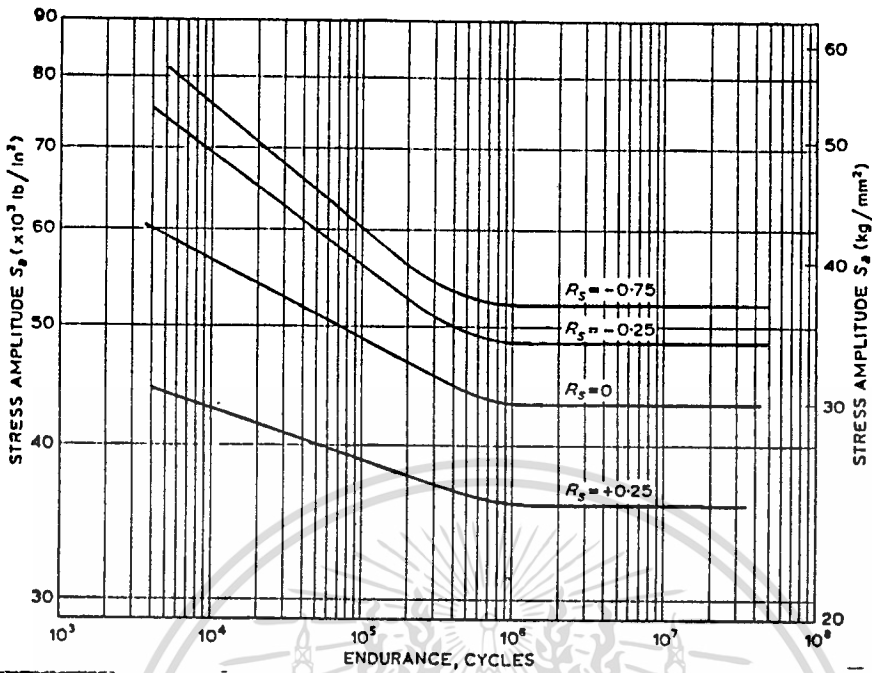
โดยที่  $\sigma_{\min}$  เป็นความเค้นต่ำสุด และ  $\sigma_{\max}$  เป็นความเค้นสูงสุด จะได้ค่า

$R = 0$  ในกรณีรูป 9 (ข)

$R = -1$  ในกรณีรูป 9 (ค)



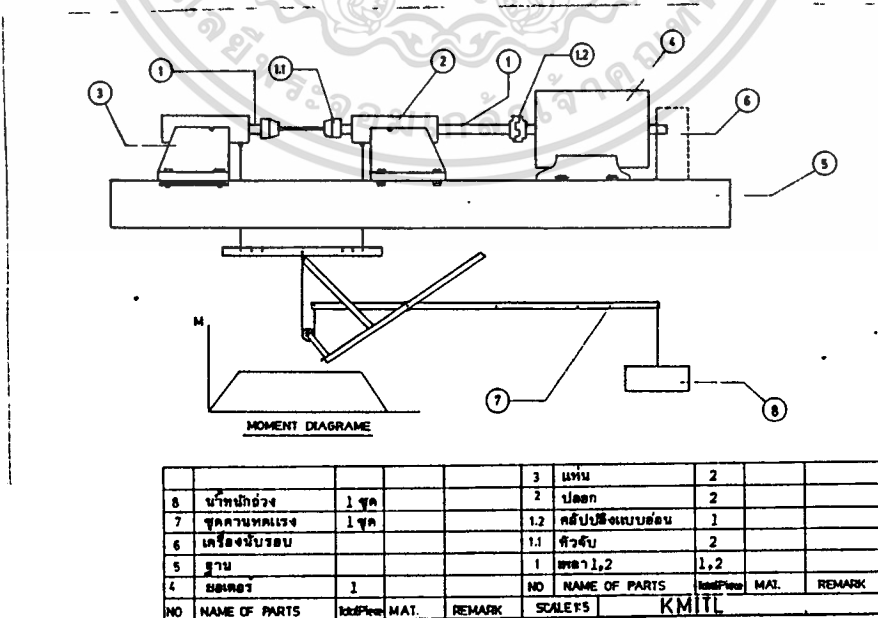
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา **รูป 11** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Fatigue testing machine

ในการทำวิทยานิพนธ์ ในภาคการศึกษานี้ ได้สร้างเครื่องทดสอบและหาการล้าของวัสดุ

ดังรูป 13

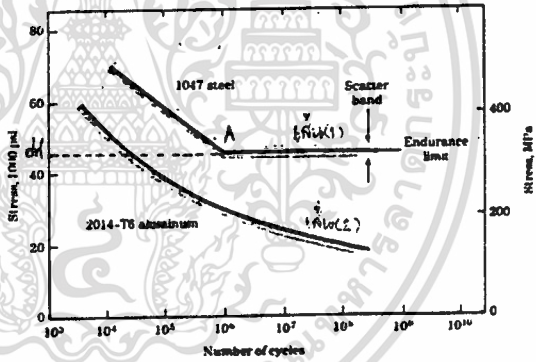


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การออกแบบชิ้นส่วน เครื่องจักรกลที่รับแรงเปลี่ยนเป็นวัฏจักร จะไม่ใช้ความตึงแรงดึง ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแบบสิ่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครากหรือความต้านทานแรงดึงเป็นรากฐาน แต่จะใช้ความต้านทานแรงที่เรียกว่าความต้านทานแรงทนทาน ซึ่งหาได้จากขีดจำกัดความทนทาน (Endurance limit) หรือจากการทดลองโดยมีนิยามดังนี้

ขีดจำกัดความทนทานหรือขีดจำกัดความล้า (fatigue limit) หมายถึงค่าความเค้นสูงสุดที่กระทำซ้ำกันสองทิศทาง (REVERSED STRESS) ต่อชิ้นงานทดสอบผิวขัดมัน (mirror polished) เป็นจำนวนวัฏจักรนับไม่ถ้วน โดยที่ชิ้นทดสอบนั้นไม่เกิดการแตกหัก

การทดสอบอาจกระทำได้ 3 วิธี คือ การดึง การบิด และการดัด ข้อมูลจากการทดสอบที่พอมืออยู่ข้างก็คือ การดัด (REVERSED BENDING) รูป 13 แสดงถึงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบนี้ ในการทดลองให้แขนน้ำหนักที่ต้องการเพื่อทำให้ชิ้นทดสอบเกิดความเค้นดัด จากนั้นมอเตอร์ก็จะหมุนไปด้วยความเร็วรอบคงที่ (น้ำหนักไม่หมุนไปด้วย) ในขณะที่ชิ้นทดสอบหมุนไปครบหนึ่งรอบ ตำแหน่งคงที่ ณ ผิวของชิ้นทดสอบ ก็จะได้รับความเค้นที่เปลี่ยนจากความเค้นดึงสูงสุดไปเป็นความเค้นกดสูงสุด แล้วกลับมาความเค้นดึงสูงสุดอีก เรียกว่าหนึ่งวัฏจักร เมื่อนำผลการทดสอบมาเขียนเป็นกราฟจะได้ดังรูป



รูป 14 แสดงความแตกต่างของ S/N curve ระหว่าง 1047 และ 2014-T6 aluminum

จากตำแหน่ง A ในรูป 14 จะเห็นว่ากราฟในเส้นตรงเกือบอยู่ในแนวระดับ แสดงว่าถ้าให้ความเค้นต่อชิ้นทดสอบต่ำกว่านั้นแล้ว ชิ้นทดสอบจะไม่หักเลย (ทางทฤษฎี) แต่ในทางวัฏจักร ชิ้นทดสอบจะต้องขาดออกเมื่อจำนวนวัฏจักรสูงมาก ความเค้น A บนเส้น การคงอยู่ 50% (SURVIVAL) เรียกว่าขีดจำกัดความทนทาน และชิ้นทดสอบที่ได้รับความเค้นระดับนี้ให้ถือว่า มีชีวิตไม่จำกัด (infinite life) ในทางปฏิบัติถือว่า ชิ้นงานที่สามารถรับแรงได้จำนวนวัฏจักรมากกว่า 1 ล้าน เป็นชิ้นงานที่มีชีวิตไม่จำกัด

สำหรับวัสดุบางชนิด เช่น ทองเหลือง ทองแดง อลูมิเนียม และแมกนีเซียม เส้นกราฟจะไม่มีรอยหักมุม ดังเช่นในรูป 14 (เส้น 2) แต่เส้นกราฟจะลดลงเรื่อย ๆ แสดงว่าวัสดุเหล่านี้ไม่มีขีดจำกัดความทนทาน วัสดุเหล่านี้จะต้องระบุจำนวนวัฏจักร และระดับความเค้นที่ทำให้ชิ้นทดสอบแตกหักด้วย และความเค้นนี้เรียกว่า ความต้านทานแรงทนทาน

ชิ้นงานทั่วไปจะมีขนาดไม่เท่ากับชิ้นทดสอบและผิวหน้าก็อาจจะไม่ได้ขัดมันตลอดจนแรงกระทำก็อาจจะเป็นแรงอย่างอื่นๆ เช่น แรงบิด เป็นต้น จากการทดลองพบว่าขีดจำกัดความทนทานจะผิดไปจากชิ้นทดสอบมาตรฐาน (8 มม.) ในกรณีเช่นนี้ก็จะเรียกว่าความต้านแรงทนทานเช่นกัน เพราะฉะนั้นเมื่อกล่าวอย่างกว้างๆ แล้วความต้านแรงทนทานหมายถึง ความต้านแรงทนทานของชิ้นทดสอบที่ไม่มีขีดจำกัด ความทนทานหรือความต้านแรงทนทานของชิ้นงานจริง

เนื่องจากข้อมูลเกี่ยวกับขีดจำกัดความทนทานมีน้อยมาก ดังนั้นจึงใช้วิธีการประมาณค่าขีดจำกัดความทนทาน (สำหรับการคงอยู่ 50 %) ในกรณีของการตัด ดังนี้คือ

$$\sigma_n = 0.5\sigma_u \text{ สำหรับเหล็กเหนียว ซึ่ง } \sigma_u < 1380 \text{ N/mm}^2 \text{ และ HB} < 400$$

$$\sigma_n = 690 \text{ N/mm}^2 \text{ สำหรับเหล็กกล้าเหนียว ซึ่ง } \sigma_u > 1380 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_n = 0.4\sigma_u \text{ สำหรับเหล็กกล้าหล่อ และเหล็กท่อ}$$

$$\sigma_n = 0.38\sigma_u \text{ สำหรับแมกนีเซียมผสมหล่อ และแมกนีเซียมผสมเหนียว (อายุใช้งาน 10 วัฏจักร)}$$

$$\sigma_n = 0.46\sigma_u \text{ สำหรับนิกเกิลผสมและทองแดงผสม}$$

$$\sigma_n = 0.38\sigma_u \text{ สำหรับอลูมิเนียมผสมเหนียวที่มีความต้านทานแรงดึงสูงถึง } 275 \text{ N/mm}^2 \text{ (อายุการใช้งาน } 5 \times 10^5 \text{ วัฏจักร)}$$

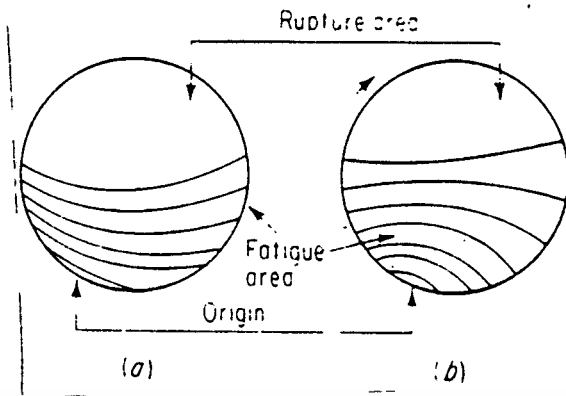
ค่าดังกล่าวนี้เป็นเพียงค่าโดยประมาณเพื่อประกอบการคำนวณในที่นี้เท่านั้น

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

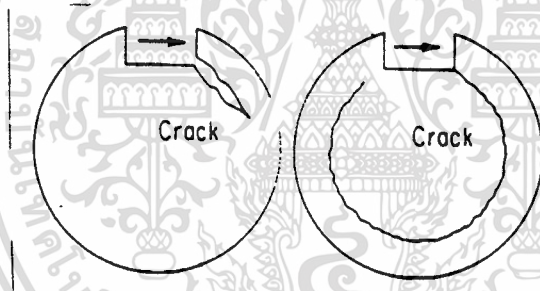
รูปที่ 15 Fracture appearances of bending-fatigue failures. Final fracture zones are shown as crosshatched areas. (From Machine Design.

The Penton Publishing Co., Cleveland, Nov. 27, 1969.)

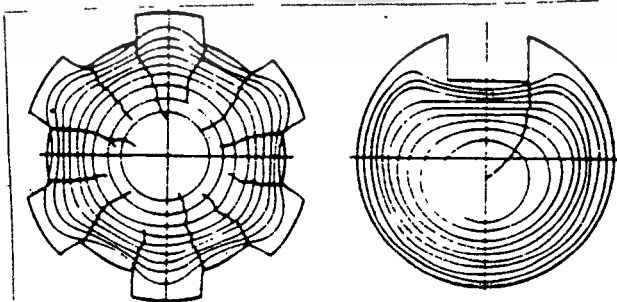
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 16 The degree of notch sensitivity affects the manner in which beach marks develop. In notch-sensitive alloys, such as high-strength steel, these marks curve away from the source of failure (left). The reverse is true in notch-insensitive material (right). (From D.J.Wulpi, "How Components Fail," American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1966.)



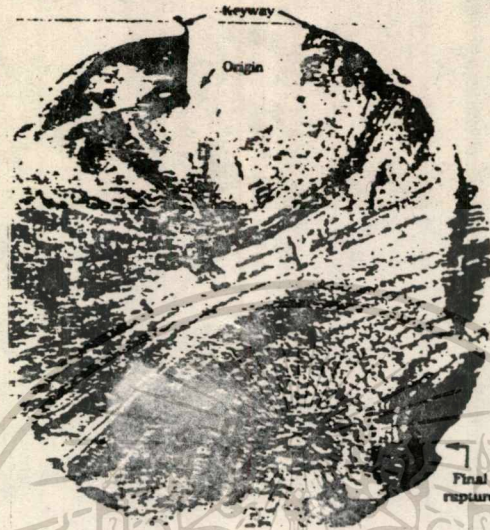
รูปที่ 17 Fatigue cracks in keyways of loosely fitting members may peel around the shaft under the surface. (From D.J.Wulpi, "How Components Fail," American Society for Metals Park, Ohio, 1966.)



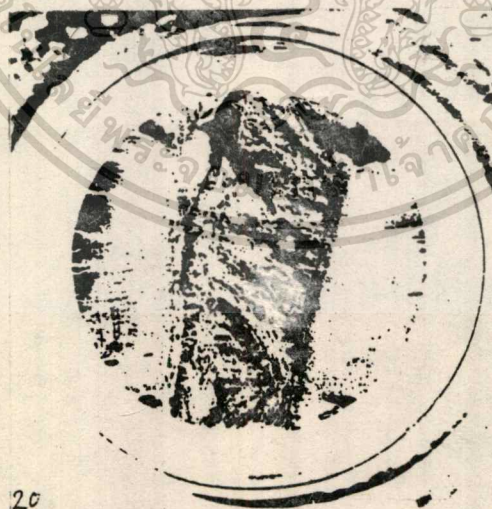
รูปที่ 18 Fatigue cracks tend to follow paths of maximum stress concentration. Circular lines indicate stresses. In splines and keyways, the stresses concentrate at inner corners. (a) Spline, (From D.J.Wulpi, "How Components Fail," American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1966.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ โดยผู้เผยแพร่ขอสงวนสิทธิ์ในการค้า  
หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปของการแตกหักเนื่องจากการล้าจะปรากฏดังรูป



รูปที่ 19 Light tractograph of the fatigue-fracture surface of a key Shaft of 1040 Steel)



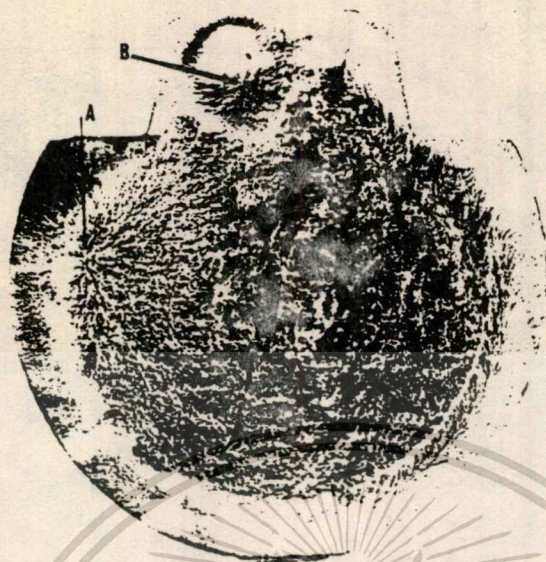
20

รูปที่ 20 This 1050 shaft, 1.94 in, in, diameter, broke in reversed bending fatigue. A shard fillet concentrated the bending stresses, causing a crack to develop on opposite

stdes with final fracture in the middle. (Courtesy of D.J.

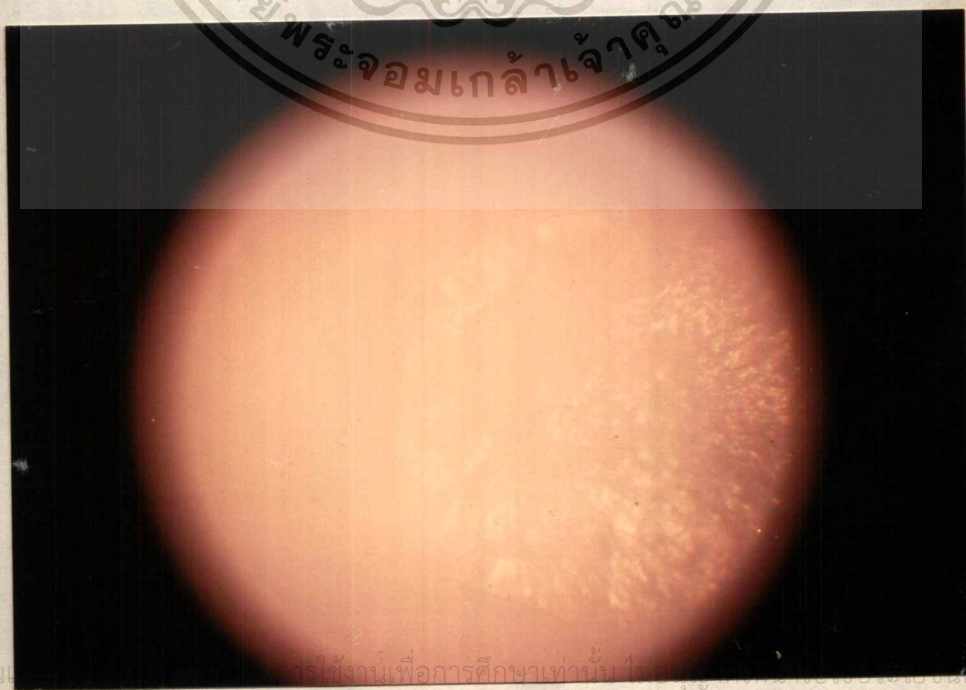
Wulpi, International Harvester Company.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยบริษัทผู้จัดทำขึ้น มิอนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ



รูปที่ 21 Some rotating bending-fatigue cegin beneath surfaces. In this induction-hardened axle shaft, fracture started at A and moved into the cross section, meeting another subsurface crack that started at B resulting in final fracture. (Courtesy of D.J.Wulpl, International Harvester Company.)

จากรูปจะเกิดการแตกหักบริเวณที่อ่อนแอที่สุดก่อนแล้วค่อยๆ กัดกร่อนไปเรื่อยๆ จนถึงแก่แตกและหักในที่สุด



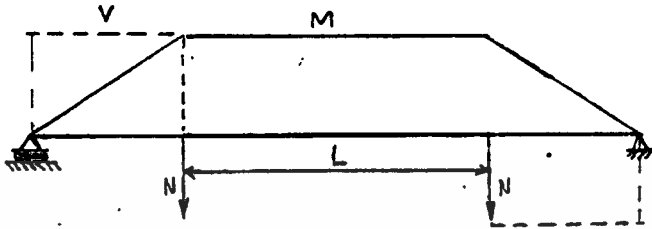
รูปที่ 22 รูปถ่ายจากชิ้นงานที่ทำการทดสอบจริง

เอกสารนี้เป็น... ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถ...  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

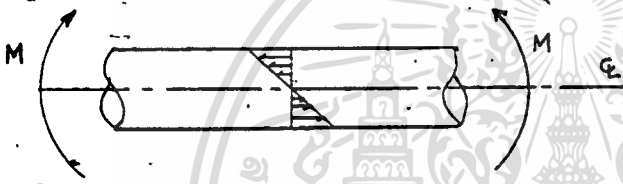
ทฤษฎีการคำนวณและสร้างเครื่องทดสอบ

การทดสอบนี้จะคำนึงถึง เฉพาะการล้าที่เกิดจากการคดโค้งอย่างเดี๋ยวน (Bending)

การสร้างตามทฤษฎีจะมีแผนผัง โมเมนต์ และแรงเฉือน ดังรูป

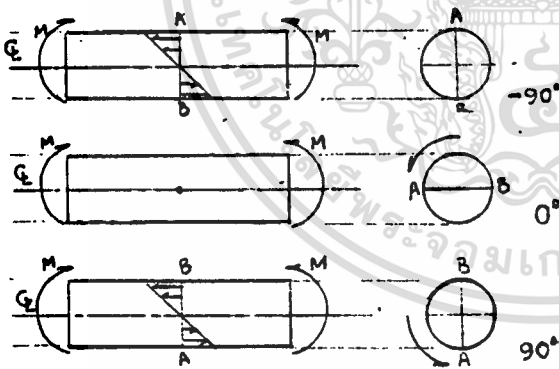


ช่วง L จะเป็นช่วงที่มีแรงเฉือน V เป็น 0 และมีโมเมนต์ค่าคงที่กระทำ ชิ้นทดสอบ จะถูกติดตั้งในช่วงนี้



โมเมนต์ที่กระทำนี้ จะก่อให้เกิดค่าความเค้นอัดและความเค้นดึงในแต่ละด้านของชิ้นทดสอบ

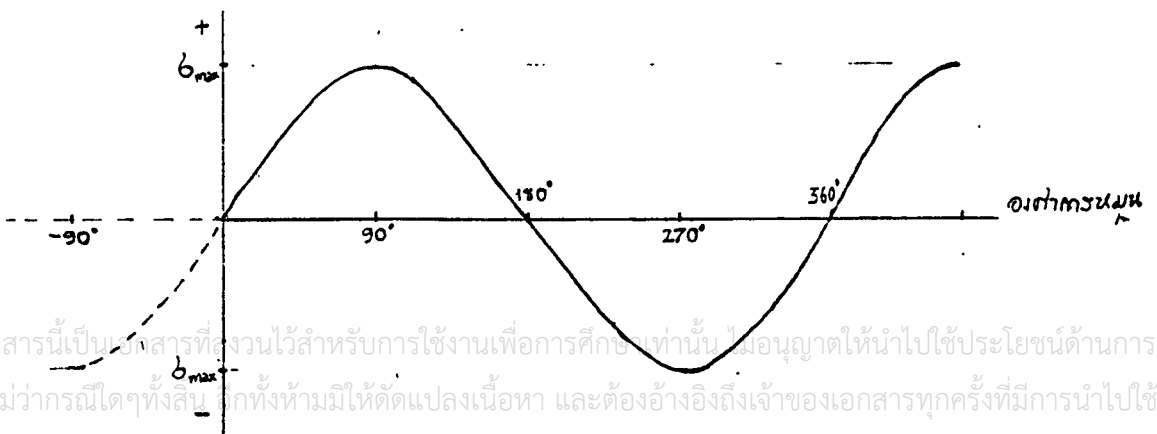
ชิ้นทดสอบมีลักษณะสมมาตรตามแนวนอน ซึ่งจะผ่านแกนกลางของทรงกระบอกพอดี ค่าความเค้นที่เกิดจาก โมเมนต์จะ เกิดสูงสุดที่ผิวนอกสุดและลดลงตามค่ารัศมี และเป็น 0 ที่แนว  $\phi$



ค่าความเค้นที่เกิดต่อชิ้นทดสอบนี้จะเปลี่ยนเป็นวัฏจักร (CYCLE) เมื่อหมุนชิ้นทดสอบรอบแกนด้วยความเร็วรอบคงที่

หรืออาจแสดงด้วยกราฟการเปลี่ยนแปลงของความเค้น เทียบกับตำแหน่งบนชิ้นทดสอบ

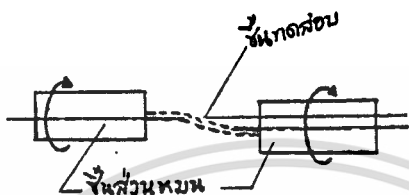
ซึ่งจะได้กราฟรูป SINE



จากผังโมเมนต์และแรงเฉือน เราอาจประมาณรูปแบบเครื่องทดสอบได้ดังนี้

ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

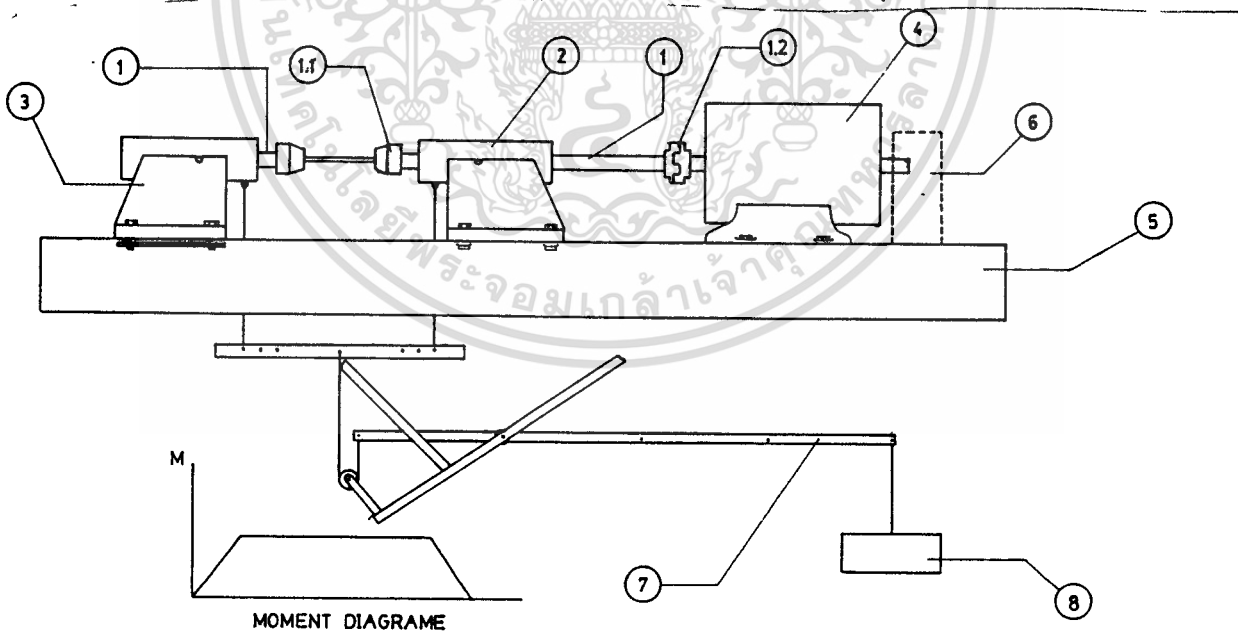
- (1) ชิ้นส่วนหมุนและจับยึดชิ้นทดสอบ
- (2) Housing เป็นที่อยู่ของส่วนเพลาหมุน (1) และน้ำหนัก (N)
- (3) ฐาน เป็นที่ตั้งของส่วนต่าง ๆ และบังคับแนวการหมุน ซึ่งการหมุนที่ไม่ตรงแนวอาจก่อให้เกิดผลดังนี้



ซึ่งทำให้รูปแบบโมเมนต์และตำแหน่งที่เกิดการตัดบนชิ้นทดสอบเป็นไปในทางที่คาด

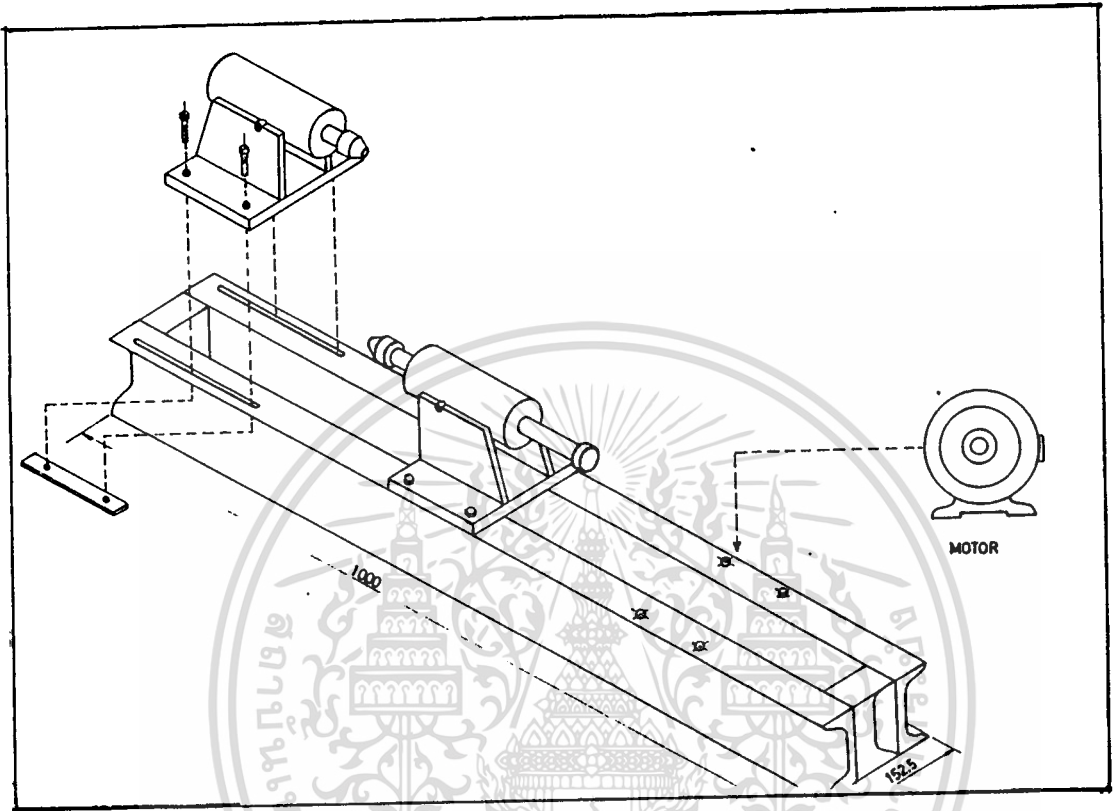
คำนวณได้ยาก

- (4) มอเตอร์ขับ ในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบที่รอบต่ำ ใช้มอเตอร์ความเร็วรอบ 1430/นาที ในการสร้างเครื่องจริง เราอาศัยการประมาณรูปแบบเครื่องนี้และคำนวณวัสดุและขั้นตอนในการสร้างได้รูปแบบดังแสดงในรูป

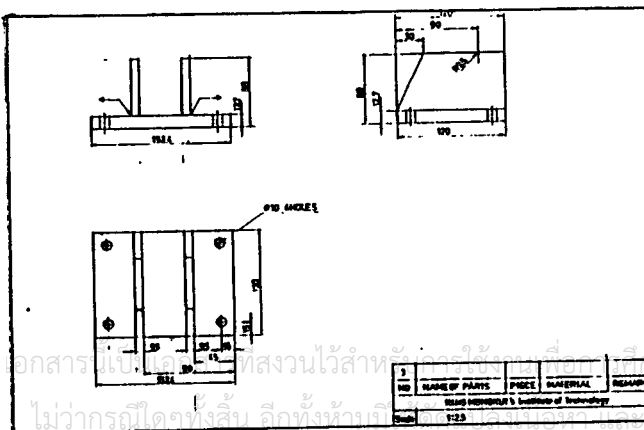


NO	NAME OF PARTS	Total Piece	MAT.	REMARK	SCALE 1:5	KMITL	Total Piece	MAT.	REMARK
8	น้ำหนักถ่วง	1 ชุด			3	แท่น	2		
7	ชุดคานทดสอบ	1 ชุด			2	ปลอก	2		
6	เครื่องปรับรอบ				1.2	คลีปปลิงแบบอ่อน	1		
5	ฐาน				1.1	หัวจับ	2		
4	มอเตอร์	1			1	เกลา 1,2	1,2		

เอกสารนี้เป็น

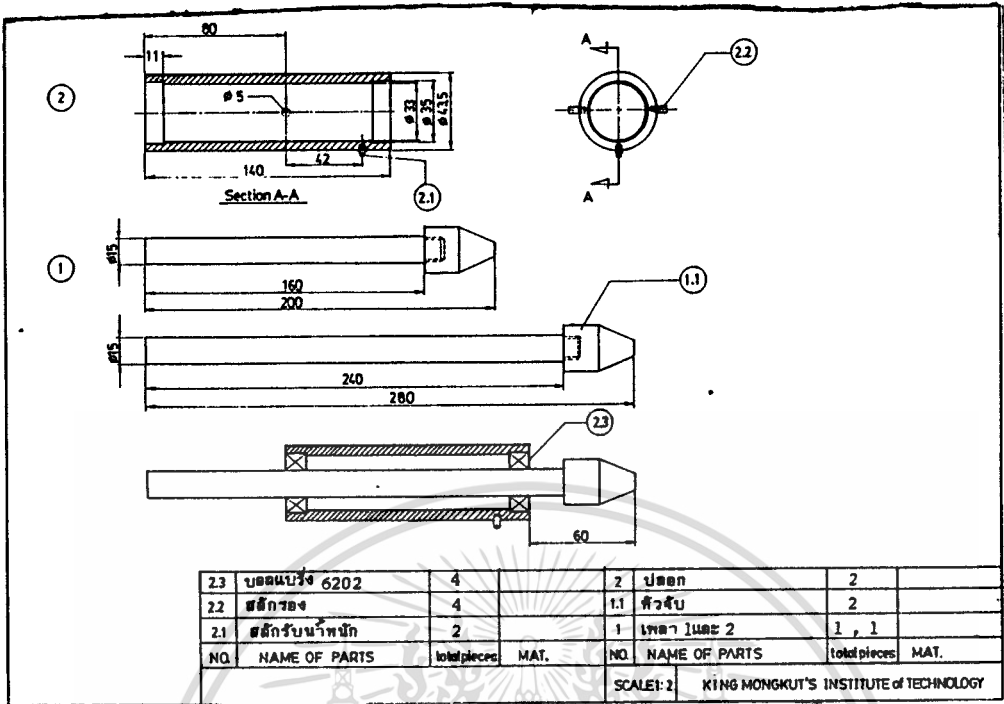


ฐานทำจากเหล็กตัว U ทำเป็นโครงสร้างเหล็ก เจาะรูเพื่อยึดติดแท่นรองปลอกตัวที่ 1 และมอเตอร์ ส่วนปลายทำร่องสำหรับยึดติดแท่นรองปลอกตัวที่ 2 สามารถเลื่อนตำแหน่งได้ 0-9 เซนติเมตร ทำให้สามารถทดสอบชิ้นทดสอบที่มีขนาดตั้งแต่ 3-12 เซนติเมตร โดยประมาณ



แท่นรองปลอก

ประกอบด้วยฐานทำจากเหล็กแผ่นหนา 1/2 นิ้ว แล้วเชื่อมจากกับเหล็กแผ่นหนา 3/8 นิ้ว ขนาดดังรูป ขารองทั้งสองด้านจะมีร่องสำหรับรองรับหมุดของปลอกทำให้ปลอกสามารถ SET ตัวอยู่ได้ และบังคับให้ปลอกเลื่อนขึ้นลงได้ เฉพาะระนาบ X-Y เท่านั้น



เพลลา, แบริ้งจะประกอบอยู่กับปลอกดังรูป

ค่า  $\sigma_n$  เป็นค่า Stress ที่จะใช้ในการทดสอบวัสดุ โดยปกติใช้ 0.4-0.6 ของ Tensile Strength โดยประมาณค่าสูงสุด  $u$  ของขั้นทดสอบประมาณ 200 KSI หรือประมาณ 1400 N/m.m.<sup>2</sup>

เพราะฉะนั้นค่า  $\sigma_n$  840 N/m.m.<sup>2</sup>

ขั้นทดสอบมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.3 - 0.5 เซนติเมตร

$$\text{จาก } \sigma = \frac{32M}{\pi d^3} : 840 = \frac{32M}{\pi 15^3}$$

เพราะฉะนั้น โมเมนต์ที่ต้องใช้จึงมีค่าเท่ากับ 10308 N.m.m.

หากใช้น้ำหนักถ่วง 250 นิวตัน (สูงสุด) จากฟ้งโมเมนต์

$$M = N \times a : = 250 \times a \text{ ฉะนั้นระยะ } a = 42 \text{ m.m.}$$

คือต้อง ใช้ระยะระหว่างจุดถ่วงน้ำหนักกับจุดหมุน 42 m.m.

คือต้อง ใช้ระยะระหว่างจุดถ่วงน้ำหนักกับจุดหมุน 42 m.m.

ปลอก

ทำจากเหล็กท่อไม่มีตะเข็บเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 m.m. หนา 6 m.m. กลึงปาดผิวจนได้ขนาด 43.5 m.m. แล้วตัดร่องสวมอัดแบริ้ง หัวท้าย

เพลลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ก็ตาม กรุณาแจ้งให้ทราบล่วงหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

Tensile Strength 470 N/m.m.<sup>2</sup>  
Yield 360 N/m.m.<sup>2</sup>

การคำนวณ โดยคิดถึงแรงกระทำที่เปลี่ยนแปลงเป็นวัฏจักร

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดและสมการไฮเดนเบอร์ก

$$T = \frac{16}{\pi d} [(Mm + Kfs\sigma_y Ma)^2 + (Tm + Kfs\tau_y Ta)^2]^{1/2} \text{-----}(1)$$

$$\sigma = \frac{32 Mm}{\pi d^3} \quad \tau_n = \frac{16 Tm}{\pi d^3}$$

$$\sigma a = \frac{32 M}{\pi d} \quad \tau a = \frac{16 Ta}{\pi d}$$

โมเมนต์ส่วนเปลี่ยน :  $\frac{10308 - (-10308)}{2} = \frac{20616}{2} = 10308 \text{ N.m.m.}$

$Ma = \frac{Mmax - Mmin}{2}$

โมเมนต์เฉลี่ย  $Mm = Mmax + Mmin : 10308 + (-10308) = 0$

และโดยถือว่าการส่งผ่านแรงบิดน้อย

$\tau \approx 0$

เพราะฉะนั้น  $\tau_m, \tau_a \approx 0$

ค่าขีดจำกัดความทนทาน (สำหรับการคงอยู่ 50 %) กรณีกลัด 0.5 u

ตัวประกอบผิว  $Ka$  (กลัด) 0.78 ... รูป ง-1

ตัวประกอบขนาด  $K\sigma$  0.85 (8 < d < 50)

ตัวประกอบแรง  $Kc$  1.00 (สำหรับการตัด) ... รูป ง-4

ดังนั้น  $\sigma_n = (0.5) (0.78) (0.85) (470)$   
 $= 155.8 \text{ N/m.m.}^2$

$Kf = 1 + q (Kf - 1) : q = \text{ความไวรอบเจาะ}$

$Kf$  ตัวประกอบความหนาแน่นร่องลิ้น 1.6

สมการ 1. เป็น  $\tau = \frac{16}{\pi d} [(1.6) (360) (10308)] \text{-----}(2)$

จาก  $\tau = \frac{q \cdot 360}{2n \cdot \frac{2N}{d}} = \frac{155.8}{N}$  แทนค่าลงในสมการ (2) โดยเลือกใช้  $N=3$   
 $d = 3234.81$

เลือกใช้  $N = 3$

ดังนั้น  $d = 14.8$  มิลลิเมตร , เลือกใช้ขนาดเพลาลื่นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร

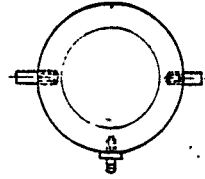
แบร์ริง

เลือกใช้ Single-Row Deep-Groove Ball Bearing 6202

อนุกรมมิติ 02 รูสวม 15 มิลลิเมตร แรงพลัดประเมิน 5.87 กิโลนิวตัน ซึ่งเป็นค่าแรง

เอกสารในแนวรัศมีที่แบร์ริงจะรับได้ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลักกรอง



$\sigma_u$  470 N/mm<sup>2</sup>

เหล็กก่อนกลม  $\sigma_y$  360 N/mm<sup>2</sup> ฝั่งเกลียวติดกับปลอก ดังรูป

ความเสียหายที่อาจเกิดต่อหมุดจะเกิดในลักษณะการเฉือนขาด โดยความเค้นเฉือนที่บริเวณรอยฝั่งหมุด

ใช้  $N = 6$   $\sigma_{td} = \frac{\sigma_y}{N}$  และ  $\tau_d = 0.6 \sigma_{td}$

$\sigma_{td} = 60 \text{ N/m.m.}^2$   $\tau_d = 36 \text{ m.m.}^2$

การเฉือนขาด  $\tau_d = F/A$

พื้นที่รับแรง  $\tau_d = \frac{2 \pi d^2}{4}$

$\tau_d = \frac{F4}{2 \pi d^2} = 36 = \frac{260 \times 2}{\pi d^2}$

เพราะฉนั้น  $d = 2.1 \text{ m.m.}$

เพื่อความเหมาะสมเลือกใช้ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร

สลักแขนน้ำหนัก

ฝั่งเกลียวติดกับปลอก ส่วนหัวมีรูสำหรับคล้องลวดผ่าน

คลับปลิง

ใช้คลับปลิงแบบออนตัว ส่วนเชื่อมกลางทำจากยางสามารถให้เกิดการเยื้องแกนได้

พอสุมควรว

ไมโครสวิตช์ (Micro-switch sensor)

เป็นเครื่องตัดการทำงานของเครื่องเมื่อวัสดุขาด มีหลักการทำงานคือ เมื่อชิ้นงานขาดจะทำได้ทรงกระบอกตกลงมาและไม่ได้สัมผัสกับสวิตช์อีกต่อไปจึงตัดกระแสไฟฟ้า และมอเตอร์หยุดหมุน

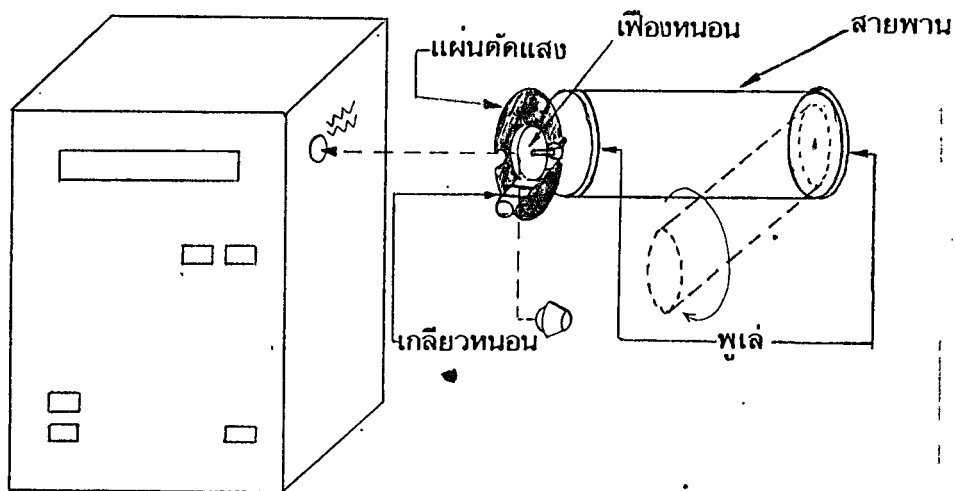
หยุดหมุน

มอเตอร์ (Motor)

มอเตอร์ที่ใช้ ในเครื่องทดสอบและหากการล้าของวัสดุนี้ มีข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

Horse Power	= 1	Rmp	= 1430
Pole	= 2	Ins class	E
Cycle (f)	= 50	Prame	= 80
Voltage	= 220 V.	rotor C	
Cnrrrent	= 3.1 Amp.	rating Constant	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### เครื่องนับรอบ

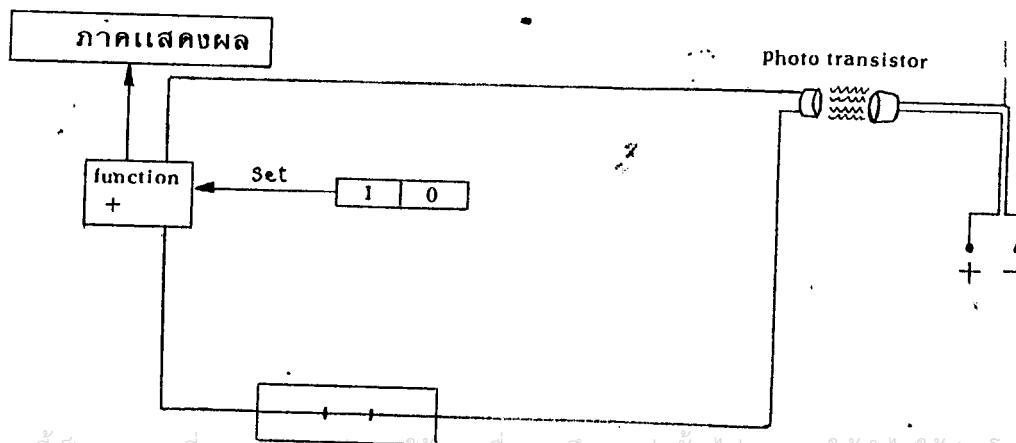
ใช้ไฟได้ทรานซิสเตอร์ต่ออนุกรมเข้ากับวงจรการแสดงผล (ใช้เครื่องหมายเท่ากับ) ของเครื่องคิดเลข โดยไฟได้ทรานซิสเตอร์จะถูก Bias เลือกระดับการ ON-OFF ด้วยแสง เพราะฉะนั้นจึงทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ตัดต่อวงจรการแสดงผล

ดังนั้นเมื่อ SET เครื่องด้วยฟังก์ชัน (+) (+) คือการบวกเพิ่มขึ้นด้วยค่าเดิม เครื่องก็จะมีภาระหมุนจำนวนครั้งที่ไฟได้ทรานซิสเตอร์ ON-OFF การตัดแสงทำโดยใช้แผ่นกลม หมุนเปิดเปิดช่องแสง โดยแผ่นกลมนี้จะขับโดยเฟลมอเตอร์และจะหมุนในอัตรา 1 : 10

### วิธี SET

- 1) กด 10
- 2) กด (+) (+)
- 3) RUN เครื่อง

ภาคแสดงผลจะแสดงผลเป็นจำนวนรอบที่มอเตอร์หมุนไป



การคำนวณของ Load Bending Stress

Diameter of Speciment : m.m. = 2 m.m.;

Distance between Load Supporting Points : L m.m. = 42 m.m.

Weight : N นิวตัน = 5N , 15N , 20N , 30N , 45N

Uniform Bending Moment: M = N x L N.m.m.

Bending Stress give to Specimen :  $\sigma$  N/m.m.<sup>2</sup> = 32M N/m.m.<sup>2</sup>

Tensile Strength : N/m.m.<sup>2</sup> =  $\sigma_{u1}$  = 550 N/m.m.<sup>2</sup>

Reversed Stress N/m.m.<sup>2</sup> : 0.5 (550) = 275 N/m.m.<sup>2</sup>

Tensile Strength : N/m.m.<sup>2</sup> =  $\sigma_{u2}$  = 861.25 N/m.m.<sup>2</sup>

... ANSI Martensite 431

Reversed Stress : N/m.m.<sup>2</sup> =  $\sigma_{n2}$  = 430.625 N/m.m.<sup>2</sup>

(Wrought Stainless Steel)

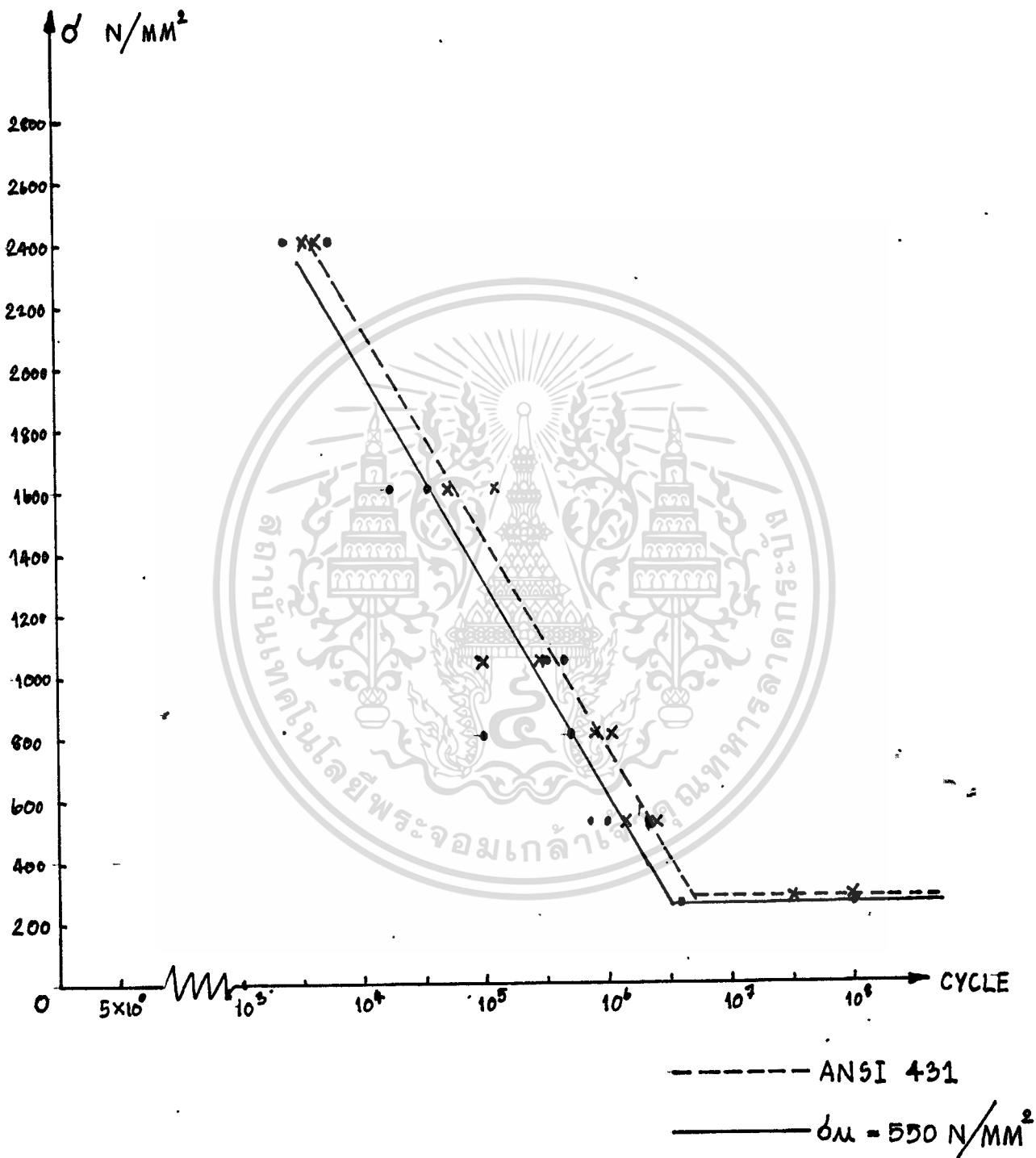
$\sigma_u$  = 125 KSi

ตัวอย่างการคำนวณ : เมื่อถ่วงด้วย น.น 1 Kg N = 5N

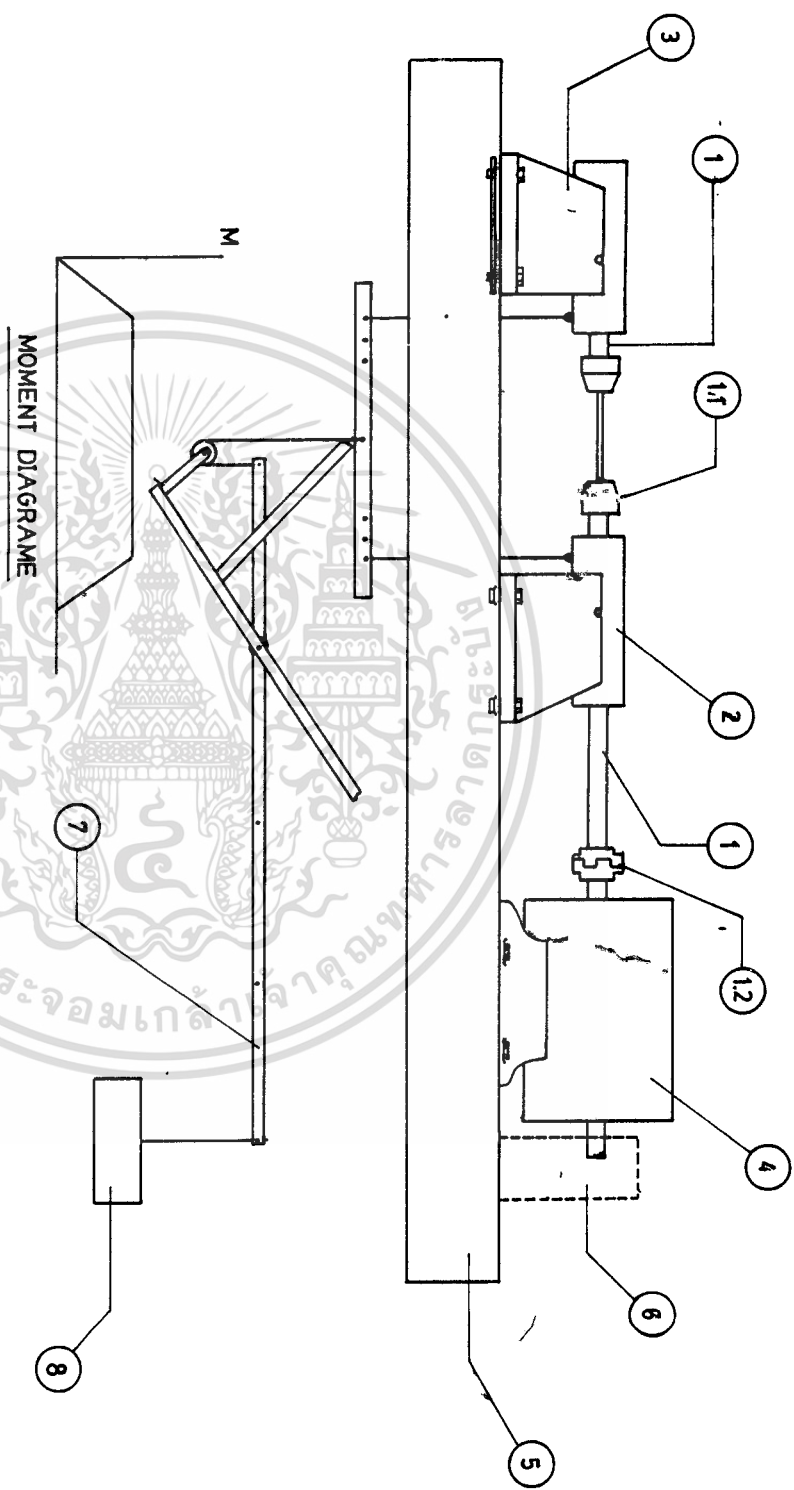
$$\sigma = \frac{32M}{\pi d^3} = \frac{32(5)(42)}{\pi (2)^3} = 267.38 \text{ N/m.m.}^2$$

โดยสรุปจะได้ตามตารางดังนี้

NAME	TENSILE STRENGTH ( $\sigma_u$ )	on ,	BENDING STRESS GIVEN TO SPECIMEN ( $\sigma$ )					
			5N	10N	15N	20N	30N	45N
PRIMAFIXE	550	275	267.38	534.76	802.14	1069.52	1604.28	2406.42
ANSI431	861.25	430.63	267.38	534.76	802.14	1069.52	1604.28	2406.42

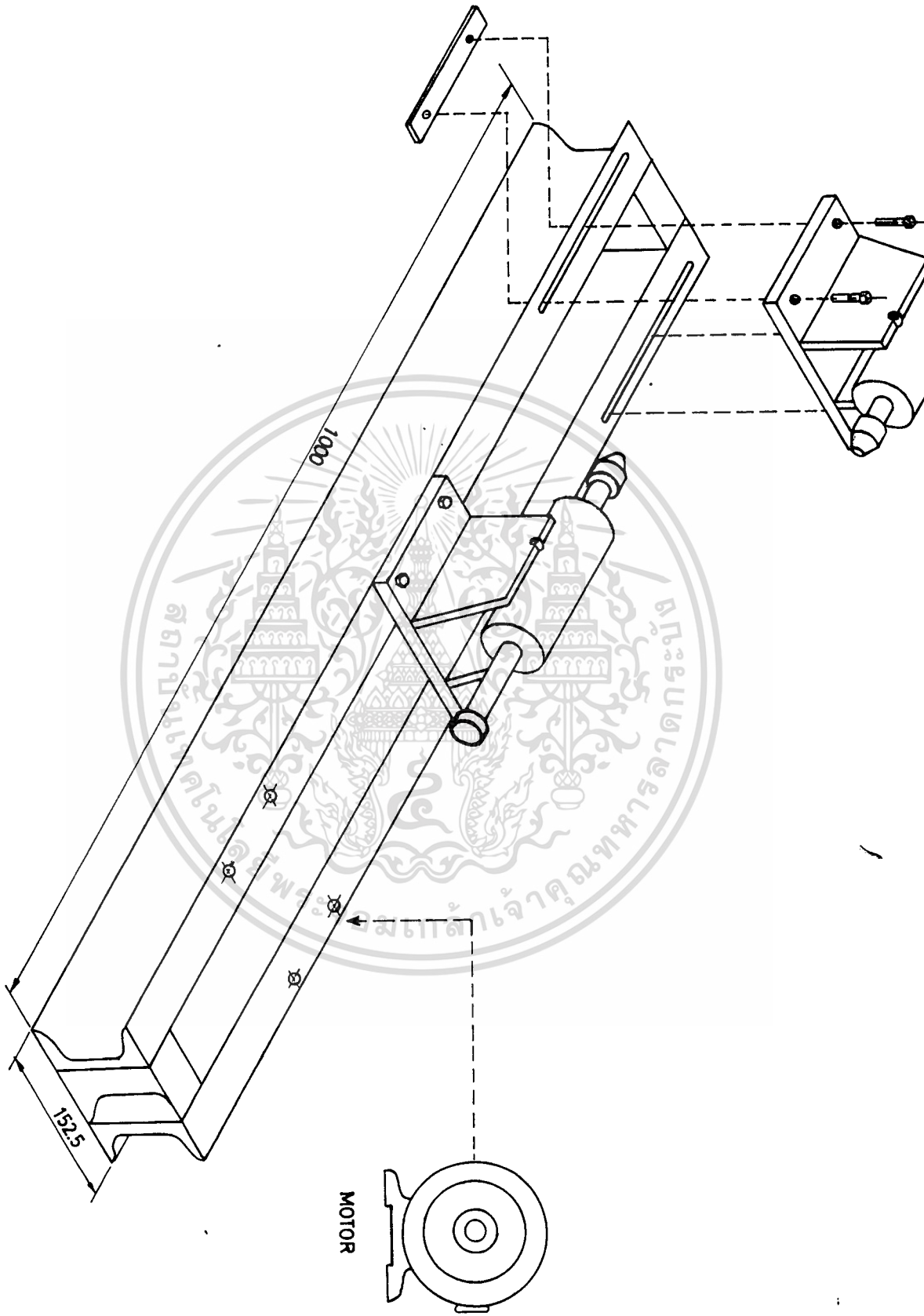


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

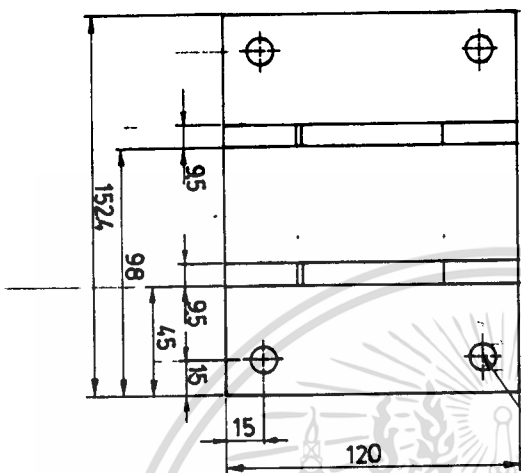


NO	NAME OF PARTS	Total Piece	MAT.	REMARK	SCALE: 1:5	NO	NAME OF PARTS	Total Piece	MAT.	REMARK	
3	แกน	2			KMILL	3	แกน	2			
8	น้ำหนักถ่วง	1 ชุด				2	ปลอก	2			
7	ชุดคานทดสอบแรง	1 ชุด				1.2	คัลป์ลิงแบบขอ่อน	1			
6	เครื่องจับรอก					1.1	หัวจับ	2			
5	ฐาน					1	เหล็ก 1,2	1,2			
4	มอเตอร์	1									

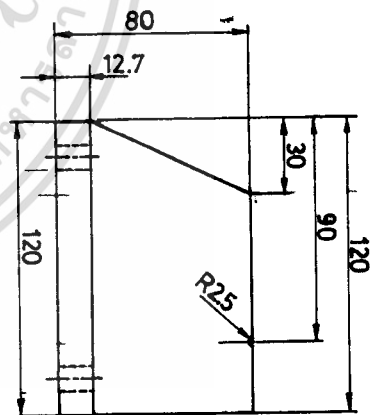
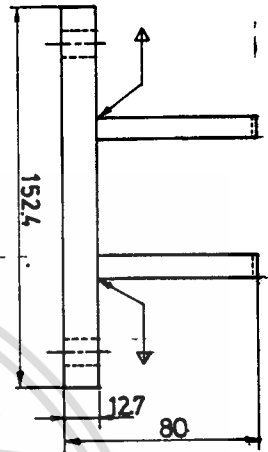
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

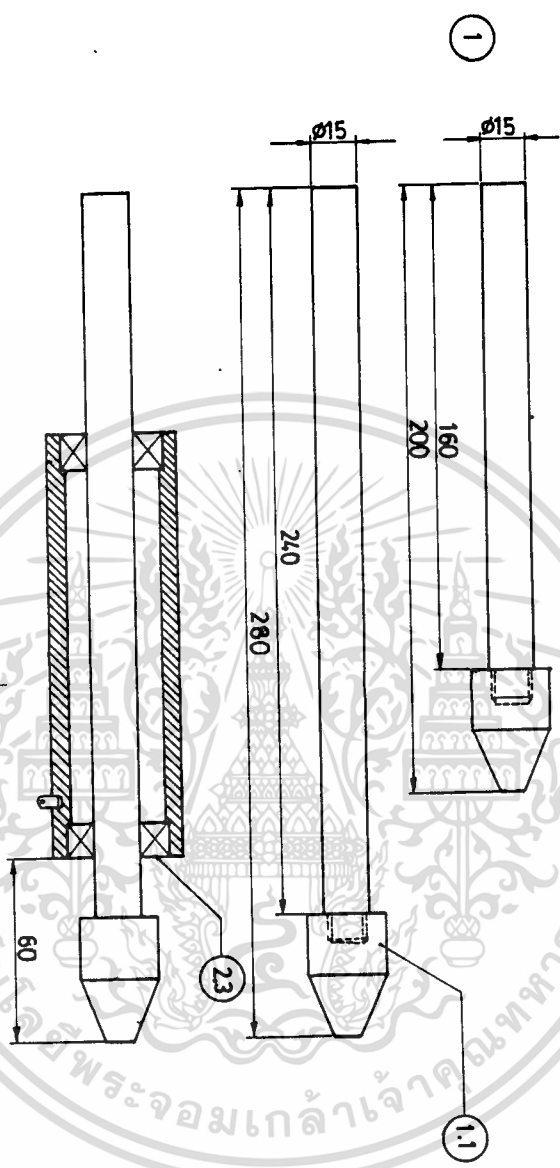
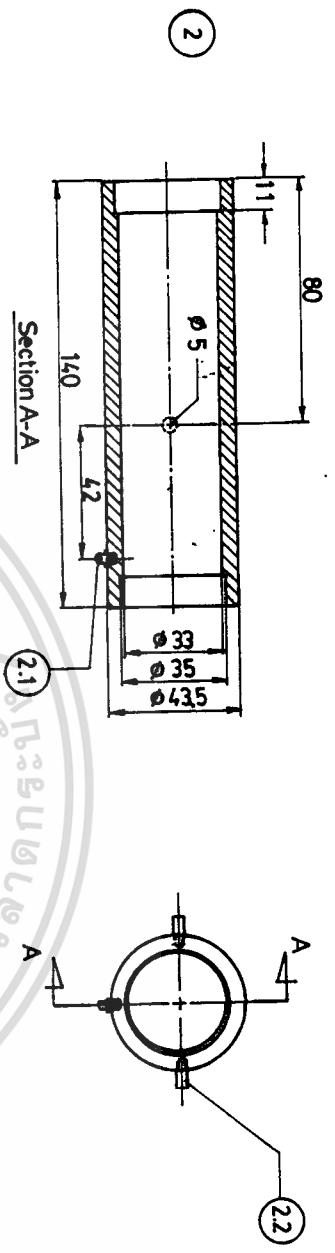


Ø10 4HOLES



NO.	NAME OF PARTS	PIECE	MATERIAL	REMARK
3				
KING MONGKUT'S Institute of Technology				
Scale 1:25				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



NO.	NAME OF PARTS	total pieces	MAT.	NO.	NAME OF PARTS	total pieces	MAT.
2.3	บอลแบ่งรัง 6202	4		2	ปลอก	2	
2.2	สลัก ร่อง	4		1.1	หัวสับ	2	
2.1	สลักรับน้ำหนัก	2		1	เพลา และ 2	1, 1	

SCALE: 1:1 KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

## 1.1. Rutile and semi volatile rutile coated electrodes

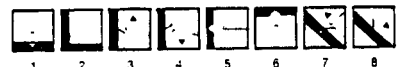
31

Name & classifications	Characteristics & Applications	Analysis of deposited metal Typical values (%)	Mechanical properties Typical values
<b>PRIMAFIXE</b> ASME IIC SFA 5.1 : E 6013 AFNOR 81-309 : E 43 2/2 R 11 BS 639 : E 43 22 R 11 DIN 1913 : E 43 22 R(C)3 ISO 2560 : E 43 2R 11 NBN F 31-001 : E 43.2R-1 UIC 897 : E 43 22 R 21	Coating: Semi volatile rutile Application: Assembly in all positions of steel grades of 370 to 500 N/mm <sup>2</sup> . Assembly of badly prepared sheets contaminated by paint, corrosion, etc. Specially adapted for very low-voltage open circuit welding sets.	C : 0.07 Mn : 0.50 Si : 0.35	T.S. : 550 N/mm <sup>2</sup> Y.S. <sub>0.2</sub> : 480 N/mm <sup>2</sup> E/4 d : 26% Charpy V 0°C : 50 J
			Operating characteristics = = ~ 45 V
			WELDING POSITIONS 1 2 3 4 5 6 7 8
<b>SODORECORD</b> ASME IIC SFA 5.1 : E 6012 AFNOR 81-309 : E 43 2/2 RR 22 BS 639 : E 43 22 RR 22 DIN 1913 : E 43 22 RR 6 ISO 2560 : E 43 2 RR 22 NBN F 31-001 : E 43.2 RR-2	Coating: Rutile Application: Assembly welding in all positions of steel grades 370 to 520 N/mm <sup>2</sup> . Specially adapted for: - Fillet beads in horizontal position - Butt welds of thin and medium sheets - Vertical butt and fillet welds. Excellent resistance to fissuring compared with other electrodes with rutile coating.	C : 0.05 Mn : 0.60 Si : 0.35	T.S. : 550 N/mm <sup>2</sup> Y.S. <sub>0.2</sub> : 480 N/mm <sup>2</sup> E/4 d : 24% Charpy V 0°C : 50 J
			Operating characteristics = - ~ 50 V - 120°C/1H min
			WELDING POSITIONS 1 2 3 4 5 6 7 8

\* SODOMETAL

## 1.2. Cellulosic coated electrodes

Name & classifications	Characteristics & Applications	Analysis of deposited metal Typical values (%)	Mechanical properties Typical values
<b>CELLOCITO PL 2</b> ASME IIC SFA 5.1 : E 6010 AFNOR 81-309 : E 43 3/2 C 10 DIN 1913 : E 43 32 C 4 BS 639 (1986) : E 43 32 C 10 ISO 2560 : E 43 3 C 10 NBN F 31-001 : E 43.3 C-1	Coating: Cellulosic Application: Assembly welding, specially in vertical down position of tube seams from steel grades 370 to 520 N/mm <sup>2</sup> . Assembly welding of all butt welds requiring a good penetration in the first pass in vertical downward position. First passes on steel pipes with a high yield strength (X60 steel) to ensure a high ductility in the first pass and to obtain sound X-rays, even if the grinding is imperfect. E.g.: Pipe-lines and ducts of all types and all diameters, such as pipelines for transport of liquids and gas under pressure.	C : 0.12 Mn : 0.55 Si : 0.20	T.S. : 530 N/mm <sup>2</sup> Y.S. <sub>0.2</sub> : 435 N/mm <sup>2</sup> E/4 d : 26% Charpy V 0°C : 70 J -29°C : 30 J
			Operating characteristics = + (= - recommended for first passes)
			WELDING POSITIONS 1 2 3 4 5 6 7 8
<b>CELLOCITO PL S 2</b> ASME IIC SFA 5.5 : E 9010-G	Coating: Cellulosic Application: Welding in vertical downward position of pipes and ducts of steel with high yield strength (520 to 650 N/mm <sup>2</sup> ). Principally used for filling of chamfers over a first pass made with the CELLOCITO PL2 electrode.	C : 0.13 Mn : 0.60 Si : 0.20 Mo : 0.55	T.S. : 625 N/mm <sup>2</sup> Y.S. <sub>0.2</sub> : 535 N/mm <sup>2</sup> E/4 d : ≥ 20% Properties after heat-treatment at 620°C/1H
			Operating characteristics = +
			WELDING POSITIONS 1 2 3 4 5 6 7 8



ตาราง ข-3 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าที่ชุบแข็งได้  
(Mechanical Properties of Carburizing and Hardening Grade Steels)<sup>a</sup>

AISI Type	Tensile Strength, Ksi	Yield Point, Ksi	Elongation in 2 in., %	Reduction of Area, %	Impact Strength (ft-lb)	Hardness		Machining	AISI Type	Tensile Strength, Ksi	Yield Point, Ksi	Elongation in 2 in., %	Reduction of Area, %	Impact Strength (ft-lb)	Hardness		Machining
						Case (Brinell)	Case (Rockwell)								Core (Brinell)	Case (Rockwell)	
Plain Carbon, Carburized Steels																	
C1015	73	46	32	71	91	149 <sup>b</sup>	C62 (048 <sup>c</sup> )	Poor	4130 <sup>d</sup>	234-98	197-89	12-28	44-71	32-108	461-202 <sup>d</sup>	—	—
C1020	75	48	31	71	93	156 <sup>b</sup>	C62 (046 <sup>c</sup> )	Poor	8630 <sup>d</sup>	250-115	230-93	10-26	47-70	33-114	495-217 <sup>d</sup>	—	—
C1022	83	47	27	66	81	163 <sup>b</sup>	C62 (046 <sup>c</sup> )	Good	1340	282-100	235-76	9-25	24-61	9-97	578-235 <sup>d</sup>	—	—
C1117	97	59	23	53	33	192 <sup>b</sup>	C65 (045 <sup>c</sup> )	Ver. g'd. to excel.	3140	280-112	249-92	11-23	49-69	9-97	555-223 <sup>d</sup>	—	—
C1118	113	77	17	45	16	229 <sup>b</sup>	C61 (065 <sup>c</sup> )	Ver g'd. to excel.	4140 <sup>k</sup>	290-117	251-100	11-23	42-65	11-108	578-235 <sup>d</sup>	—	—
Plain Carbon, Hardened Steels																	
C1030	122-75	93-58	18-33	48-71	8-100	495-179 <sup>d</sup>		Fair to good	8740	290-119	240-100	10-25	42-64	21-88	578-241 <sup>d</sup>	—	—
C1040	113-89	86-62	19-33	48-68	36-72	262-183 <sup>d</sup>		Fair to good	4150	308-128	248-117	10-20	34-60	10-77	578-262 <sup>d</sup>	—	—
C1050	143-96	108-61	10-30	42-63	16-53	321-192 <sup>d</sup>		Fair to good	5150	312-116	250-102	9-22	31-62	7-78	601-241 <sup>d</sup>	—	—
C1060	160-103	112-68	12-28	40-60	14-23	321-212 <sup>d</sup>		Must be Ann'd.	6150 <sup>k</sup>	315-118	270-108	7-22	17-61	14-87	601-241 <sup>d</sup>	—	—
C1080	190-117	142-70	12-24	35-51	10-22	388-223 <sup>d</sup>		Must be Ann'd.	8650 <sup>m</sup>	282-123	250-114	11-22	41-62	9-78	555-255 <sup>d</sup>	—	—
C1095	188-190	120-74	10-26	30-53	5-6	401-229 <sup>d</sup>		Good to very good	9255 <sup>n</sup>	305-130	288-102	2-22	4-49	3-25	601-262 <sup>d</sup>	—	—
C1137	158-87	138-60	6-28	22-70	10-90	352-174 <sup>d</sup>		Good to very good	5160 <sup>v</sup>	322-115	260-106	4-24	9-60	2-63	627-229 <sup>d</sup>	—	—
C1141	237-94	188-68 <sup>o</sup>	7-28	58-63	9-81	461-192 <sup>d</sup>		Good to very good	4063 <sup>m</sup>	345-114	257-103	4-24	8-60	3-67	557-229 <sup>d</sup>	—	—
C1144	128-97	91-68	17-24	35-59	7-62	277-201 <sup>d</sup>		Good to very good									

ตาราง ข-6 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมเหนียวบางชนิด  
(Mechanical Properties of Some Wrought Stainless Steels)

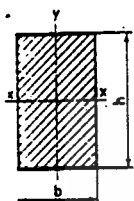
AISI Type	Tensile Strength, ksi			Yield Strength, ksi			Elong. in 2 in., %			Red. of Area, %			Brinell Hardness BHN			Impact Strength, (1200), ft-lb			Endurance Limit, ksi		Mechanical Properties (Based on BHN = 100)	Weldability
	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked					
Austenitic	302	85	110	-	60	35	70	60	150	240	-	110	-	34	-	55	Excellent					
	304	85	110	-	60	60	70	149	240	-	110	90	34	-	55	Excellent						
	310, 310S	95	-	45	50	-	65	179	-	-	-	90	-	-	50	Good						
	316	80	90 <sup>a</sup>	-	60	45 <sup>a</sup>	70	149	190 <sup>a</sup>	-	110	-	38	40 <sup>a</sup>	50	Excellent						
	321	85	100 <sup>a</sup>	-	55	40 <sup>a</sup>	65	150	212 <sup>a</sup>	-	110	-	38	-	55	Excellent						
347, 348	90	100 <sup>a</sup>	-	50	40 <sup>a</sup>	-	160	212 <sup>a</sup>	-	110	-	39	-	-	-	Excellent						
Martensitic	73 <sup>b</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
	403	70	100 <sup>b</sup>	110	43 <sup>b</sup>	85	30 <sup>b</sup>	70	155	-	225	90	75	40	40	Fair						
	410	70	100 <sup>b</sup>	110 <sup>b</sup>	40 <sup>b</sup>	85	40 <sup>b</sup>	23	155	205	225	90	75	40	40	55 <sup>c</sup>						
	414	117 <sup>b</sup>	130 <sup>a</sup>	160 <sup>a</sup>	98 <sup>b</sup>	115 <sup>a</sup>	17 <sup>b</sup>	60	235	270 <sup>a</sup>	-	50	48 <sup>a</sup>	45	45	Fair						
	416, 416R	75	100 <sup>b</sup>	110	40	85 <sup>b</sup>	18	60	155	205 <sup>b</sup>	210	70	75	40	40	40						
	420	95	105 <sup>a</sup>	130	50	85 <sup>a</sup>	17	55	195	315 <sup>a</sup>	300	70	75	40	40	45 <sup>c</sup>						
	431	125	130 <sup>a</sup>	165 <sup>a</sup>	95	110 <sup>a</sup>	12 <sup>a</sup>	55	260	270 <sup>a</sup>	338 <sup>a</sup>	50	40 <sup>a</sup>	45	45	45 <sup>c</sup>						
	440 A, B, C	105	115 <sup>a</sup>	160	60	90 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	70	215	310 <sup>a</sup>	510	7	7 <sup>a</sup>	4	40	40	40					
	446	85	85	70	40	70	20	60	150	185	-	25 <sup>b</sup>	-	-	-	60	Excellent for fusion welding					
Ferritic	405	68 <sup>b</sup>	-	40	70	27 <sup>b</sup>	20	60	150	185	-	25 <sup>b</sup>	-	-	60	Excellent for fusion welding						
430, 430F	75	83 <sup>b</sup>	-	43 <sup>b</sup>	63 <sup>b</sup>	27 <sup>b</sup>	20 <sup>b</sup>	62 <sup>b</sup>	155	212	-	-	-	40 <sup>b</sup>	47	Fair						
446	83 <sup>b</sup>	85	70	53 <sup>b</sup>	70	23 <sup>b</sup>	20	45	163	183	-	2	-	-	47	Fair						

SOURCE: Data was compiled from 1973 *Metals Handbook*, Section 1, ASM International, 1000 Park Ridge Drive, Warrendale, Pa. 15086. *Metals Handbook*, 9th Edition, ASM International, 1000 Park Ridge Drive, Warrendale, Pa. 15086. *Metals Handbook*, 8th Edition, ASM International, 1000 Park Ridge Drive, Warrendale, Pa. 15086. *Metals Handbook*, 7th Edition, ASM International, 1000 Park Ridge Drive, Warrendale, Pa. 15086. *Metals Handbook*, 6th Edition, ASM International, 1000 Park Ridge Drive, Warrendale, Pa. 15086. *Metals Handbook*, 5th Edition, ASM International, 1000 Park Ridge Drive, Warrendale, Pa. 15086. *Metals Handbook*, 4th Edition, ASM International, 1000 Park Ridge Drive, Warrendale, Pa. 15086. *Metals Handbook*, 3rd Edition, ASM International, 1000 Park Ridge Drive, Warrendale, Pa. 15086. *Metals Handbook*, 2nd Edition, ASM International, 1000 Park Ridge Drive, Warrendale, Pa. 15086. *Metals Handbook*, 1st Edition, ASM International, 1000 Park Ridge Drive, Warrendale, Pa. 15086.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-1 คุณสมบัติของหน้าตัด

$I_x$  = โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน x-x ,  $J$  = โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วรอบแกนศูนย์กลาง  
 $Z = I/c =$  โมดูลัสหน้าตัดของรูปเหลี่ยมรอบแกน x-x ,  $Z' = J/c =$  โมดูลัสหน้าตัดเชิงขั้ว ,  $k = \sqrt{I/A} =$  รัศมีจายเรชั่น

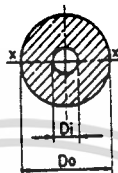


$$I_x = \frac{bh^3}{12}$$

$$Z_x = \frac{bh^2}{6}$$

$$k_x = \frac{h}{\sqrt{12}}$$

$$Z' = \frac{2b^2h}{9} \text{ (สำหรับกรณีนี้)}$$



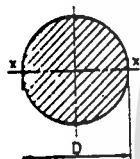
$$I_x = \frac{\pi}{64} (D_o^4 - D_i^4)$$

$$Z_x = \frac{\pi}{32} \left( \frac{D_o^4 - D_i^4}{D_o} \right)$$

$$k_x = \sqrt{\frac{D_o^2 + D_i^2}{16}}$$

$$J = \frac{\pi}{32} (D_o^4 - D_i^4)$$

$$Z'_x = \frac{\pi}{16} \left( \frac{D_o^4 - D_i^4}{D_o} \right)$$



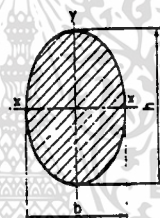
$$I_x = \frac{\pi D^4}{64}$$

$$Z_x = \frac{\pi D^3}{32}$$

$$k_x = \frac{D}{4}$$

$$J = \frac{\pi D^4}{32}$$

$$Z' = \frac{\pi D^3}{16}$$



$$I_x = \frac{\pi b h^3}{64}$$

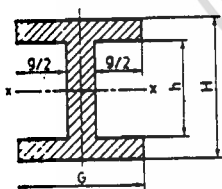
$$Z_x = \frac{\pi b h^2}{32}$$

$$k_x = \frac{h}{4} ; k_y = \frac{b}{4}$$

$$J = \frac{\pi b h}{64} (h^2 + b^2)$$

$$Z' = \frac{\pi b h^2}{16} \text{ (สำหรับกรณีนี้)}$$

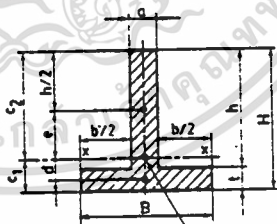
$$A = \pi b h / 4$$



$$I_x = \frac{1}{12} (GH^3 - gb^3)$$

$$Z_x = \frac{GH^3 - gb^3}{6H}$$

$$k_x = \sqrt{\frac{1}{12} \left( \frac{GH^3 - gb^3}{GH - gh} \right)}$$



$$c_1 = \frac{aH^2 + bc^2}{2(aH+bc)} ; c_2 = H - c_1$$

$$I_x = \frac{Bc^3}{12} + (Bc)d^2 + \frac{ah^3}{12} + (ah)e^2$$

$$ค.น.ค. = Bc + a(H-c) ; k = \sqrt{I/A}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (References) .

ก) เอกสารอ้างอิงภาษาไทย

- 1) วรวิทย์ อิงภรณ์ , ดร.และชาญ ภูมิตถ์งาน การออกแบบเครื่องจักรกล  
บ.ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (2531)
- 2) พรศักดิ์ อรรถวานิช วัสดุวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี-  
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วศ.สจล. 121 (2530)

ข) เอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษ

- 3) Forrcst, P.G. the Fatigue of Metals Pergamon Press (1962)
- 4) George E Dieter Mechanical Metallurgy S.I.Metric Edition,  
Mc Graw-Hill (1988)
- 5) Japanies Standard Association. JIS Handbook 1986 Ferrous  
Materials and Metallurgy Copyright (1986)
- 6) Manual on Fatigur Testing A.S.T.M.Sp. Tech-Publication  
(1979)
- 7) William F. Smith. Principle of Meterial Science and  
Engineering Mc-Graw Hill Internation Edition (1986)
- 8) Skidney H. Avner Introduction to Physical Metallurgy  
Mc-Graw Hill Internation Edition (1974)
- 9) Joseph E. Shigley and Larry D. Mitchell Mechanical  
Engineering Design Mc-Graw Hill Internation Edition  
(1983)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ไม่อาจสำเร็จขึ้นได้ถ้ามิได้รับการสนับสนุนทางด้านทุน จากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ด้านวิชาการจากอาจารย์พรศักดิ์ อรรถวานิช และอาจารย์อรรถสรณ์ สุนทรชาติ ขอขอบใจคุณวารุณี เจริญสวัสดิ์ เพื่อนผู้ช่วยเหลือด้านการจัดพิมพ์, รูปเล่ม ด้านความเรียบร้อย

คณะผู้จัดทำ

