

เครื่องทดสอบความแข็งของฟิล์มสีโดยการใช้ดินสอ

PENCIL HARDNESS TEST PAINT FILM MECHINE



โครงการวิศวกรรมศาสตร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2543

หัวข้อ โครงการงานวิศวกรรมศาสตร์

เครื่องทดสอบความแข็งแรงของฟิล์มสี

โดย

นายทนงศักดิ์ มูลศรี

นายบำรุง ชื่นทอง

ภาควิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา

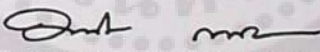
อาจารย์มนัส แป้งไธ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อนุมัติให้นับ โครงการวิศวกรรม
ศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ กองสุวรรณ

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

อาจารย์มนัส แป้งไธ

.....กรรมการ

อาจารย์ไพศาล นาคผล

.....กรรมการ

อาจารย์กิติ สภาพรประสาธน์

เครื่องทดสอบความแข็งของฟิล์มสีโดยใช้ดินสอ

ปีการศึกษา 2543

โดย

นายทองศักดิ์ มูลศรี

นายบำรุง ชันทอง

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์มนัส แป้งใส

บทคัดย่อ

โครงการวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต เป็นการศึกษาการออกแบบเครื่องทดสอบความแข็งของฟิล์มสี โดยใช้ดินสอที่มีค่าความแข็งต่างๆ กันเป็นตัวกำหนดค่าความแข็ง โดยขนาดของชิ้นทดสอบ มีขนาดเท่ากับ 150 มม.× 70 มม.× 0.8 มม. นำมายึดไว้บนเครื่องทดสอบให้แน่น แล้วนำดินสอมาขูดขีดบนชิ้นทดสอบ ใช้แรงกดดินสอลงบนชิ้นทดสอบขณะขูดขีด 1 กิโลกรัม ให้ชิ้นทดสอบเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ประมาณ 1 เซนติเมตรต่อวินาที ดินสอเอียงทำมุมกับแนวระนาบ 45° ทำการทดสอบประมาณ 3 ครั้งต่อชิ้นทดสอบ 1 ชิ้น

พิจารณารอยขูดขีดที่เกิดขึ้นบนชิ้นทดสอบที่ได้ จากค่าความแข็งของดินสอแต่ละเบอร์ เพื่อกำหนดค่าความแข็งของฟิล์มสีเทียบกับค่าความแข็งของดินสอ ดินสอที่ใช้จะมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 5H ถึง 5B

PENCIL HARDNESS TEST PIANT FILM MECHINE

Academic Year 2000

By

Mr. Thanongsak Moonsri

Mr. Bamrung Kanthong

Project Report Advisor

Mr. Manas Pangsai

ABTRACT

This Engineering project is lerning design of hardness test paint film . by used diffrence of value hardness pencil are specified hardness. Put test piece have size 150 mm.x70 mm.x0.8 mm. Attach a test piece to attach stand of scratching testing mechine. Scratching pencil on the test piece by have compressive force 1 kg. Make the test piece moving constant speed approximately 1 cm/s. inclining the pencil about 45° from horizontal, and scratch three time for one the test piece

Consider scratch on the test piece from value hardness a part number of pencil, compare value hardness of paint film. Hardness value of pencil is between 5H to 5B

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงการวิศวกรรมศาสตร์ขอขอบคุณท่านอาจารย์ มนต์ แป้งไธ คอลดจน อาจารย์และบุคลากรทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำจนทำให้โครงการวิศวกรรมนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี พร้อมทั้งกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้อบรมสั่งสอนให้ความรู้แก่ผู้จัดทำตั้งแต่ต้น คอลดจนเพื่อนนิสิตทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจจนกระทั่งทำโครงการวิศวกรรมศาสตร์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ



สารบัญ

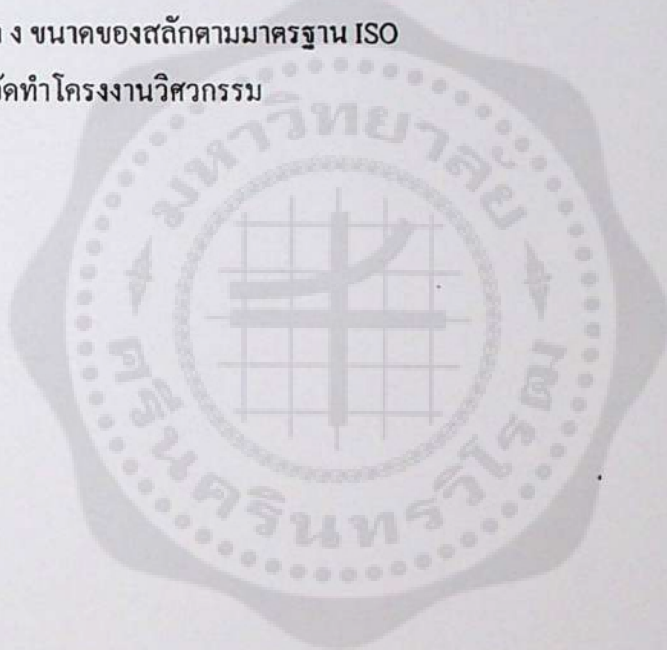
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูป	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์ และ คำย่อ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของโครงการวิศวกรรมศาสตร์	1
วัตถุประสงค์ของ โครงการวิศวกรรมศาสตร์	1
ขอบเขตของโครงการวิศวกรรมศาสตร์	1
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิศวกรรมศาสตร์	1
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2
วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิว	2
ประเภทของสารเคลือบผิว	2
การเกิดฟิล์ม	3
การแห้งของสารเคลือบผิว	4
คุณสมบัติทางกลของวัสดุ	4
ค่าความปลดคภัย	6
คาน	7
ชนิดของแรงหรือน้ำหนักที่กระทำบนคาน	10
แรงเฉือนและ โมเมนต์คดภายในคาน	11
แผนภาพแรงเฉือนและ โมเมนต์คดภายในคาน	12
สลัก	14
ความเค้นที่รอยต่อด้วยสลัก	16
สปริง	18

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ (ต่อ)	หน้า
✓ คุณสมบัติของสปริง	18
✓ ความเค้นในสปริงขรับแรง	20
การเชื่อมต่อ	21
ชนิดของรอยเชื่อม	23
สกรูต่งกำลัง	24
เกลียวในระบบอังกฤษ	25
เกลียวสี่เหลี่ยมคางหมูตามมาตรฐาน ไอ เอส โอ	26
โมเมนต์บิดสำหรับสกรูต่งกำลัง	27
ความเค้นเฉือนในพินเกลียว	29
✓ โรลลิงแบร์ริง	30
✓ มิติมาตรฐานของโรลลิงแบร์ริง	32
3. การคำนวณและการออกแบบ	33
การคำนวณหาขนาดของน้ำหนักร	33
การคำนวณหา น้ำหนักของแผ่นรองน้ำหนักร	34
การคำนวณการออกแบบคาน	35
การคำนวณการออกแบบ น้ำหนักสมดุลย์	36
การคำนวณการออกแบบสลัก	37
การคำนวณหาขนาดของเกลียวสกรูต่งกำลัง	39
การคำนวณการออกแบบสปริง	40
4. ผลการทดลอง	41
อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง	41
วิธีการทดสอบ	42
ผลการทดลอง	43
5. สรุปผลการทดลอง	44
สรุปผลการทดลอง	44
ปัญหาที่พบ	44
ข้อเสนอแนะ	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ (ต่อ)	
บรรณานุกรม	45
ภาคผนวก ก คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้า	46
ภาคผนวก ข คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเหล็กกล้า	48
ภาคผนวก ค ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดที่สำคัญ	50
ภาคผนวก ง ขนาดของสลักตามมาตรฐาน ISO	52
ประวัติผู้จัดทำโครงการวิศวกรรม	56



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่าความปลอดภัย	7
2.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสี่ยงทาน	29
4.1 แสดงผลการทดลอง	43



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงแผนภาพความเค้น – ความเครียด	5
2.2 แสดงคานช่วงเดียวหรือคานอย่างง่าย	8
2.3 แสดงคานยื่น	8
2.4 แสดงคานช่วงเดียวปลายยื่น	8
2.5 แสดงคานยึดแน่น	9
2.6 แสดงคานแบบปลายค้ำหนึ่งยึดแน่นอีกปลายหนึ่งยึดหมุน	9
2.7 แสดงคานต่อเนื่อง	9
2.8 แสดงแรงที่กระทำเป็นจุด	10
2.9 แสดงแรงที่กระจายสม่ำเสมอ	10
2.10 แสดงแรงที่กระจายไม่สม่ำเสมอ	10
2.11 แสดงแรงคู่ควบหรือ โมเมนต์คด	11
2.12 แสดงแรงรวม	11
2.13 แสดงการวิเคราะห์แรงที่กระทำกับคาน	12
2.14 แสดงสถักรรรมคา	14
2.15 แสดงสถักแบบเรียบ	15
2.16 แสดงสถักแบบเคลวิส	15
2.17 แสดงสถักแบบเคลวิสมีหัว	15
2.18 แสดงสถักแบบมีร่อง	16
2.19 แสดงแรงบนสถัก	16
2.20 แสดงไดอะแกรมแรงบนสถัก	17
2.21 แสดงความสัมพันธ์ของแรงสปริงและระยะทางการเคลื่อนที่ของสปริง	18
2.22 แสดงแผนภาพแนวเส้นโค้งของสปริงต่างๆ	19
2.23 แสดงความแข็งของสปริงและเส้นโค้งแสดงคุณสมบัติของสปริง	19
2.24 แสดงสปริงชด	20
2.25 แสดงการเชื่อมไฟฟ้า	21

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26 แสดงการเชื่อมแก๊ส	22
2.27 แสดงการเชื่อมด้วยความต้านทานไฟฟ้า	22
2.28 แสดงรอยเชื่อมชนิดต่างๆ	23
2.29 แสดงรอยเชื่อมมุม	23
2.30 แสดงรอยเชื่อมชนิดอื่นๆ	24
2.31 แสดงเกลียวที่เหล็ยมคางหมู	24
2.32 แสดงชนิดของเกลียวสำหรับสกรูส่งกำลัง	25
2.33 แสดงขนาดต่างๆ ของเกลียวที่เหล็ยมคางหมู	26
2.34 แสดงตัวอย่างการใช้สกรูส่งกำลังเป็นแม่แรง	27
2.35 แสดงแผนภาพปฏิกิริยาบนเกลียวเนื่องจากการยกน้ำหนัก	28
2.36 แสดงฟันเกลียวรับแรงค้ำยัน	29
2.37 แสดงส่วนต่างๆ ของบอลเบริง	30
2.38 แสดงขอบเขตมิติ สำหรับอนุกรมมิติของเบริงต่างๆ	32
4.1 แสดงเครื่องทดสอบความแข็งของฟิล์มสี	41

สัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
σ	ความเค้นปกติ	kg/m^2
τ	ความเค้นเฉือน	kg/m^2
ρ	ความหนาแน่น	kg/m^3
α	มุมฮิลิกซ์ หรือ มุมหลัด	degree
N	ค่าความปลอดภัย	-
K	ค่าคงที่ของสปริง	-
χ	ระยะศูนย์กลางของสปริง	cm
W	น้ำหนัก	kg
v	ความเร็ว	cm/s

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของโครงการวิศวกรรมศาสตร์

เนื่องจากในสภาพปัจจุบันนี้ สียได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากมาย เพราะอุปกรณ์เกือบทุกอย่างจะต้องมีการพันสี เพื่อป้องกันผิวของวัสดุหรือประโยชน์อื่นๆ อีกมากมาย และยังในโรงงานอุตสาหกรรมยังสำคัญต้องใช้มาก และในกระบวนการผลิตจะต้องมีการตรวจสอบความแข็งแรงของสีเช่นกัน แต่ในการตรวจสอบความแข็งแรงของสี วิธีการตรวจสอบโดยใช้คนเป็นคนตรวจสอบโดยใช้ดินสอเอียง 45 องศาและใช้แรงกดประมาณ 1 กิโลกรัม กดลงไปบนชิ้นงานในการตรวจสอบแบบนี้จึงมีการผิดพลาดเพราะแรงกดและการเอียงของดินสอของแต่ละคนนั้นย่อมไม่เท่ากัน ทางกลุ่มจึงมีแนวคิดที่จะทำอุปกรณ์การทดสอบที่จะจัดการผิดพลาด ของคนออกไปเพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่แม่นยำและถูกต้อง

วัตถุประสงค์ของโครงการวิศวกรรมศาสตร์

1. สามารถใช้ทฤษฎีที่ศึกษามาใช้ออกแบบในโครงการได้
2. โครงการสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานจริงหรือโรงงานอุตสาหกรรมได้

ขอบเขตของโครงการวิศวกรรมศาสตร์

ใช้วัดความแข็งแรงของสีโดยใช้ดินสอของ Mitsubishi "UNI" สำหรับทดสอบหาค่าความแข็งแรงโดยมีข้อกำหนดคือกดด้วยแรง 1 กิโลกรัม เอียงดินสอทำมุม 45 องศา ใช้ความเร็วประมาณ 1 เซนติเมตร ต่อ วินาที

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิศวกรรมศาสตร์

1. ความแน่นอนของวิธีการวัด
2. การออกแบบและการทำชิ้นส่วน

บทที่ 2

ทฤษฎี

วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิว

สารเคลือบผิว (surface coating) เช่น สี มีอิทธิพลต่อสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อมนุษย์มากมายพอสมควร เช่น จิตรกรใช้สีเป็นสื่อแสดงออกถึงจินตนาการของคนในรูปแบบต่างๆ กัน นักอุตสาหกรรมใช้สารเคลือบผิวป้องกันพื้นผิววัสดุโครงสร้างให้มีความคงทนถาวรขึ้นเป็นต้น

วัตถุประสงค์ของการเคลือบผิวมีอยู่ด้วยกัน 2 ประการ คือ

1. เพื่อป้องกันพื้นผิววัสดุจากมลภาวะต่างๆ สารเคลือบผิวจะช่วยให้ผิวหน้าของวัสดุที่ถูกเคลือบมีความทนทานต่ออากาศ น้ำ และสารเคมีต่างๆ นอกจากนี้ สารเคลือบผิวยังช่วยทำให้ผิวหน้าของวัสดุมีความแข็งแรงขึ้น ทนทานต่อการขัดสีได้มากขึ้น และอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

สารเคลือบผิวบางประเภท ใช้ทาผิวหน้าที่มีรูพรุน เช่น ผิวคอนกรีตและพลาสติก เพื่อช่วยให้ทำความสะอาดได้ง่ายขึ้น

2. เพื่อตกแต่งให้แลดูสวยงาม ความสวยงามของวัสดุหลังการเคลือบผิวหน้าด้วยสารเคลือบผิว อาจมาจากสี (color) จากความเงา (gloss) จากลวดลายตกแต่ง (texture) หรือจากความสว่าง (lighting) หรือจากทั้งหมดรวมกัน

สีของผิวหน้าที่มีการสะท้อนแสงของผิวนั้นๆ สีขาวจะสะท้อนแสงได้สูงสุดและสีดำจะสะท้อนแสงได้ต่ำสุด

ประเภทของสารเคลือบผิว

1. สี (Paint) หมายถึง สารที่มีส่วนผสมของผงสี (pigment) สารยึด (binder) หรือตัวนำสี (vehicle) ตัวทำละลาย (solvent) และ สารเติมแต่ง (additives)

ผงสี เป็นสารที่ให้สีและมีความสามารถในการปิดบังพื้นผิวหรือกำลัງซ่อนแสง (hiding power) ผงสีอาจเป็นสารประกอบอินทรีย์ หรือ อนินทรีย์ก็ได้

สารยึดเหนี่ยวหรือสิ่งนำสี คือ สารที่ทำหน้าที่ยึดประสานอนุภาคของสารประกอบในสีเข้าไว้ด้วยกันให้เกิดเป็นฟิล์มของสีติดแน่นกับพื้นผิวที่ถูกละเลียบ ตัวอย่างของสารยึด ได้แก่ น้ำมันแห้งเร็ว (drying oil) เรซินธรรมชาติ เรซินสังเคราะห์ เป็นต้น

ตัวทำละลาย มีหน้าที่ช่วยปรับความหนืดของสี เพื่อให้เหมาะต่อการผลิต หรือ สะดวกต่อการใช้ ตัวทำละลายส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์

สารเติมแต่ง เป็นสารที่เติมลงไปในสีเพียงเล็กน้อย เพื่อช่วยให้สีมีสมบัติพิเศษต่างๆ เช่น ทำให้สีแห้งเร็วขึ้น ทำให้สีไม่ขึ้นรา . .

2. วาร์นิช (Varnish) คือ สารเคลือบผิวที่ประกอบด้วยสารยึดเหนี่ยวเพียงอย่างเดียว

3. แล็กเกอร์ (Lacquer) ได้แก่ สารละลายซึ่งได้จากการนำเรซิน หรือ สารย้อมมาละลายในตัวทำละลายอินทรีย์

การเกิดฟิล์ม (Film Formation)

การเปลี่ยนสภาพจากสารเคลือบผิวในภาชนะบรรจุ ไปเป็นฟิล์มที่ยึดติดแน่นกับผิว และทำให้พื้นผิวมีความทนทานเพิ่มขึ้นคือ กระบวนการการเกิดฟิล์ม ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนคือ

1. แอปพลิเคชัน (Application) เป็นการนำสารเคลือบผิวไปเคลือบผิวหน้าหรือทำให้ผิวหน้าของวัสดุเกิดเป็นฟิล์มบางๆ ขึ้น การทำอาจใช้แปรง ลูกกลิ้ง การพ่น หรือการจุ่มก็ได้

2. ฟิกเซชัน (Fixation) เป็นการทำให้ฟิล์มติดแน่น ไม่หลุดออกจากผิวหน้า และไม่เกิดเป็นชั้นของฟิล์มที่ไม่ต้องการ ตัวอย่างเช่น กรณีที่เป็นสารเคลือบผิวที่มีตัวทำละลายอินทรีย์เป็นส่วนประกอบการเกิดเป็นฟิล์มในขั้นตอนฟิกเซชัน จะเกิดโดยการระเหยของตัวทำละลาย หรือสารเคลือบผิวเป็นระบบลาเทกซ์ (latex system) ขั้นตอนฟิกเซชัน จะเกิดโดยการระเหยของน้ำ

3. การบ่ม (Curing) เป็นการทำให้ฟิล์มที่ผ่านขั้นตอนฟิกเซชันแล้วมีความทนทานดีขึ้น ซึ่งอาจทำได้โดยการใช้แสง ความร้อน หรืออากาศ

กระบวนการเกิดฟิล์มของสารเคลือบบางชนิด ไม่จำเป็นจะต้องมี 3 ขั้นตอนเสมอไป เช่น แล็กเกอร์ มีขั้นตอนฟิกเซชัน และการบ่มรวมกัน โดยอาศัยการระเหยของตัวทำละลายระหว่างการแอปพลิเคชัน เป็นต้น

การแห้งของสารเคลือบผิว

1. แห้งโดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์ (Physical Drying) การแห้งด้วยวิธีนี้เกิดจากการระเหยของตัวทำละลาย กลายเป็นฟิล์มยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะทุติยภูมิ (secondary force) อย่างอ่อนๆ ดังนั้น ฟิล์มที่เกิดจึงยังงอกละลายได้ในตัวทำละลายของมัน ตัวอย่างของสารเคลือบผิวที่แห้งโดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์ ได้แก่ แล็กเกอร์ สีที่ทำจากยางคลอรีนเซด (chlorinated rubber)

2. แห้งโดยกรรมวิธีทางเคมี (Chemical Drying) ฟิล์มที่ได้จากการแห้งตัวโดยวิธีนี้ยึดติดกับผิวหน้าด้วยพันธะปฐมภูมิ (primary bond) จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี ดังนั้น ฟิล์มที่ได้จะแข็งแรงและทนทานต่อตัวทำละลาย

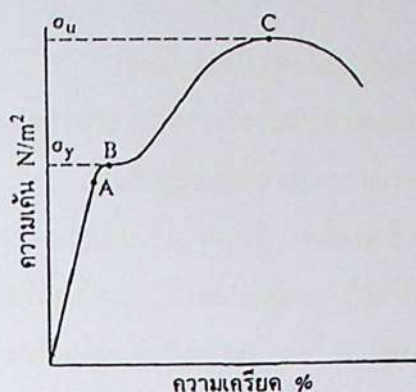
การแห้งโดยกรรมวิธีทางเคมีนี้ อาจเกิดขึ้นโดย

แห้งโดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารเคลือบผิวประเภทนี้จะดูดออกซิเจนในอากาศเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ขนาดของอนุของสารเคลือบผิวใหญ่ขึ้น จนรวมตัวเป็นฟิล์มแห้งแข็งตามต้องการ การแห้งโดยวิธีนี้ อาจเร่งให้แห้งเร็วขึ้นได้โดยการใส่สารเร่งแห้ง (dryer)

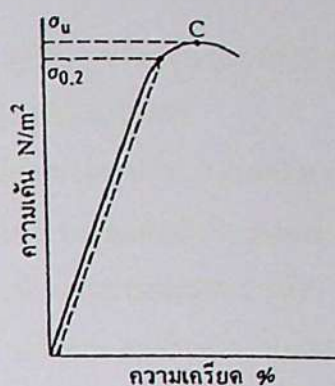
แห้งโดยการเกิดปฏิกิริยาเคมี สารเคลือบผิวประเภทนี้ ส่วนใหญ่บรรจุในภาชนะแยกกัน ก่อนใช้จึงนำมาผสมกันตามอัตราส่วนที่ผู้ผลิตแนะนำ ซึ่งเมื่อผสมแล้ว จะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นฟิล์มที่แห้งแข็ง ดังนั้น เมื่อผสมแล้วจึงต้องใช้ให้หมดภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้ ถ้าปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง เรียกสารเคลือบผิวชนิดนี้ว่า สารเคลือบผิวชนิดบ่มเย็น (cold curing coating) แต่ถ้าการเกิดปฏิกิริยา ต้องใช้อุณหภูมิสูง เรียกสารเคลือบผิวชนิดนี้ว่า สารเคลือบผิวชนิดอบ (stoving or baking coatings)

คุณสมบัติทางกลของวัสดุ

ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจะต้องคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนต่างๆ โดยคำนึงถึงคุณสมบัติทางกลของวัสดุเป็นสำคัญ ซึ่งจะพบว่ามีชื่อเรียกต่างๆ อยู่มาก ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการอ้างอิงต่อไปจึงจะได้นิยามความหมายของชื่อต่างๆ ไว้พอสังเขปดังต่อไปนี้



(ก) วัสดุเหนียว



(ข) วัสดุเปราะ

รูปที่ 2.1 แผนภาพความเค้น - ความเครียด

ความต้านทานแรงดึงอัตรสุดท้าย (ultimate tensile strength) , σ_u เป็นความเค้นสูงสุดที่วัสดุจะรับได้ ซึ่งคำนวณได้จากการนำแรงที่ใช้ดึงวัสดุตัวอย่างหารด้วยพื้นที่หน้าตัดเดิม และแทนด้วยจุด C บนกราฟความเค้น - ความเครียดในรูปที่ 2.1 ในบางครั้งอาจเรียกให้สั้นลงได้ว่าความต้านแรงดึง (tensile strength)

ขีดจำกัดความเป็นสัดส่วน (proportional limit) เป็นค่าความเค้นค่าสุดท้ายที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียดดังจุด A ในรูปที่ 2.1 (ก) เมื่อพ้นจุดนี้ไปแล้วกราฟจะเป็นเส้นโค้งในทางปฏิบัติจะหาจุดนี้ยากมาก ฉะนั้นในการคำนวณจึงนิยมใช้ความต้านแรงดึงคราก (yield strength)

ขีดจำกัดความยืดหยุ่น (elastic limit) อยู่ระหว่างจุด A และ B ในรูปที่ 2.1 (ก) เป็นจุดสุดท้ายที่เมื่อเอาแรงภายนอกออกแล้วชิ้นตัวอย่างทดสอบจะกลับมาเป็นขนาดเท่าเดิม กราฟในช่วง AB นี้จะมีความโค้งเล็กน้อย

ความต้านแรงดึงคราก (yield strength) , σ_y เป็นจุดที่ชิ้นทดสอบยืดออกได้มากโดยที่เพิ่มแรงอีกเล็กน้อยเท่านั้น (หรือไม่ได้เพิ่ม) ซึ่งแทนด้วยจุด B หรือเรียกว่าจุดคราก ความเค้นที่จุดนี้ถือว่าเป็นหลักในการออกแบบทั่วไป สำหรับวัสดุที่ไม่มีจุดคราก เช่น เหล็กหล่อ ก็อาจใช้ความต้านแรงดึงเป็นหลักในการออกแบบหรืออาจหาความเค้นที่เรียกว่า ความเค้นที่จุดยืดถาวร (proof stress) มาใช้แทนความต้านแรงดึงคราก โดยการลากเส้นขนานกับส่วนที่เป็นเส้นตรงของกราฟตามเปอร์เซ็นต์ของความเครียดที่ต้องการดังรูปที่ 2.1 (ข) โดยทั่วไปแล้วมักจะใช้ 0.2 % และเพื่อแสดงความแตกต่างระหว่างความเค้นที่จุดยืดถาวรกับความต้านแรงดึงคราก จึงใช้สัญลักษณ์แทนความเค้นที่จุดยืดถาวร 0.2 % ว่า $\sigma_{0.2}$ หรืออาจเรียกสั้นๆ ว่าความเค้นที่จุด 0.2 %

ยังส์โมดูลัส (Young' modulus) หรือ โมดูลัสความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) เป็นอัตราส่วนระหว่างความเค้นต่อความเครียดในส่วนที่กราฟเป็นเส้นตรง

โมดูลัสเฉือน (shear modulus) หรือ โมดูลัสความแข็งแรง (modulus of rigidity) ในการทดสอบชิ้นส่วนโดยใช้แรงเฉือนแล้วเขียนกราฟระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) กับความเครียดเฉือน (shear strain) ก็จะได้กราฟลักษณะเดียวกับการทดสอบแรงดึง อัตราส่วนระหว่างความเค้นเฉือนต่อความเครียดเฉือนในส่วนที่กราฟเป็นเส้นตรงเรียกว่า โมดูลัสเฉือน

ตาราง ก. ในภาคผนวก แสดงคุณสมบัติทางกลของวัสดุชนิดต่างๆ ซึ่งจะได้นำมาใช้ประกอบในการคำนวณออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ต่อไป

คุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ ความเค้นแรงเฉือนคราก (yield strength in shear) ซึ่งใช้ในการออกแบบเสมอ แต่มิได้ให้ไว้ในตารางดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่อย่างไรก็ตามให้ใช้ค่าประมาณจากตารางได้ดังนี้คือ

$$\tau_y = 0.6\sigma_y \quad (2.1)$$

ค่าความปลอดภัย

โดยทั่วไปแล้วค่าความปลอดภัยหมายถึง ตัวเลขที่นำไปหารค่าความต้านแรงดึง หรือความต้านแรงดึงครากของวัสดุ เพื่อให้ได้ความเค้นใช้งาน (working stress) ในชิ้นส่วนที่กำลังออกแบบ ซึ่งเรียกสั้นๆ ว่า ความเค้นออกแบบ (design stress) หรือความเค้นใช้งาน ซึ่งค่าความปลอดภัยสามารถหาได้จากตารางที่ 2.1 หรือจากสมการ

$$N_s = \frac{\text{ความต้านแรงดึง}}{\text{ความเค้นที่คำนวณได้}} \quad (2.2)$$

$$N_u = \frac{\text{ความต้านแรงดึงคราก}}{\text{ความเค้นที่คำนวณได้}} \quad (2.3)$$

ค่าความปลอดภัยที่จะเลือกใช้ขึ้นอยู่กับตัวประกอบดังนี้

1. ชนิดของแรงที่มากระทำต่อชิ้นงานว่าเป็นแรงที่จคงอยู่ในประเภทอยู่นิ่ง หรือเปลี่ยนแปลงขนาดอยู่ตลอดเวลาขณะใช้งาน
2. ลักษณะการใช้งานของชิ้นงานว่าเกี่ยวข้องกับการที่อาจสูญเสียชีวิตหรือทรัพย์สินจำนวนมากหรือไม่
3. น้ำหนักของชิ้นงานว่ามีความจำเป็นจะต้องเบาที่สุดหรือไม่ เช่น ชิ้นส่วนสำหรับเครื่องบิน เป็นต้น ในกรณีเช่นนี้การใช้ค่าความปลอดภัยจะต้องพิจารณาอย่างละเอียดเป็นพิเศษ

4. จำนวนของชิ้นงานที่ผลิตออกมา ถ้าผลิตครั้งละมากๆ ควรระมัดระวังในการใช้ค่าความปลอดภัยที่ไม่สูงจนเกินไป ทั้งนี้เพื่อให้ประหยัดวัสดุได้มากที่สุด

5. เนื้อวัสดุที่ผลิตออกมาอาจไม่สม่ำเสมอกัน ทำให้ความสามารถในการรับแรงต่างกัน

สำหรับผู้ที่มีความชำนาญในการออกแบบน้อย ก็อาจจะใช้ค่าที่แนะนำไว้ตามตารางที่ 2.1 เป็นแนวทางในการคำนวณออกแบบได้

ค่าความปลอดภัยสำหรับแรงซ้ำทิศทางเดียว (repeated , one direction) หรือแรงซ้ำสองทิศทาง (repeated and reversed) ที่ให้ไว้ในตารางที่ 2.1 หมายถึงค่าความปลอดภัยที่จะนำไปใช้เมื่อสมมุติให้เป็นแรงอยู่หนึ่ง (dead load) ในการออกแบบสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาโดยคิดละเอียดลงไปถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแรง และความทนของวัสดุต่อแรงที่เปลี่ยนอยู่เสมอนี้ จะใช้ค่าความปลอดภัยแตกต่างออกไป

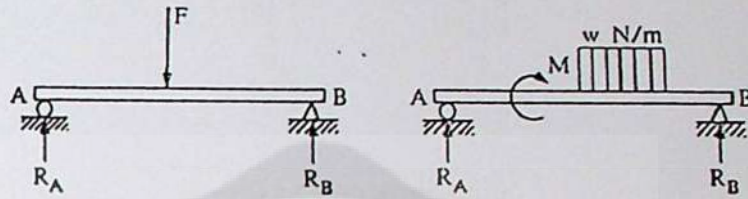
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความปลอดภัย

ชนิดของแรง	เหล็กเหนียวและ โลหะเหนียว		เหล็กหล่อและ โลหะเปราะ
	N_y	N_u	N_u
แรงอยู่หนึ่ง	1.5 - 2	3 - 4	5 - 6
แรงซ้ำทิศทางเดียวหรือ			
แรงกระแทกเล็กน้อย	3	6	7 - 8
แรงซ้ำสองทิศทางหรือ			
แรงกระแทกเล็กน้อย	4	8	10 - 20
แรงกระแทกอย่างหนัก	5 - 7	10 - 15	15 - 20

คาน

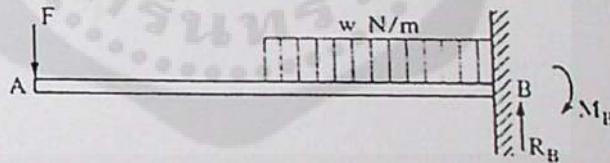
หมายถึง ส่วนต่างๆ ของโครงสร้างที่ถูกกระทำด้วยแรงหรือน้ำหนักตามขวางที่มีทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนของท่อนวัสดุหรือ โมเมนต์ของแรงคู่ควบที่อยู่ในระนาบเดียวกัน ชนิดของคานแบ่งออกได้หลายชนิด

1. คานช่วงเดียวหรือคานแบบง่าย (simple beam or simply supported) คือ คานที่มีจุดรองรับที่ปลายทั้งสองข้างเป็นแบบยึดหมุน โดยด้านหนึ่งเป็นแบบลูกกลิ้งและปลายอีกด้านหนึ่งเป็นหมุด (คมมิด) ที่จุดรองรับแต่ละแห่งของคานจะเกิดแรงปฏิกิริยาเท่านั้น แต่จะไม่มีโมเมนต์เกิดขึ้น



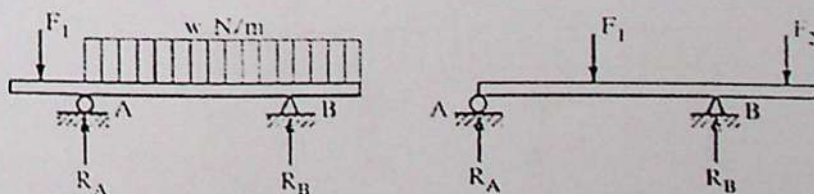
รูปที่ 2.2 แสดงคานช่วงเดียวหรือคานแบบง่าย

2. คานยื่น (cantilever beam) คือ คานที่มีปลายด้านหนึ่งเป็นอิสระ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งมีจุดรองรับแบบฝังแน่นหรือยึดแน่นจนกระทั่งไม่สามารถจะหมุนได้ ฉะนั้นปลายที่ถูกยึดแน่นนั้นจะเกิดทั้งแรงปฏิกิริยาและ โมเมนต์ขึ้น



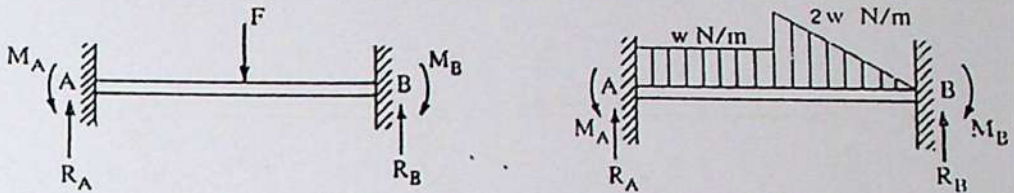
รูปที่ 2.3 แสดงคานยื่น

3. คานช่วงเดียวปลายยื่น (overhanging beam) คือคานที่วางอยู่บนจุดรองรับทั้งสองคล้ายคานช่วงเดียว แต่จะมีส่วนที่ยื่นออกนอกจุดรองรับโดยจะยื่นออกข้างเดียวหรือทั้งสองข้างก็ได้



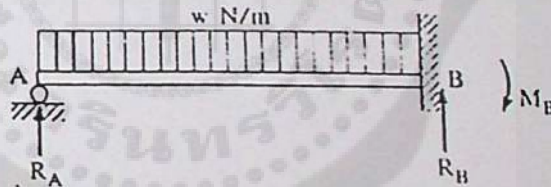
รูปที่ 2.4 แสดงคานช่วงเดียวปลายยื่น

4. คานยึดแน่น (fixed - ended beam) คือคานที่มีปลายทั้งสองข้างของคานเป็นแบบยึดแน่นหรือฝังแน่น ทำให้แต่ละข้างเคลื่อนที่หรือหมุนไปจากสภาพเดิมไม่ได้



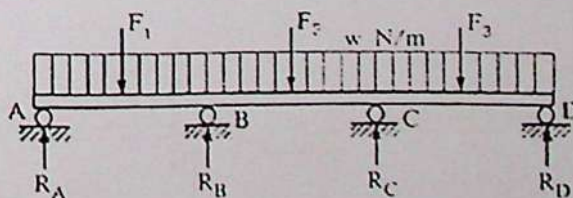
รูปที่ 2.5 แสดงคานยึดแน่น

5. คานแบบปลายหนึ่งยึดแน่นอีกปลายหนึ่งยึดหมุน (propped beam) คือ คานยื่นที่ปลายอิสระของคานจะมีจุดรองรับอยู่ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงมากขึ้น



รูปที่ 2.6 แสดงคานแบบปลายด้านหนึ่งยึดแน่นอีกปลายหนึ่งยึดหมุน

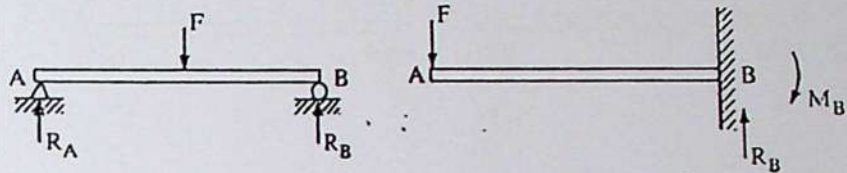
6. คานต่อเนื่อง (continuous beam) คือ คานที่มีจุดรองรับมากกว่าสองแห่งขึ้นไป หรือมีช่วงของคานตั้งแต่สองช่วงขึ้นไป



รูปที่ 2.7 แสดงคานต่อเนื่อง

ชนิดของแรงหรือน้ำหนักที่กระทำบนคาน

1. แรงที่กระทำเป็นจุด (concentrated load or point load) เป็นแรงหรือน้ำหนักที่กระทำบนพื้นที่ที่มีขนาดเล็กมาก ซึ่งถือได้ว่าเป็นจุดได้

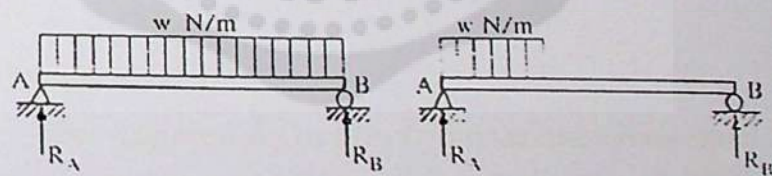


รูปที่ 2.8 แสดงแรงที่กระทำเป็นจุด

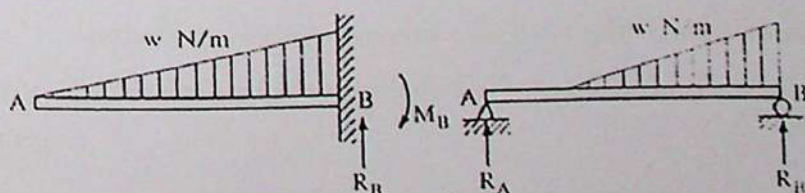
2. แรงที่กระทำบนคานแบบกระจาย (distributed load) เป็นแรงหรือน้ำหนักที่กระทำบนพื้นที่หนึ่งหรือทั้งหมดของคานนั้น แบ่งการพิจารณาได้เป็น 2 แบบคือ

แรงที่กระจายสม่ำเสมอ (uniformly distributed load) แรงนี้จะกระทำอย่างสม่ำเสมอ หรือ กระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่นั้น

แรงที่กระจายไม่สม่ำเสมอ (non-uniformly distributed load)

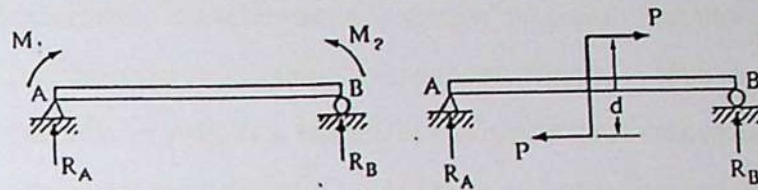


รูปที่ 2.9 แสดงแรงที่กระจายสม่ำเสมอ



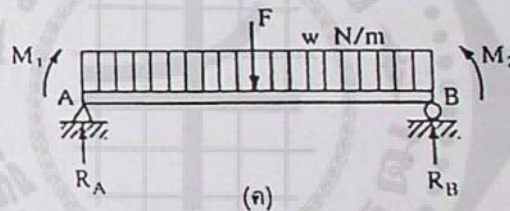
รูปที่ 2.10 แสดงแรงที่กระจายไม่สม่ำเสมอ

3. แรงคู่ควบหรือ โมเมนต์ (couple or moment) เป็นแรงที่พยายามจะกระทำให้เกิดการหมุนบนคานนั้น



รูปที่ 2.11 แสดงแรงคู่ควบหรือ โมเมนต์

4. แรงรวม (combined load) เป็นแรงที่รวมกันระหว่างแรงเป็นจุดกับแรงกระจายที่กระทำบนคาน หรือแรงคู่ควบ หรือ โมเมนต์ หรือแรงทั้งสามประเภทรวมกันได้



รูปที่ 2.12 แสดงแรงรวม

แรงเฉือนและโมเมนต์คดภายในคาน

เมื่อคานถูกกระทำด้วยแรงหรือน้ำหนักและโมเมนต์คดภายนอก จะทำให้เกิดความเค้นขึ้นภายในคาน ในการที่จะหาขนาดของความเค้นที่หน้าตัดใดๆ ของคาน จึงจำเป็นที่จะต้องสามารถคำนวณของแรงและ โมเมนต์คดที่เกิดขึ้นที่หน้าตัดนั้นให้ได้เสียก่อนโดยการใช้สมการของการสมดุลทางสถิตยศาสตร์

แรงเฉือน (shearing force) คือแรงที่จะกระทำให้คานที่รับแรงนี้ถูกเฉือนขาดในแนวตั้งปกติแล้วแรงเฉือนนี้จะมีผลต่อการเฉือนขาดของวัสดุที่ใช้ทำคานในโครงสร้างต่างๆ มาก

โมเมนต์คด (bending moment) คือโมเมนต์คดที่เกิดขึ้นอันเนื่องจากแรงเฉือนที่กระทำต่อคาน โมเมนต์คดนี้เองที่จะพยายามให้คานที่รับแรงเฉือนนั้น โค้งงอจนไม่สามารถที่จะใช้งานต่อไปได้อีก

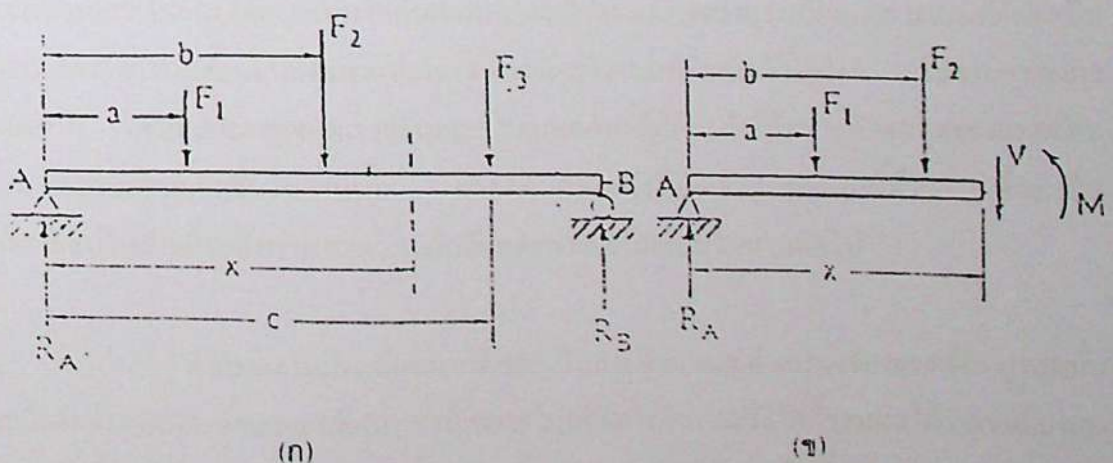
ไคอะแกรมของแรงเฉือน (shear force diagram) เขียนย่อว่า SFD คือแผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนกับความยาวของคาน โดยมีจุดทางด้านซ้ายมือของคานเป็นจุด

เริ่มต้นค่าทางแกน x จะเป็นระยะทางที่วัดไปตามความยาวของคานานั้น ตั้งแต่ทางด้านซ้ายมือจนถึงทางด้านขวามือสุดของคานานั้น และค่าทางแกน y จะเป็นค่าของแรงเฉือนในแนวดิ่งที่หน้าตัดใดๆ ของคานานั้น

ไดอะแกรมของโมเมนต์คด (bending moment diagram) เขียนย่อว่า BMD คือ แผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์คดกับความยาวของคานานั้น โดยมีจุดทางด้านซ้ายมือสุดของคานาเป็นจุดเริ่มต้น ค่าทางแกน x จะเป็นระยะที่วัดไปตามความยาวของคานานั้น ตั้งแต่ทางด้านซ้ายมือจนถึงทางด้านขวาสุดของคานานั้น และค่าทางแกน y จะเป็นค่าของโมเมนต์คดที่หน้าตัดใดๆ ของคานานั้น

แผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์คดภายในคาน

การที่จะหาแรงเฉือนและ โมเมนต์คดในคานาที่รองรับแบบคานาช่วงเดียวหรือคานาช่วงเดียวแบบปลายยื่นนั้น จำเป็นจะต้องหาแรงปฏิกิริยาที่รองรับของคานาก่อนเสมอ ดังนั้นค่าแรงปฏิกิริยาที่คำนวณได้จะต้องเป็นค่าที่ถูกต้อง มิฉะนั้นจะทำให้การหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์คดของคานานั้นผิดพลาดตามไปด้วย ส่วนคานาแบบคานายื่นนั้นไม่จำเป็นจะต้องหาค่าแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ในกรณีของคานาช่วงเดียวหรือคานาช่วงเดียวปลายยื่น แรงปฏิกิริยาแต่ละตัวจะหาได้โดยการหาโมเมนต์รอบจุดรองรับ $[\Sigma M = 0]$ แล้วผลรวมของแรงปฏิกิริยาเท่ากับแรงที่กระทำกับคานาหรือน้ำหนักที่กระทำกับคานา $[\Sigma F_y = 0]$ ก็จะหาค่าของแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับจุดรองรับของคานาได้ตามต้องการ ซึ่งจะสามารถหาแรงเฉือนและ โมเมนต์คดที่เกิดขึ้นที่เกิดขึ้นที่หน้าคั่นนั้นได้โดยใช้สมการสถิตยศาสตร์



รูปที่ 2.13 แสดงการวิเคราะห์แรงที่กระทำกับคานา

จากรูปพิจารณาคานซึ่งถูกกระทำด้วยแรง F_1 , F_2 และ F_3 ตามรูปที่ 2.13 (ก) โดยแรง R_A และ R_B เป็นแรงปฏิกิริยา ณ จุดรองรับ ซึ่งเราสามารถที่จะหาได้จากสมการ $\Sigma M=0$ และ $\Sigma F_y=0$

ให้ V คือแรงเฉือน และ M คือโมเมนต์คัตที่หน้าตัดระยะทาง x จากที่จุดรองรับ A ซึ่งเป็นค่าที่ต้องการจะหา โดยให้คานถูกคัตออกที่หน้าคัตนั้นซึ่งจะทำให้เกิดแรงเฉือนและโมเมนต์คัตขึ้น ดังรูป Free body ในรูปที่ 2.13 (ข) ในการที่คานนี้จะอยู่ในสภาพสมดุลได้ แรงรวมตามแนวดิ่งจะต้องเป็นศูนย์ ซึ่งจะได้

$$V + F_1 + F_2 - R_A = 0$$

$$\therefore V = R_A - F_1 - F_2 \quad (2.4)$$

โมเมนต์คัตรวมที่หน้าคัตต้องเท่ากับศูนย์ จะได้สมการ

$$M + F_1(x-a) + F_2(x-b) - R_A x = 0$$

$$M = R_A x - F_1(x-a) - F_2(x-b) \quad (2.5)$$

ค่าของแรงเฉือน V และ โมเมนต์คัต M จากสมการ 2.4 และ 2.5 นี้สำหรับอยู่ในช่วง $b < x < c$ เท่านั้น

เมื่อได้ค่าแรงเฉือนและโมเมนต์คัตของแต่ละช่วงแล้วก็สามารถนำไปเขียนกราฟของแรงเฉือนและโมเมนต์คัตได้ โดยให้แกน x แทนตำแหน่งของหน้าคัตของคาน ส่วนขนาดของแรงเฉือนและโมเมนต์คัตจะแทนได้ด้วยแกน y ฉะนั้นแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์คัตจึงเป็นการแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงเฉือนและโมเมนต์คัตที่หน้าคัตใดๆ ไปตามความยาวของคาน จากแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์คัตที่ได้ก็จะทำให้ทราบค่าสูงสุดของแรงเฉือนและโมเมนต์คัตที่เกิดขึ้นในคานนั้น ตลอดจนตำแหน่งที่เกิดค่าสูงสุดเหล่านี้ด้วย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการที่จะคำนวณหาความเค้นคัตและความเค้นเฉือนในคานต่อไป

ตำแหน่งรับแรงเฉือนมากที่สุด ในการหาค่าและตำแหน่งของแรงเฉือนสูงสุดนั้นจะต้องสร้างแผนภาพของแรงเฉือน ทั้งนี้เพราะไม่มีวิธีการคำนวณวิธีใดที่จะบอกได้ว่าแรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นจะเกิด ณ ที่ใดของคานนั้น แต่โดยทั่วๆ ไปแล้วมักจะเกิดขึ้นที่บริเวณจุดรองรับของคานนั้นเป็นส่วนใหญ่

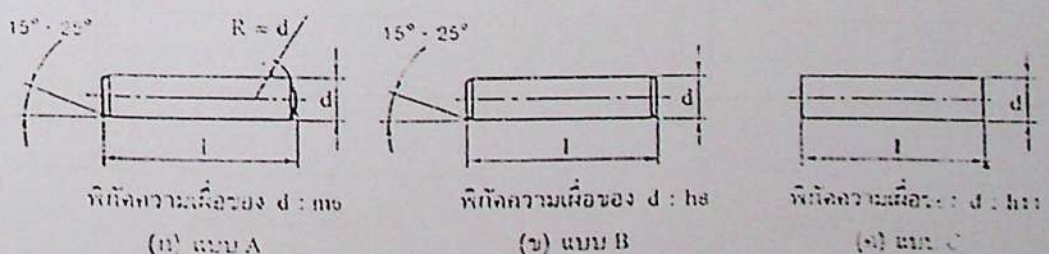
ตำแหน่งรับโมเมนต์คัตสูงสุด ในการที่จะหาความเค้นคัตในคานมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ค่าโมเมนต์คัตที่มีขนาดสูงสุด (เป็นค่าบวกหรือลบมากที่สุด) ตำแหน่งที่ขนาดของโมเมนต์คัตสูงสุด อาจจะหาได้โดยการใช้ข้อสังเกตดังต่อไปนี้

1. ค่าโมเมนต์คัตสูงสุดจะเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าของแรงเฉือนเปลี่ยนจากบวกมาเป็นลบ
2. ค่าโมเมนต์คัตสูงสุดจะเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าของแรงเฉือนเปลี่ยนจากลบมาเป็นบวก
3. ในกรณีที่สมการของโมเมนต์คัตเป็นฟังก์ชันต่อเนื่องของ x ตลอดทั้งคาน ค่าโมเมนต์คัตสูงสุดและ โมเมนต์คัตต่ำสุดจะเกิดขึ้นเมื่อ $V = 0$ [$dm/dx = 0$]
4. ในกรณีที่มีแรงกระทำเป็นจุดอยู่ด้วย ขนาดสูงสุดของโมเมนต์คัตจะเกิดขึ้น ณ ที่ใดที่หนึ่งของแรงที่กระทำเป็นจุด ทั้งนี้ยกเว้นคานแบบยื่น
5. ขนาดสูงสุดของโมเมนต์คัตในคานแบบยื่นจะเกิดที่ปลายของคานซึ่งถูกยึดแน่น

สลัก

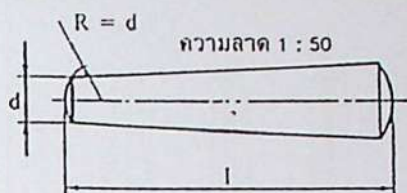
มีรอยต่อหลายประเภทที่ใช้ต่อด้วยสลัก (pins) ซึ่งอาจเป็นรอยต่อที่ขยับได้ หรือยึดแน่นก็ได้ เช่น ใช้เป็นอุปกรณ์นำชิ้นส่วนอยู่ในศูนย์กลาง เป็นอุปกรณ์พาให้ชิ้นส่วนอื่นอยู่ในแนวที่ต้องการ เป็นอุปกรณ์ยึดชิ้นส่วน หรือใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันการทำงานเกินภาระก็ได้ รอยต่อประเภทนี้มักใช้ส่งแรงน้อยๆ เนื่องจากจะขึ้นอยู่กับขนาดของสลักเป็นตัวบังคับเพราะต้องใช้สลักขนาดเล็กจะใช้ขนาดใหญ่ไม่ได้ การใช้สลักยึดจะต้องเจาะรูผ่านเพลลาทำให้ความแข็งแรงของเพลลาลดลงและเกิดความเค้นหนาแน่นบริเวณรูเจาะมากด้วยเหตุนี้เองการยึดด้วยสลักจึงมีการใช้งานน้อย สลักแบ่งออกเป็นหลายชนิดด้วยกัน ดังนี้คือ

1. สลักแบบธรรมดา สลักแบบนี้เป็นแท่งโลหะทรงกระบอกกลม มีขนาดและแบบตามมาตรฐาน ISO 2338 ดังรูปที่ 2.14 เนื่องจากสลักจะต้องสวมอัดลงในรูเจาะ จึงมีการกำหนดพิสัยความเผื่อของสลักแบบต่างๆ ไว้ด้วยซึ่งมีค่าต่างกัน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของสลักแบบธรรมดาได้จากตารางภาคผนวก ง.1



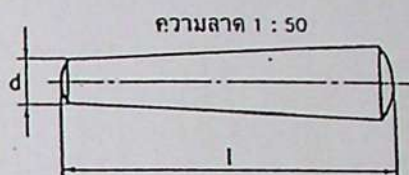
รูปที่ 2.14 แสดงสลักแบบธรรมดา

2. สลักแบบเรียว สลักแบบนี้เป็นแท่งโลหะทรงกระบอกกลมเรียว มีความลาดประมาณ 1 : 50 ทั้งนี้เพื่อให้สลักอัดแน่นกับรูเจาะดังรูปที่ 2.15 ขนาดของสลักแบบนี้ตามมาตรฐาน ISO 2339 คู่มือจากตารางภาคผนวก ง.2 สลักแบบเรียวแบ่งออกเป็นสองแบบ แบบ A เป็นผิวเจียรในส่วนแบบ B เป็นผิวกลึง



พิกัดความเผื่อของมุม AT8

(ก) แบบ A เจียรระโน

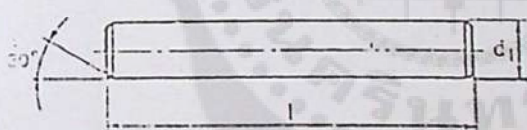


พิกัดความเผื่อของมุม AT10

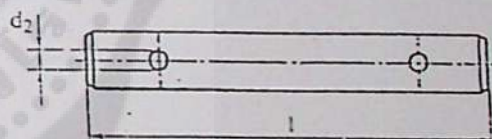
(ข) แบบ B กลึง

รูปที่ 2.15 แสดงสลักแบบเรียว

3. สลักแบบเคลวิส (Clevis) สลักแบบนี้เป็นแท่งโลหะทรงกระบอกกลม มีทั้งแบบมีรูเจาะและไม่มีรูเจาะ ดังรูปที่ 2.16 แบบมีรูเจาะใช้สำหรับใส่สปลิตพิน (split pin) เพื่อล็อกมิให้สลักเคลื่อนที่ ขนาดของสลักแบบนี้ตามมาตรฐาน ISO 2340 คู่มือจากตารางภาคผนวก ง.3



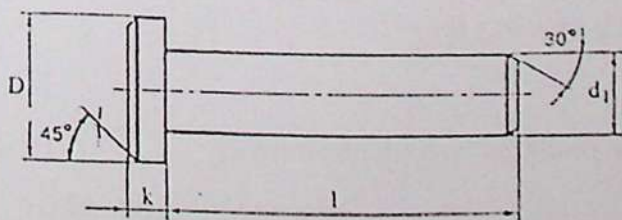
(ก) แบบ A ไม่มีรูเจาะ



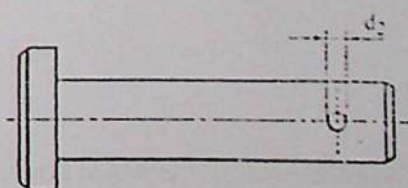
(ข) แบบ B มีรูเจาะ

รูปที่ 2.16 แสดงสลักแบบเคลวิส

4. สลักแบบเคลวิสมีหัว สลักแบบนี้เหมือนกับสลักแบบเคลวิส เพียงแต่มีหัวที่ปลายข้างหนึ่ง ดังรูปที่ 2.17 แบบที่มีรูเจาะใช้สำหรับใส่สปลิตพินเช่นเดียวกัน ขนาดของสลักแบบนี้ตามมาตรฐาน ISO 2341 คู่มือจากตารางภาคผนวก ง.4



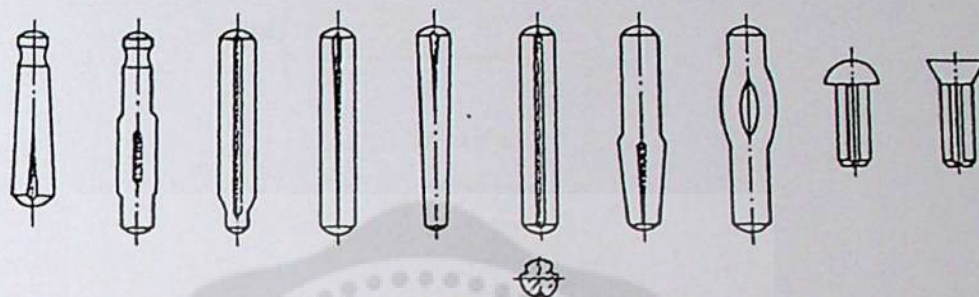
(ก) แบบ A ไม่มีรูเจาะ



(ข) แบบ B มีรูเจาะ

รูปที่ 2.17 แสดงสลักแบบเคลวิสมีหัว

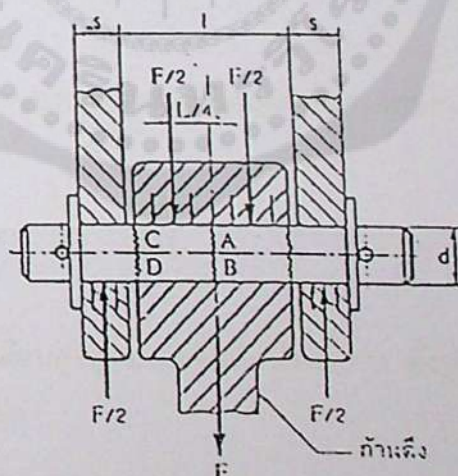
5. สลักแบบมีร่อง สลักแบบมีร่องยังมิได้กำหนดขนาดเป็นมาตรฐานระหว่างประเทศ มีแบบที่ใช้งานทั่วไปอยู่หลายแบบ ดังรูปที่ 2.18 โดยปรกติมักจะใช้คอกอัดลงในรูเจาะ ตัวสลักแบบมีร่องจะทำเป็นร่องที่ลำตัวสลัก และสลักชนิดนี้มักทำจากวัสดุที่ใช้ทำสลักเกลียวชั้นคุณสมบัติ 6.8 หรืออาจทำจากทองเหลืองหรือพลาสติกแข็งก็ได้



รูปที่ 2.18 แสดงสลักแบบมีร่อง

ความเค้นที่รอยต่อด้วยสลัก

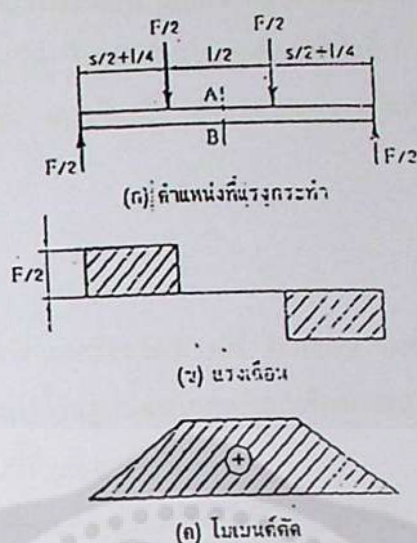
รอยต่อด้วยสลักมักจะใช้ในการต่อคอตเตอร์ (cotter) กับซอกเกต (socket) ดังรูปที่ 2.19 ในกรณีเช่นนี้สลักจะอยู่ภายใต้แรงดัด แรงเฉือน และแรงอัดระหว่างผิวสัมผัส



รูปที่ 2.19 แสดงแรงบนสลัก

ในการหาขนาดของสลักให้ถือเอาขนาดที่โตที่สุดจากการคำนวณโดยพิจารณาถึง การดัด การเฉือนและการอัด

ในการพิจารณาผลจากการดัด สมมติให้แรงที่กระทำบนสลักมีลักษณะและ ตำแหน่ง ดังรูปที่ 2.20 (ก) ดังนั้นโมเมนต์ดัดสูงสุดที่หน้าตัด AB คือ



รูปที่ 2.20 แสดงไดอะแกรมแรงบนสลัก

$$M = \frac{F}{2} \left[\frac{1}{2} + \frac{S}{2} \right] - \left[\frac{F}{2} \times \frac{1}{4} \right] \quad (2.6)$$

หรือ

$$M = \frac{F}{2} \left[\frac{1}{4} + \frac{S}{2} \right] \quad (2.7)$$

ดังนั้นจึงคำนวณหาขนาดของสลักจากการรับแรงดัดได้จากสมการ

$$\sigma_{cd} \text{ หรือ } \sigma_{td} = \frac{Mc}{I} = \frac{32M}{\pi d^3} \quad (2.8)$$

ส่วนความเค้นเฉือนสูงสุดจะเกิดขึ้นที่หน้าตัด CD ดังรูปที่ 2.20 (ข) ความเค้นเฉือนสูงสุดสำหรับหน้าตัดกลมคือ

$$\tau = \frac{4V}{3A} \quad (2.9)$$

ในกรณีนี้ $V = \frac{F}{2}$ และ A เป็นพื้นที่หน้าตัดของสลัก ดังนั้นจึงคำนวณหาขนาดของสลักที่ใช้รับแรงเฉือนได้จากสมการ

$$\tau_{td} = \frac{4V}{3A} = \frac{16F}{3\pi d^2} \quad (2.10)$$

โดยที่ A เป็นพื้นที่ภาพฉายของส่วนที่อัดกัน เมื่อพิจารณากรณีที่สลักอัดกับส่วนของก้านค้ำ $A = dI$ กรณีที่สลักอัดกับชอกเกต $A = 2d$ ในการคำนวณจะต้องใช้พื้นที่ A ซึ่งมีค่าน้อยกว่า เพื่อหาขนาดของสลักและถ้าชอกเกต สลัก และก้านค้ำ ทำจากวัสดุต่างชนิดกันจะต้องใช้ค่าความเค้นอัดใช้งานค่าน้อยที่สุดมาคำนวณ

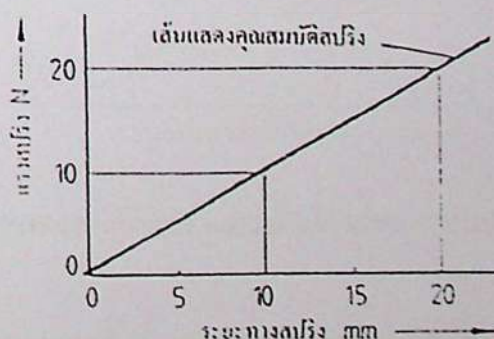
สปริง

สปริงเป็นส่วนเครื่องจักรกลที่รับภาระแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบยืดหยุ่น งานที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปนี้จะเป็นพลังงานศักย์ที่สะสมในสปริง เมื่อคลายภาระที่กระทำต่อสปริงออก พลังงานนี้ก็จะสูญหายไป

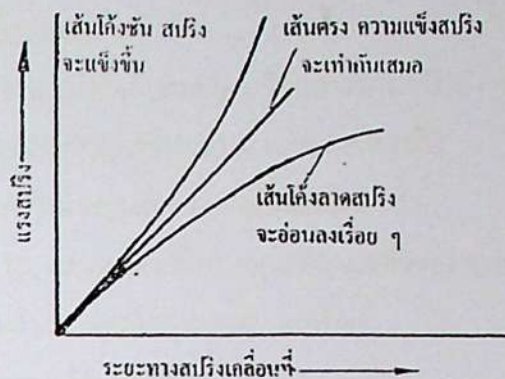
ตัวอย่างหนึ่งการทำงานของสปริงก็คือ การรับแรงกระแทก แรงสั่นสะเทือน (ระบบกันสั่นสะเทือนของยานยนต์, ยางสปริงในคลัทช์, สปริงคลัทช์) ในกระบอกสูบนิวแมติกส์จะมีแรงสปริงช่วยดันให้ลูกสูบกลับสู่ตำแหน่งเดิม, เป็นพลังงานกักอัดสะสมช่วยในการพาชิ้นส่วนเครื่องจักรกลให้หมุนตาม

คุณสมบัติของสปริง

ในการทำให้สปริงเปลี่ยนรูปร่างยืดหยุ่นได้ จะต้องใช้แรงมากกระทำ แรงกระทำ ยิ่งมากยิ่งทำให้ระยะทางเคลื่อนที่ของสปริงมากขึ้นตามไปด้วย ความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางเคลื่อนที่ของสปริง จะสามารถแสดงให้เห็นเส้นโค้ง ดังรูปที่ 2.21 เส้นโค้งแสดงคุณสมบัติสามารถเป็นเส้นตรง, เส้นโค้ง (ชัน) (Progressive) หรือเส้นโค้ง (ลาดลง) (Degressive) ได้ดังรูปที่ 2.22



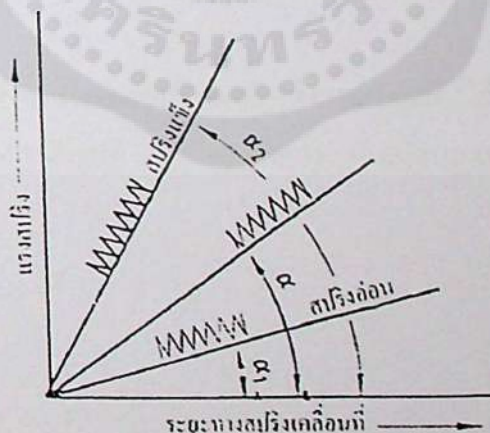
รูปที่ 2.21 แสดงความสัมพันธ์ของแรงสปริงและระยะทางเคลื่อนที่สปริง



รูปที่ 2.22 แสดงแผนภาพแสดงแนวเส้นโค้งของสปริงต่างๆ

เส้นแสดงคุณสมบัติที่เป็นเส้นตรงแสดงว่า แรงกระทำและระยะทางเคลื่อนที่ สปริงเป็นสัดส่วนต่อกัน นั่นแสดงว่า ถ้าแรงกระทำเป็นสองเท่า ระยะทางเคลื่อนที่สปริงก็จะเป็นสองเท่าเช่นกัน (ดูรูปที่ 2.21)

เส้นแสดงคุณสมบัติยิ่งยวดจะต้องใช้แรงกระทำมากขึ้น ในการทำให้สปริงเปลี่ยนรูป สปริงที่มีมุมเส้นแสดงคุณสมบัติน้อย (α_1) จะบอกให้รู้ว่าเป็น สปริงอ่อน ส่วนสปริงที่มีมุมเส้นแสดงคุณสมบัติน้อย (α_2) แสดงว่าเป็น สปริงแข็ง (ดูรูปที่ 2.23)



รูปที่ 2.23 แสดงความแข็งสปริงและเส้น โค้งแสดงคุณสมบัติของสปริง

สัดส่วนของแรงสปริง (F) ต่อระยะทางเคลื่อนที่สปริง (S) จะเรียกว่า ค่าคงที่สปริง ค่าคงที่สปริงจะบอกให้ทราบว่า จะต้องใช้แรงเท่าใดจึงจะได้ระยะทางเคลื่อนที่สปริงเป็น mm ตามที่ต้องการ เช่น เมื่อต้องการกดสปริงด้วยค่าคงที่สปริง (k) = 60 N/mm ให้สปริงยุบลงไป 3 mm จะต้องใช้แรงกดสปริง (F) = 3mm x 60 N/mm = 180 N

ความเค้นในสปริงขดรับแรงกด

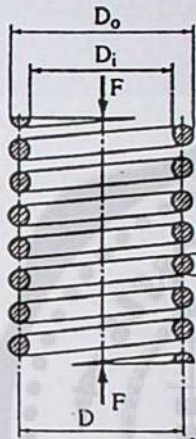
พิจารณาสปริงซึ่งรับแรงกด F ในแนวแกนสปริงดังรูปที่ 2.24 (ก) และให้

D_o คือเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกของขดสปริง

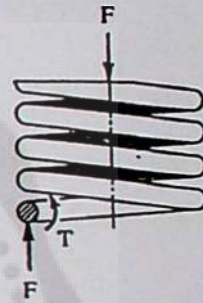
D_i คือเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายในของขดสปริง

$D = (D_o + D_i)/2$ เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของขดสปริง

d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสปริง



(ก) แรงกดกระทำในแนวแกนของสปริง



(ข) แผนภาพวัตถุอิสระแสดงให้เห็นว่าลวดอยู่ภายใต้แรงเฉือนและโมเมนต์บิด

รูปที่ 2.24 แสดงสปริงขด

ให้ตัดส่วนหนึ่งของสปริงออกมาพิจารณาจะเห็นว่า ลวดสปริงอยู่ภายใต้แรงภายใน F และ โมเมนต์บิด T ดังรูปที่ 2.24 (ข) ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นในลวดสปริง คือ

$$\tau = \frac{Tr}{J} + \frac{F}{A} \quad (2.11 \text{ ก})$$

แต่

$$T = \frac{FD}{2}$$

$$\text{และ} \quad \frac{J}{r} = \frac{(\pi d^4 / 32)}{d/2}$$

$$= \frac{\pi d^3}{16}$$

$$\text{และ} \quad A = \frac{\pi d^2}{4}$$

ดังนั้นจึงเขียนสมการที่ (2.11 ก) ใหม่ได้เป็น

$$\tau = \frac{8FD}{\pi d^3} + \frac{4F}{\pi d^2} \quad (2.11 \text{ ข})$$

ถ้าให้ $C = D/d$ ซึ่งเรียกว่าดัชนีสปริง (spring index) สมการที่ (2.11 ข) สามารถที่จะจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$= K_s \frac{8FD}{\pi d^3} \quad (2.11 ค)$$

โดยที่ $K_s = 1 + \frac{0.5}{C}$

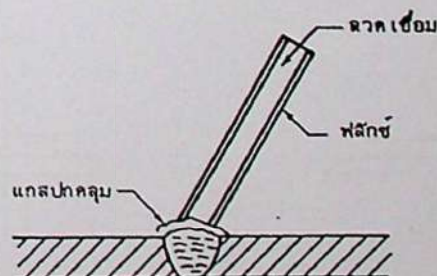
ค่า K_s นี้เรียกว่าค่าตัวประกอบความเค้นเฉือน (shear stress correction factor) ซึ่งเป็นค่าทำให้ความเค้นเฉือนในสปริงเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากความเค้นเฉือนตรง F/A

การเชื่อมต่อ

การเชื่อมต่อ (welded joints) เป็นวิธีการต่อชิ้นงานเข้าด้วยกัน ซึ่งนิยมใช้กันมากในงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนต่างๆ สำหรับรอยเชื่อมซึ่งต้องรับแรงสูง นิยมใช้วิธีการเชื่อมด้วยไฟฟ้า (arc welding) การเชื่อมด้วยแก๊ส (gas welding) และการเชื่อมด้วยความต้านทานด้วยไฟฟ้า (resistant welding)

วิธีการเชื่อมมีหลายวิธีที่มีการใช้งานกันมากทั่วไปคือ

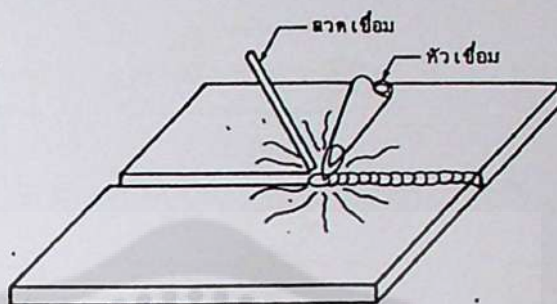
1. การเชื่อมด้วยไฟฟ้า การเชื่อมวิธีนี้มักเรียกกันทั่วไปว่า การเชื่อมไฟฟ้าโดยใช้ลวดเชื่อม (electrode) เป็นตัวนำไฟฟ้า และ ในขณะที่ลวดเชื่อมก็จะละลายลงไป ณ รอยที่ต้องการเชื่อมด้วย ดังรูปที่ 2.25 ลวดเชื่อมมักจะห่อหุ้มไว้ด้วยสารชนิดหนึ่งเรียกว่า ฟลักซ์ (flux) ซึ่งจะระเหยกายเป็นแก๊สในขณะที่ทำการเชื่อม แก๊สนี้จะช่วยป้องกันมิให้เกิดออกซิเดชัน (oxidation) ที่รอยเชื่อม ซึ่งเป็นการช่วยให้คุณภาพของรอยเชื่อมดีขึ้น



รูปที่ 2.25 แสดงการเชื่อมไฟฟ้า

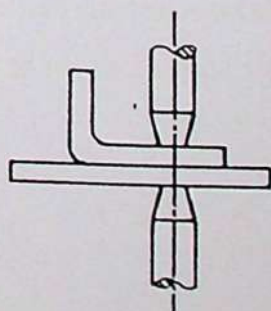
2. การเชื่อมด้วยแก๊ส การเชื่อมวิธีนี้มักเรียกกันทั่วไปว่า การเชื่อมแก๊ส ใช้การเผาไหม้ระหว่างส่วนผสมของแก๊สออกซิเจน กับไฮโดรเจน หรือ ออกซิเจน กับ อะเซทิลีน

(acetylene) เป็นตัวให้ความร้อน แก๊สทั้งสองชนิดนี้จะผสมกันในหัวเชื่อม (torch) ในการเชื่อมจะปรับส่วนผสมของแก๊สทั้งสองในอัตราส่วนหนึ่งต่อหนึ่ง ซึ่งจะได้อุณหภูมิสูงเพียงพอที่จะละลายโลหะได้ จากนั้นจึงทำการเผาชิ้นงานที่จะเชื่อมให้ร้อน แล้วจึงใช้เปลวไฟละลายลวดเชื่อมลงในรอยเชื่อมดังรูป 2.26

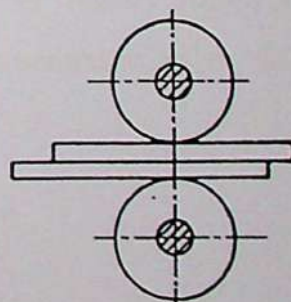


รูปที่ 2.26 แสดงการเชื่อมแก๊ส

3. การเชื่อมด้วยความต้านทานทางไฟฟ้า การเชื่อมวิธีนี้ใช้แรงกดชิ้นส่วนตรงที่ต้องการจะเชื่อมติดกัน แล้วจึงผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในชิ้นงานตรงรอยที่ต้องการเชื่อม จนกระทั่งเนื้อโลหะละลายติดกัน ถ้าแรงกดนี้มาจากอิเล็กโทรด (electrode) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าด้วย ดังในรูป 2.27 (ก) รอยเชื่อมจะเป็นจุด เรียกว่าการเชื่อมจุด (spot weld) แต่ถ้าใช้ลูกกลิ้งออกแรงกดและเป็นตัวนำไฟฟ้างดรูป 2.27 (ข) รอยเชื่อมที่ได้จะเป็นเส้นแนวยาวเรียกว่า การเชื่อมแบบตะเข็บ (seam welding)

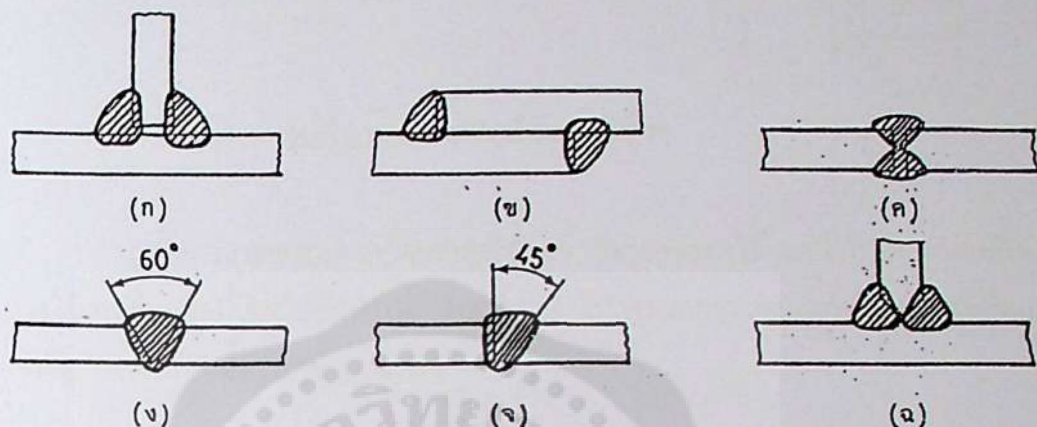


(ก)



(ข)

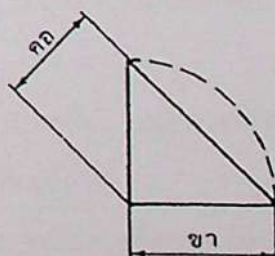
รูปที่ 2.27 แสดงการเชื่อมด้วยความต้านทานไฟฟ้า



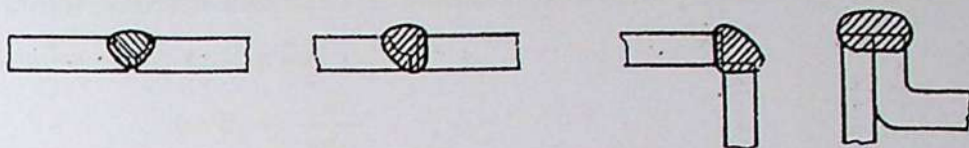
รูปที่ 2.28 แสดงรอยเชื่อมชนิดต่างๆ

ชนิดของรอยเชื่อม

ชนิดของรอยเชื่อมที่นิยมใช้กันทั่วไปมีการเชื่อมมุม (fillet weld) และการเชื่อมต่อน (butt weld) รูปที่ 2.28 (ก) และ (ข) เป็นการเชื่อมมุม ความหนาของรอยเชื่อมมุมไม่จำเป็นต้องเท่ากับความหนาของแผ่นโลหะ และโดยปกติแล้วผิวบนของรอยเชื่อมมุม จะมีลักษณะโค้งเส้นประในรูป 2.29 ส่วนเกินนี้เรียกว่าส่วนเสริม (reinforcement) ซึ่งถ้าไม่ต้องการให้มีก็อาจตะไบออกได้ ขนาดของรอยเชื่อมมุมจะบอกด้วยขนาดของขา (leg) ว่ามีความยาวเท่าใด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักจะเชื่อมให้มีความยาวของขาเท่ากัน ส่วนขนาดของคอ (throat) เป็นขนาดที่จะใช้ในการคำนวณ รูปที่ 2.28 (ค) (ง) (จ) และ (ฉ) เป็นการแสดงถึงรอยต่อนชนิดต่างๆ ซึ่งมีส่วนเสริมอยู่ด้วย



รูปที่ 2.29 แสดงรอยเชื่อมมุม

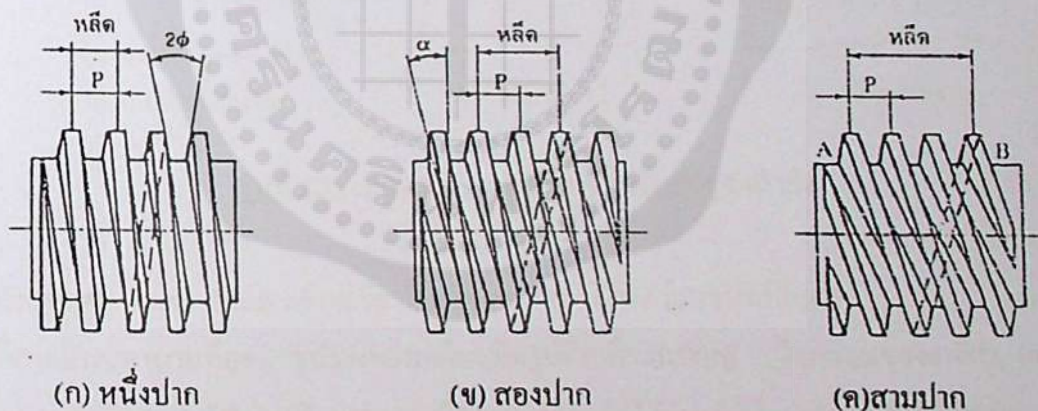


รูปที่ 2.30 แสดงรอยเชื่อมชนิดอื่นๆ

รูปที่ 2.30 แสดงถึงการเชื่อมต่อนิดอื่นๆ ที่อาจกระทำได้ แต่ถ้าไม่มีความจำเป็นแล้ว ควรใช้การเชื่อมต่อที่นิยมใช้กันทั่วไปดังในรูป 2.29 ในการบอกขนาดและชนิดของรอยเชื่อม มักจะใช้สัญลักษณ์พร้อมทั้งลูกศรชี้ลงบนแบบ

สกรูส่งกำลัง

เป็นชิ้นส่วนที่ใช้ในเครื่องจักรกลเพื่อเปลี่ยนการหมุนเป็นการเลื่อน ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สกรูเลื่อน (translation screw)



รูปที่ 2.31 แสดงเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมู

ระยะพิตช์ : P หมายถึง ระยะทางที่วัดตามแนวแกนของสกรูจากจุดหนึ่งบนเกลียวไปยังอีกจุดเดียวกันของเกลียวที่อยู่ถัดไป

หลิศ (Lead) : l_c คือ ระยะทางที่สกรูเคลื่อนที่ได้ตามแนวแกนของสกรู ในขณะที่สกรูหมุนไปหนึ่งรอบตัว n คือ ปากของสกรู ระยะทางของหลิศคือ

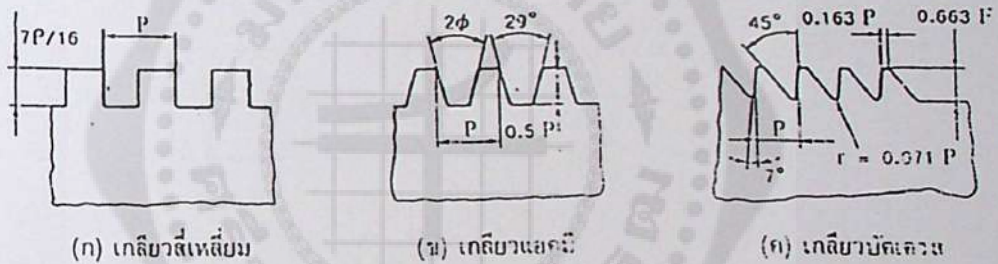
$$l_c = nP \quad (2.12)$$

มุมฮิลกซ์หรือมุมหลิค (helix or lead angle) : α หมายถึง มุมระหว่างระนาบที่สัมผัสกับความเอียงของเกลียวและระนาบที่ตั้งฉากกับแกนของสกรู ถ้าให้ d_m เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของสกรู มุมหลิค คือ

$$\tan \alpha = \frac{le}{\pi d_m} \quad (2.13)$$

เกลียวในระบบหน่วยอังกฤษ

เกลียวสี่เหลี่ยม (square thread) เป็นเกลียวชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในจำพวกเกลียวของสกรูส่งกำลัง ซึ่งเรียกกันอีกชื่อหนึ่งว่า เกลียวเซลเลอร์ (Sellers' thread) โดยมีลักษณะของเกลียวดังรูปที่ 2.32 แต่เนื่องจากการตัดเกลียวสี่เหลี่ยมนี้ทำได้ยากและค่าใช้จ่ายสูงจึงมีการนำมาใช้งานได้น้อยลง ดังนั้นเกลียวชนิดนี้จึงมิได้มีการทำเป็นมาตรฐานทั่วไป



รูปที่ 2.32 แสดงชนิดของเกลียวสำหรับสกรูส่งกำลัง

เกลียวแอกมี (acme thread) หรือเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมู เป็นเกลียวชนิดที่มีการใช้งานเป็นเวลานานที่สุด รูปร่างของเกลียวเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู โดยมีมุมของเกลียว (thread angle) เท่ากับ 29° ดังในรูปที่ 2.32 (ข) เนื่องจากเกลียวตัดได้ง่าย จึงมีการนำมาใช้งานเรื่อยมา ประสิทธิภาพของเกลียวชนิดนี้จะน้อยกว่าเกลียวแบบสี่เหลี่ยม ถ้าเกิดการสึกหรอหลังจากใช้งานมาเป็นระยะเวลาหนึ่งก็สามารถที่จะปรับให้เกลียวของสกรูกับเกลียวตัวเมียได้สนิทเหมือนเดิม โดยการขันเกลียวตัวเมียซึ่งเป็นแบบ split nut เข้าไปให้กระชับกับเกลียวของตัวสกรูได้

เกลียวบัคเรส (buttress thread) เป็นเกลียวที่มีรูปร่างเป็นฟันเลื่อย จุดมุ่งหมายก็เพื่อที่จะใช้รับแรงในทิศทางเดียว เกลียวชนิดนี้มีความแข็งแรงมากกว่าเกลียวสองชนิดที่ได้กล่าวมาแล้ว เนื่องจากเกลียวชนิดนี้ใช้ไม่มากนัก ดังนั้นจึงมิได้กำหนดขนาดเป็นมาตรฐาน

เกลียวสี่เหลี่ยมคางหมูตามมาตรฐาน ไอเอสโอ

ขนาดเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมูตามมาตรฐาน ไอเอสโอ บอกรูปร่างต่างๆ เป็น mm และมีมุมของเกลียว $2 \text{ } \varnothing$ เท่ากับ 30° ขนาดต่างๆ ของสกรูส่งกำลังชนิดนี้แสดงในรูปที่ 2.33 คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้คือ

$$H_1 = 0.5 P$$

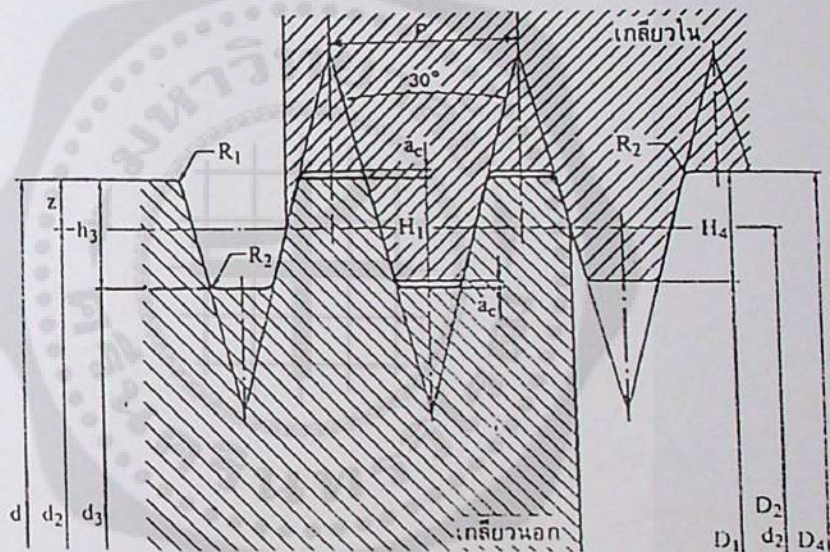
$$D_4 = d + 2a_c$$

$$H_4 = H_1 + a_c = 0.5P + a_c$$

$$d_3 = d - 2h_3$$

$$H_3 = H_1 + a_c$$

$$R_{\text{max}} = 0.5a_c$$



รูปที่ 2.33 แสดงขนาดต่างๆ ของเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมู

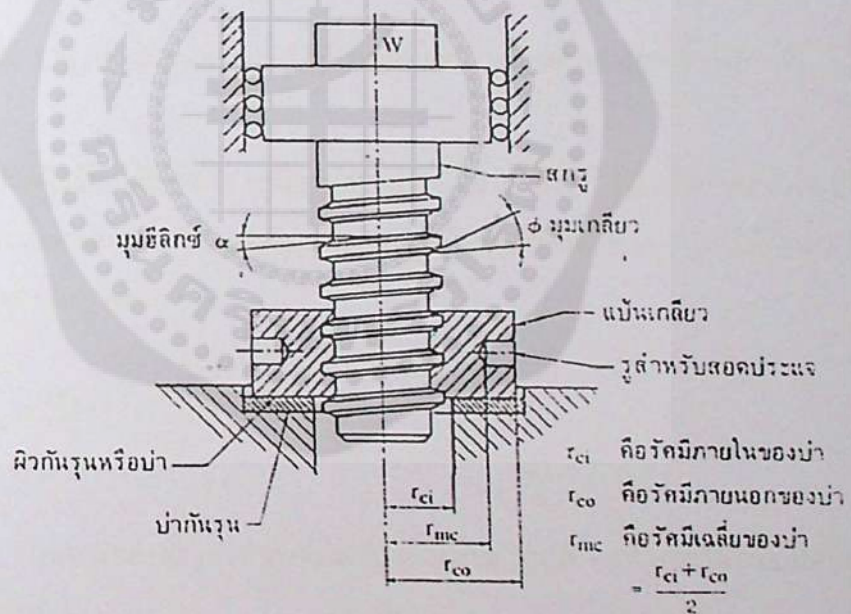
- โดยที่
- a_c คือ ช่องว่างบนยอดฟัน
 - D_4 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ของเกลียวใน
 - D_1 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยของเกลียวใน
 - D_2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางพิคซ์ของเกลียวใน
 - d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ของเกลียวนอก (เป็นขนาดระบุด้วย)
 - d_3 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยของเกลียวนอก
 - d_2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยของเกลียวนอก
 - H_1 คือ ความสูงเหลื่อม (overlapping) ของเกลียว
 - H_4 คือ ความสูงของฟันเกลียวใน

h_3 คือ ความสูงของฟันเกลียวนอก

P คือ ระยะพิตช์

โมเมนต์บิดสำหรับหมุนสกรูส่งกำลัง

พิจารณาสกรูส่งกำลังดังรูปที่ 2.34 ซึ่งมีมุมเฮลิคซ์ α องศา และมุมเกลียวของสกรู ϕ องศา ในการยกน้ำหนัก W ซึ่งลง ทำได้โดยการหมุนเป็นเกลียวซึ่งตั้งอยู่บนที่รองรับ เรียกว่า บ่า (collar) สมมติให้แรง F ที่ใช้ยกน้ำหนักขึ้นกระทำอยู่บนเกลียวที่มีรัศมีเฉลี่ยของสกรู $r_m = (r_o + r_i) / 2$ ณ ตำแหน่ง O ดังรูปที่ 2.35 ในขณะที่ยกน้ำหนักขึ้นจะมีแรงเสียดทาน F_f กระทำบนผิวหน้าของเกลียวด้านการเคลื่อนที่ของสกรู



รูปที่ 2.34 แสดงตัวอย่างการใช้สกรูส่งกำลังเป็นแม่แรง

- โดยที่
- F_u คือแรงปฏิกิริยาซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับผิวหน้าของเกลียว
 - OA คือเวกเตอร์ของแรงที่มีขนาดเท่ากับน้ำหนัก W แต่ทิศทางตรงกันข้าม
 - OB คือเวกเตอร์ของแรงรวมระหว่างแรง F_f และ OA
 - f คือสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวหน้าของเกลียวและแป้นเกลียว

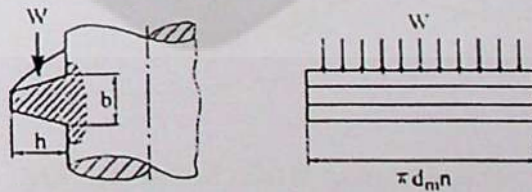
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน f

วัสดุสาร	เหล็ก	ทองเหลือง	บรอนซ์	เหล็กหล่อ
เหล็ก (แห้ง)	0.15 – 0.25	0.15 – 0.23	0.15 – 0.19	0.15 – 0.25
เหล็ก (หล่อลื่น)	0.11 – 0.17	0.10 – 0.16	0.10 – 0.15	0.11 – 0.17
บรอนซ์	0.08 – 0.12	0.04 – 0.60		0.06 – 0.09

ความเค้นเฉือนในพินเกลียว

ในพินเกลียวยังเกิดความเค้นคัตและความเค้นเฉือนที่โคนพินเกลียวอีกด้วย ดังรูปที่ 2.36 เนื่องจากความสูงของพินเกลียวมีค่าน้อย ดังนั้นโมเมนต์คัตที่โคนพินเกลียวจึงมีค่าน้อยด้วย ฉะนั้นเกลียวส่วนมากจึงทนต่อความเค้นคัตได้ ส่วนความเค้นเฉือนอาจมีค่ามาก จากทฤษฎีกลศาสตร์วัสดุ ความเค้นเฉือนสูงสุดสำหรับพื้นที่หน้าคัตที่รับแรงเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเท่ากับ

$$\tau = \frac{3W}{2A} \quad (2.16)$$



รูปที่ 2.36 แสดงพินเกลียวรับแรงคล้ายคานยื่น

ให้ b เป็นความหนาของโคนพินเกลียว ดังนั้นพื้นที่รับแรงเฉือน

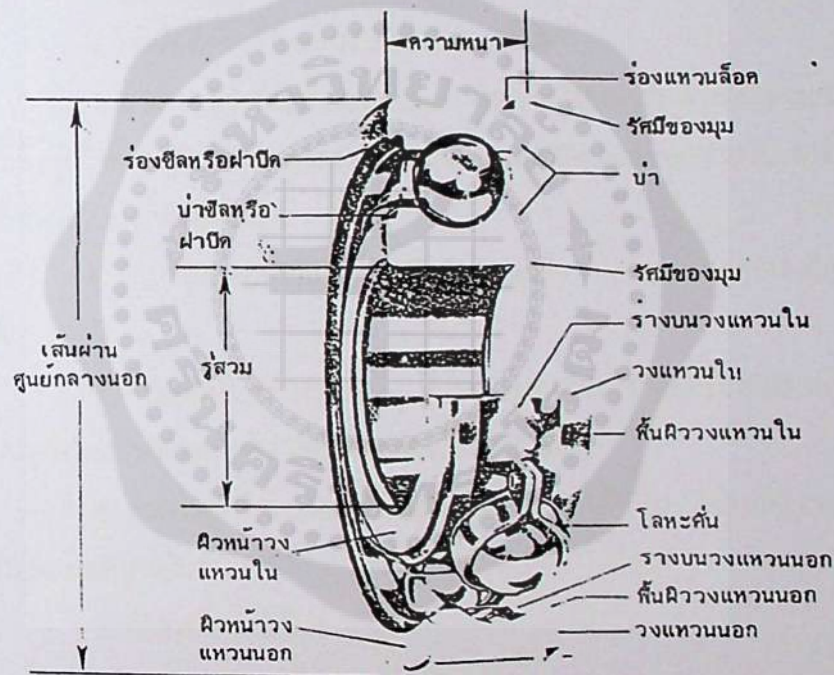
$$A = \pi d_b n$$

เพราะฉะนั้น

$$\tau_d = \frac{3W}{2\pi d_b n} \quad (2.17)$$

โรลลิ่งแบร์ริง

โรลลิ่งแบร์ริง (rolling bearings) หมายถึงแบร์ริงชนิดที่รับแรงโดยอาศัยชิ้นส่วนของแบร์ริงที่มีลักษณะเป็นผิวสัมผัสแบบกลิ้ง (rolling contact) แทนที่จะเป็นผิวสัมผัสแบบเลื่อน (sliding contact) เนื่องจากแบร์ริงชนิดนี้มีค่านี้อาศัยความเสียดทานน้อยมาก ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งที่นิยมใช้กันทั่วไปในวงการอุตสาหกรรมว่า แอนติฟริกชันแบร์ริง (antifriction bearing) ตัวอย่างเช่น บอลแบร์ริง (ball bearing) หรือดัดลูกปืน ดังรูปที่ 2.36 ซึ่งประกอบไปด้วยวงแหวนเหล็กกล้าสองวงซึ่งแยกออกจากกันด้วยลูกกลิ้งทรงกลม ลูกกลิ้งเหล่านี้รับแรงมาจากวงแหวนวงหนึ่งแล้วส่งแรงนี้ผ่านไปยังวงแหวนอีกวงหนึ่ง โดยการกลิ้งไปบนวงแหวน



รูปที่ 2.37 แสดงส่วนต่างๆ ของบอลแบร์ริง

เนื่องจากมีการใช้โรลลิ่งแบร์ริงกันอย่างแพร่หลายกันทั่วไป สมาคมผู้ผลิตโรลลิ่งแบร์ริง (AFBMA [1] : Anti - Friction Bearing Manufacturers Association) จึงได้วางมาตรฐานการกำหนดขนาดและหลักเกณฑ์ที่จะใช้ในการเลือกแบร์ริงเหล่านี้ขึ้น จากมาตรฐานนี้ทำให้ผู้ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลสามารถเลือกแบร์ริงจากแคตตาล็อกของผู้ผลิตหนึ่ง และทำการเปลี่ยนแบร์ริงนี้โดยการเลือกจากอีกผู้ผลิตหนึ่งได้ โดยที่แบร์ริงที่เลือกจากผู้ผลิตทั้งสองยังคงมีขนาดเท่ากัน ถึงแม้ว่าสมาคม AFBMA ได้วางมาตรฐานวิธีการเลือกแบร์ริงตามความต้องการของการรับแรงและอายุการใช้งานเอาไว้ แต่ก็ยังมีผู้ผลิตที่มีการวางมาตรฐานการเลือกแบร์ริงของตัวเองแตกต่างออกไปจากของ AFBMA

แต่อย่างไรก็ตามเกิดความคลาดเคลื่อนของผู้ผลิตที่มีข้อมูลเพียงพอที่จะทำให้การเปลี่ยนค่ามาเทียบกับค่าของ AFBMA

ก่อนที่จะตัดสินใจเลือกใช้โรลลิงแบร์ริง ผู้ออกแบบก็ควรที่จะพิจารณาถึงข้อดีและข้อเสีย เมื่อเปรียบเทียบกับเจอร์นัลแบร์ริงดังต่อไปนี้ คือ

1. มีความเสียดทานขณะสตาร์ทน้อย (low starting friction torque) จึงเหมาะสำหรับเครื่องจักรกลที่มีการเดินเครื่องและหยุดเครื่องบ่อยครั้ง
2. ง่ายต่อการหล่อลื่นและบำรุงรักษา โดยเฉพาะชนิดที่อัดด้วยไขมัน หรือจารบีมาจากโรงงานด้วยแล้ว เกือบจะไม่ดูแลเกี่ยวกับการหล่อลื่นอีกเลย
3. ใช้ปริมาณสารหล่อลื่นน้อย
4. ใช้เนื้อที่ทางด้านแกน (axial space) น้อย
5. สามารถรับแรงรูน (thrust load) และแรงในแนวรัศมี (radial load) ได้พร้อมกัน ยกเว้นโรลลิงแบร์ริงแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกตรง (straight roller bearing) สำหรับเจอร์นัลแบร์ริงรับแรงได้เฉพาะในแนวรัศมีเท่านั้น
6. สามารถที่จะทราบได้ว่าแบร์ริงกำลังจะเสีย โดยการสังเกตจากเสียงดัง ซึ่งผิดไปจากปกติ
7. มีเคลือบรันช์น้อยมาก จึงเหมาะสมที่จะใช้กับเครื่องจักรกลที่ต้องการความละเอียดแม่นยำในการทำงาน เช่น เฟืองและลูกเบี้ยว เป็นต้น
8. สามารถใช้รองรับเพลานในตำแหน่งใดๆ ได้ เช่น ใช้รองรับเพลาน ซึ่งวางเรียงเป็นมุมกับแนวระดับ เป็นต้น
9. ทำการติดตั้งได้ง่าย

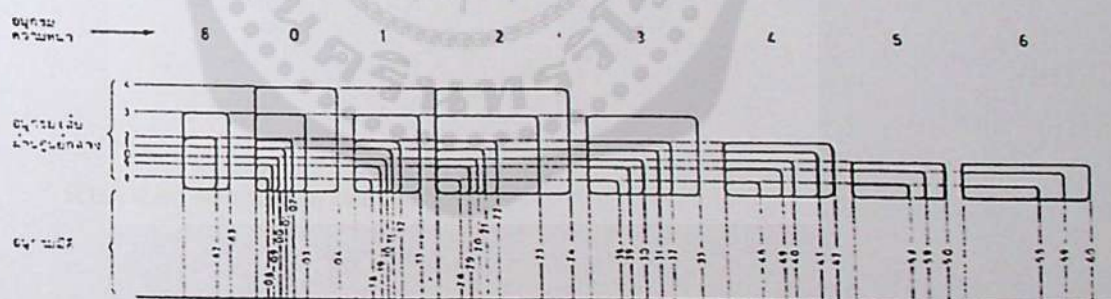
ข้อเสียของโรลลิงแบร์ริงเปรียบเทียบกับเจอร์นัลแบร์ริง

1. ใช้เนื้อที่ทางด้านรัศมี (radial space) มากกว่า
2. โดยปกติแล้วราคาแพงกว่า
3. ขณะทำงานจะมีเสียงดังมากกว่า เนื่องจากการสัมผัสระหว่างผิวของลูกกลิ้งและแหวนข้างในบางขณะ
4. อายุการใช้งานสั้นกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าสูง และกระทำซ้ำกัน (repeated load) จึงทำให้เกิดความล้า
5. เมื่อมีแรงกระแทกทำให้อายุการใช้งานได้ลดน้อยลง

มิติมาตรฐานของโรลลิงแบร์ริง

การกำหนดมาตรฐานของแบร์ริง ทำให้ผู้ผลิตสามารถที่จะผลิตแบร์ริงได้ราคาถูกลง ทำให้ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้ได้อย่างสะดวก และทำให้การดูแลรักษาตลอดจนการเก็บแบร์ริงสำรองกระทำได้ง่ายขึ้น ด้วยเหตุนี้เอง สมาคม AFBMA ซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบในการจัดพิมพ์มาตรฐานชนิดต่างๆ จึงร่วมกับสมาคมเกี่ยวกับโรลลิงแบร์ริงอื่นๆ จัดทำมาตรฐานให้เข้ากับขององค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (ISO) มาตรฐานนี้จะบอกถึงมิติภายนอกของแบร์ริง คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก - ภายในและความหนา ส่วนมิติภายในแบร์ริงให้เป็นไปตามที่ผู้ผลิตจะออกแบบ

มาตรฐานนี้จะเห็นได้จากรูป 2.38 ซึ่งประกอบด้วยอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter series) เรียงจากเบอร์ 8 9 0 1 2 3 และ 4 โดยที่อนุกรม 8 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กที่สุด และอนุกรม 4 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตที่สุด ส่วนความหนาบอกได้ด้วยอนุกรมความหนา (width series) เรียงเบอร์จาก 8 0 1 2 3 4 5 และ 6 โดยที่อนุกรม 8 บางที่สุด และอนุกรม 6 หนาที่สุด ดังนั้นมาตรฐานของแบร์ริงจึงบอกได้โดยรวมเบอร์อนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลางกับอนุกรมความหนาเข้าด้วยกัน เรียกว่าอนุกรมมิติ (dimension series) โดยที่เลขตัวแรกแทนอนุกรมความหนา และเลขตัวที่สองแทนอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง เช่น แบร์ริงที่อยู่ในอนุกรมมิติ 03 หมายถึง แบร์ริงที่มีอนุกรมความหนา 0 และอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เป็นต้น



รูปที่ 2.38 แสดงขอบเขตของมิติ สำหรับอนุกรมมิติของแบร์ริงต่างๆ

จากรูปที่ 2.38 จะเห็นว่าผู้ออกแบบเครื่องจักรกลสามารถที่จะเลือกใช้แบร์ริงที่มีความหนาตามต้องการได้ โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเปลี่ยนไปเป็นขนาดต่างๆ กัน ในทางกลับกัน ถ้ากำหนดเส้นผ่านศูนย์กลาง (คือ การกำหนดอนุกรมเส้นผ่านศูนย์กลาง) ก็สามารถที่จะเลือกแบร์ริงที่มีความหนาต่างๆ กันได้

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

การคำนวณหาขนาดของน้ำหนัก

เนื่องจากเราต้องการแรงกดที่ใช้สำหรับทดสอบเท่ากับ 1 กิโลกรัม (kg)

กำหนดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (D) = 60 mm

กำหนดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (d) = 11 mm

จากตารางภาคผนวก ข

ความหนาแน่นของเหล็กโครงสร้างทั่ว ๆ ไป (ρ) = 7850 kg/m³

จากสมการการหาปริมาตรของทรงกระบอกกลวง

$$V = \left(\pi \times \frac{h}{4} \right) \times (D^2 - d^2) \quad (3.1)$$

หาปริมาตรของ น้ำหนัก จากสมการ

$$\begin{aligned} W &= V \rho_{\text{steel}} \\ V &= \frac{W}{\rho_{\text{steel}}} \end{aligned} \quad (3.2)$$

แทนค่า น้ำหนัก , ความหนาแน่นของเหล็กลงในสมการ (3.2)

$$\begin{aligned} V &= \frac{1 \text{ kg}}{7850 \text{ kg/m}^3} \\ &= 1.2739 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

แทนค่า ปริมาตรของ น้ำหนักลงในสมการ (3.1)

$$1.2739 \times 10^{-4} = \left(\pi \times \frac{h}{4} \right) \times (0.060^2 - 0.011^2)$$

$$h = 0.0466 \text{ m}$$

$$= 46.62 \text{ mm}$$

การคำนวณหา น้ำหนัก ของแผ่นรองน้ำหนัก

$$\text{กำหนดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของแผ่นรองน้ำหนัก (D)} = 60 \text{ mm}$$

$$\text{กำหนดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนกลาง (d)} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{กำหนดขนาดความหนาของแผ่นรองน้ำหนัก (b)} = 8 \text{ mm}$$

$$\text{กำหนดขนาดของความสูงของแกนกลาง (h)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{ความหนาแน่นของเหล็ก (\rho)} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

จากสมการ (3.2) หาน้ำหนักของแผ่นรองน้ำหนัก

$$W = V \rho_{\text{steel}}$$

แบ่งแผ่นรองรับน้ำหนักออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนของแผ่นรอง กับ ส่วนของแกนกลาง

$$\begin{aligned} \text{ส่วนของแผ่นรอง (W}_1\text{)} &= V_1 \rho_{\text{steel}} \\ &= \left\{ \frac{\pi}{4} \times (0.060^2) \times (0.008) \right\} \times (7850) \\ &= 0.1775 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ส่วนของแกนกลาง (W}_2\text{)} &= V_2 \rho_{\text{steel}} \\ &= \left\{ \frac{\pi}{4} \times (0.010^2) \times (0.040) \right\} \times (7850) \\ &= 0.02466 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{total}} &= W_1 + W_2 \\ &= 0.1775 + 0.02466 \\ &= 0.202 \text{ kg} \end{aligned}$$

∴ น้ำหนักของแผ่นรองน้ำหนักทั้งหมด เท่ากับ 0.202 kg

การคำนวณการออกแบบคาน

สมมติให้คานเป็นแบบคานยื่น (cantilever beam) คือคานที่มีปลายด้านหนึ่งเป็นอิสระ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งมีจุดรองรับแบบฝังแน่นจนกระทั่งไม่สามารถจะหมุนได้ จากตารางภาคผนวก ก

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าของ ความต้านทานแรงดึงของเหล็ก SS 41 (\sigma)} &= 41 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{ความยาวของคานจากจุดปลายด้านอิสระของคาน ถึงปลายด้านจุดรองรับ (L)} &= 0.23 \text{ m} \\
 \text{น้ำหนักของแผ่นร่อนน้ำหนัก บวกกับ น้ำหนัก (W)} &= 1.202 \text{ kg} \\
 \text{ระยะจากแกนสะเทิน (neutral axis) ไปยังผิวนอกสุด (C)} &= \frac{d}{2} = r \\
 \text{โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ (I) จากตารางภาคผนวก ก} &= \frac{\pi d^4}{64}
 \end{aligned}$$

จากสมการ การหาความเค้นที่เกิดขึ้นกับคาน

$$M_{\max} = WL \quad (3.3)$$

$$= (1.202 \text{ kg}) \times (0.23 \text{ m})$$

$$= 0.27646 \text{ kg.m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{Mc}{I}$$

$$= \frac{32M}{\pi d^3}$$

(3.4)

แทนค่า ความต้านทานแรงดึงของเหล็ก ลงในสมการ (3.4)

$$41 \times 10^6 = \frac{32 \times 0.27646}{\pi d^3}$$

$$d^3 = \frac{32 \times 0.27646}{(41 \times 10^6) \times \pi}$$

$$= 0.068 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$d = 0.00410 \text{ m}$$

ใช้ค่า ความปลอดภัย = 4

$$d = 0.00410 \times 4$$

$$= 0.01640 \text{ m}$$

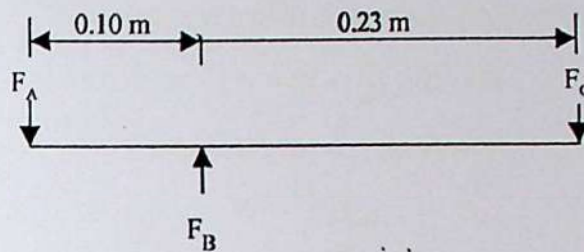
$$= 16.40 \text{ mm}$$

ดังนั้น เลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาน เท่ากับ 18 mm

ความยาวของคาน

เท่ากับ 380 mm

การคำนวณการออกแบบ น้ำหนักสมดุล



กำหนดให้ตำแหน่งระยะที่จะใช้น้ำหนักสมดุล อยู่ห่างจากจุดหมุน = 0.10 m

กำหนดให้ตำแหน่งระยะที่จะใช้ น้ำหนักทดสอบ อยู่ห่างจากจุดหมุน = 0.23 m

น้ำหนักของ แผ่นรองน้ำหนัก (F_C) = 0.202 kg

น้ำหนักของคานที่ระยะ 0.23 m คือ

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการ การหาค่าน้ำหนัก } m &= V\rho_{\text{steel}} \\
 &= \left(L \times \frac{\pi d^2}{4}\right) \times \rho_{\text{steel}} \\
 &= (0.23) \times \frac{\pi \times (0.018^2)}{4} \times 7850 \\
 &= 0.4594 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

น้ำหนักของคานที่ระยะ 0.10 m คือ

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการ การหาค่าน้ำหนัก } m &= V\rho_{\text{steel}} \\
 &= \left(L \times \frac{\pi d^2}{4}\right) \times \rho_{\text{steel}} \\
 &= (0.15) \times \frac{\pi \times (0.018^2)}{4} \times 7850 \\
 &= 0.2996 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น การหาค่าของ แรงที่น้ำหนักสมดุล กระทำกับคานหาได้จาก $\sum M_B = 0$

$$\begin{aligned}
 (F_A \times 0.10 \text{ m}) + (0.2996 \text{ kg} \times \frac{0.15}{2} \text{ m}) &= (0.202 \text{ kg} \times 0.23 \text{ m}) + (0.4594 \text{ kg} \times \frac{0.23}{2} \text{ m}) \\
 F_A &= 0.8193 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

กำหนดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (D) = 60 mm

กำหนดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (d) = 19 mm

จากตารางภาคผนวก ข.1

ความหนาแน่นของเหล็กโครงสร้างทั่วไป (ρ) = 7850 kg/m³

การคำนวณการออกแบบ น้ำหนักสมดุลง (ต่อ)

จากสมการ การหาปริมาตรของทรงกระบอกกลวง สมการ 3.1

$$V = \left(\pi \times \frac{h}{4} \right) \times (D^2 - d^2)$$

หาปริมาตรของ น้ำหนัก จากสมการ 3.2

$$W = V \rho_{\text{steel}}$$

$$V = \frac{W}{\rho_{\text{steel}}}$$

แทนค่า น้ำหนัก , ความหนาแน่นของเหล็กลงในสมการ (3.2)

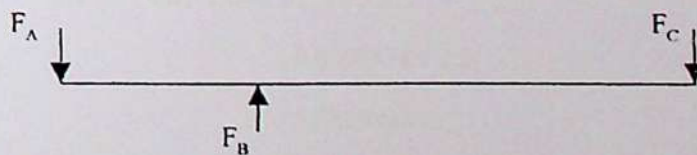
$$\begin{aligned} V &= \frac{0.8193 \text{ kg}}{7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \\ &= 1.0437 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

แทนค่า ปริมาตรของ น้ำหนักลงในสมการ (3.1)

$$\begin{aligned} 1.0437 \times 10^{-4} &= \left(\pi \times \frac{h}{4} \right) \times (0.060^2 - 0.019^2) \\ h &= 0.0410 \text{ m} \\ &= 41.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

การคำนวณการออกแบบ สลัก

การหาค่าของแรงที่กระทำกับสลักหาได้จากการรวมแรงในแนวแกน y , $\sum F_y = 0$



$$\begin{aligned} F_B &= F_A + F_C + \text{น้ำหนักของคานทั้งหมด} \\ &= [(0.8193 \text{ kg}) + (1.202 \text{ kg}) + (0.7591 \text{ kg})] \\ &= 2.7804 \text{ kg} \end{aligned}$$

ดังนั้นแรงที่กระทำกับสลักทั้งหมด เท่ากับ 2.7804 kg

การคำนวณ การออกแบบ สลัก (ต่อ)

จากตารางภาคผนวก ก

$$\begin{aligned}\text{ความเค้นเฉือนของเหล็ก SS 41 } (\tau_d) &= 24 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \\ \text{แรงที่กระทำต่อสลักทั้งหมด (F)} &= 2.7804 \text{ kg}\end{aligned}$$

จากสมการ (2.10) การหาขนาดของสลักที่รับแรงเฉือน

$$\tau_d = \frac{4V}{3A} = \frac{16F}{3\pi d^2}$$

แทนค่า ความเค้นเฉือน แรงที่กระทำกับสลัก ลงในสมการ

$$\begin{aligned}\tau_d &= \frac{16F}{3\pi d^2} \\ 24 \times 10^6 \text{ kg/m} &= \frac{16 \times 2.7804 \text{ kg}}{3 \times \pi \times d^2} \\ d^2 &= \frac{16 \times 2.7804 \text{ kg}}{3 \times \pi \times (24 \times 10^6 \text{ kg/m}^2)} \\ &= [0.1966 \times 10^{-6}] \\ d &= \sqrt{0.1966 \times 10^{-6}} \\ &= 0.0004434 \text{ m}\end{aligned}$$

ใช้ค่า ความปลอดภัย เท่ากับ 2.0

$$= 0.0004434 \times 2.0$$

$$= 0.8868 \text{ mm}$$

หมายเหตุ เลือกใช้ขนาดของสลัก 8 mm เนื่องจากจะต้องนำไปประกอบกับชิ้นส่วนอื่นอีก
เนื่องจากชิ้นส่วนบางอย่าง ยังมีขนาดเล็กมากๆ ก็จะทำให้ยาก และ มีราคาแพง

การคำนวณหาขนาดของเกลียว สกรูส่งกำลัง

กำหนดให้ขนาดความยาวของเกลียวตัวเมีย หลีด (l_e)	= 20 mm
ระยะพิคซ์ (P)	= 1.5 mm
จำนวนฟัน ($n = \frac{l_e}{P} = \frac{20}{1.5}$)	= 13.3
น้ำหนักของแท่นเลื่อนทั้งหมด + น้ำหนัก 1 kg	= 2.3628 kg
สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ)	= 0.25

จากสมการความเค้นเฉือนสูงสุด สำหรับพื้นที่หน้าตัดที่รับแรง สมการ 2.16

$$\tau = \frac{3W}{2A}$$

$$A = \pi d_r b n$$

$$\tau_d = \frac{3W}{2\pi d_r b n}$$

สมการ 2.17

$$\tau_d = 0.6\sigma$$

$$\sigma = 41 \text{ kg/mm}^2$$

จากตารางภาคผนวกที่ ก.1

$$0.6 \times \sigma = \frac{3W}{2\pi d_r b n}$$

$$\therefore d_r = \frac{3 \times 2.3628 \times 0.25}{2 \times \pi \times 1.5 \times 13.3 \times 41 \times 0.6}$$

$$= 0.0005745 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{กำหนดใช้ค่าความปลอดภัย} &= 2 \\ &= 0.0005745 \times 2 \\ &= 0.001149 \text{ mm} \end{aligned}$$

เนื่องจากค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงเลือกใช้เกลียวขนาด M 10

การคำนวณการออกแบบ สปริง

กำหนดให้ระยะยุบใช้งาน (χ)	= 1 cm
ความเร็วที่ต้องการ (V) โดยประมาณ	= 1 cm/s
น้ำหนักของชุดเคลื่อนขึ้นงานรวมทั้งหมด(W)	= 5.90 kg
น้ำหนักที่ใช้กดลงขึ้นงาน	= (1kg) $\cos 45^\circ$
	= 0.7071 kg
พลังงานศักย์ (PE)	= $\frac{1}{2} K \chi^2$
พลังงานจลน์ (KE)	= $\frac{1}{2} m v^2$
สมมติให้แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมากจึงไม่นำมาคิด ($\mu \cong 0$)	

จากสมการพลังงาน

$$\begin{aligned}
 \text{พลังงานศักย์}_{\text{สปริง}} &= \text{พลังงานจลน์}_{\text{สปริง}} \\
 \frac{1}{2} K \chi^2 &= \frac{1}{2} m v^2 \\
 \frac{1}{2} K \chi^2 &= \frac{1}{2} \left(\frac{W}{g} \right) v^2 \\
 K &= \frac{W v^2}{g \chi^2} \\
 &= \frac{6.6071 \cdot 0.01^2}{9.81 \cdot 0.01^2} \\
 \therefore K &= 0.673
 \end{aligned}$$

ดังนั้นเลือกใช้สปริงที่มีค่าคงที่ของสปริง $K \cong 0.70$

บทที่ 4

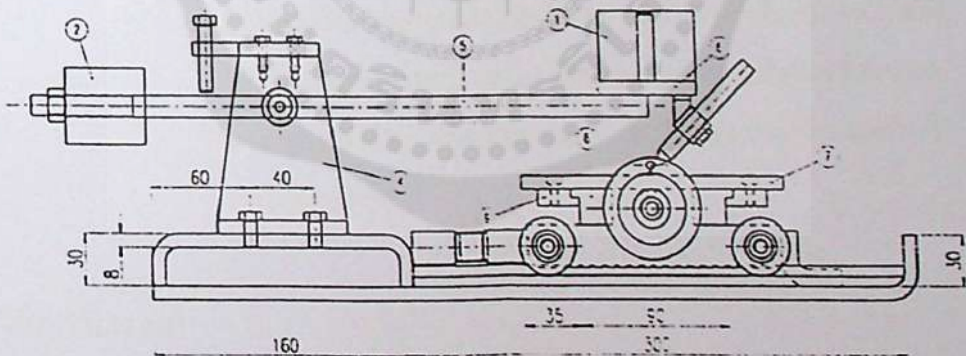
ผลการทดลอง

การทดสอบความแข็งของฟิล์มสี

จะมีวิธีการทดสอบ 2 วิธี คือ การทดสอบด้วยมือ และ การใช้เครื่องในการทดสอบ การทดสอบความแข็งแรงโดยการใช้คินสอ เป็นวิธีการทดสอบที่ง่ายที่สุด และ สามารถใช้ประโยชน์ได้ดี การทดสอบทำได้โดยการนำคินสอที่มีความแข็งต่างๆ กัน กดลงบนแผ่นฟิล์มสี

อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบ

1. เครื่องทดสอบความแข็งของฟิล์มสี ดังแสดงตามรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงเครื่องทดสอบความแข็งของฟิล์มสี

2. ดินสอที่ใช้ในการทดสอบ จะใช้ตามมาตรฐาน JIS S 6066

สำหรับสัญลักษณ์ความแข็งของดินสอที่แข็งที่สุด คือ 5H

สำหรับสัญลักษณ์ความแข็งของดินสอที่อ่อนที่สุด คือ 5B

วิธีการเหลาคินสอ ให้เหลาเอาไม้ดอกโดยให้เหลือเฉพาะไส้ในให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร แล้วขจัดคินสอบนกระดาดทราย ให้มีลักษณะปลายเรียบ และมีมุมแหลม

3. กระดาษทรายที่ใช้ เบอร์ 400 ตามมาตรฐาน JIS R 6252
4. ชิ้นทดสอบ ใช้แผ่นเหล็กขนาด $150 \times 70 \times 0.8$ มิลลิเมตร การเตรียมชิ้นงานในการทดสอบ ให้ทำการพ่นสีลงบนชิ้นงาน ทิ้งให้แห้งในอากาศปกติประมาณ 1 ชั่วโมง ก่อนนำมาทดสอบ

วิธีการทดสอบ

1. ยึดชิ้นทดสอบ ให้อยู่ในแนวระดับ โดยหันด้านหน้าของชิ้นทดสอบขึ้นด้านบน แล้วทำการจับยึดให้แน่น กับเครื่องทดสอบ
2. นำดินสอไปใส่ในที่จับยึดดินสอ โดยให้ปลายของดินสอสัมผัสกับชิ้นทดสอบ โดยให้ดินสอเอียงทำมุม 45 องศา กับแนวระดับ ปลายของดินสออยู่ตรงกับจุดศูนย์กลางมวลของน้ำหนัก
3. ต่อจากนั้น ปรับภาระที่กระทำกับดินสอ ที่ใช้ทดสอบความแข็งของฟิล์มสี ให้สมดุลน้ำหนัก โดยดูให้คานอยู่แนวระดับ ตั้งเกตุจากเข็มวัดระดับ ชันอัดสกรูยกปลายดินสอขึ้น แล้วใส่น้ำหนัก 1.00 ± 0.05 กิโลกรัม
4. เลื่อนชิ้นทดสอบให้เคลื่อนที่ไปประมาณ 1 เซนติเมตร ในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางดินสอ หลังจากนั้นคลายสกรูเพื่อปล่อยให้น้ำหนักกระทำต่อดินสอเพื่อให้ปลายดินสอขูดบนชิ้นงานด้วยความเร็ว 1 เซนติเมตรต่อ วินาที เคลื่อนชิ้นทดสอบในทิศทางตั้งฉากกับ ทิศทางการเคลื่อนที่ของรอยดินสอ โดยต้องทำการ ขูด ขีด จำนวนทั้งหมด 3 ครั้ง ในการทดสอบใหม่แต่ละครั้ง ให้เหลาดินสอใหม่ทุกครั้ง

วิธีการวิเคราะห์

ถ้าปลายดินสอเบอร์ใดแตกในระหว่างที่แทงทะลุผิวฟิล์มไป เกิดรอยขูดขีดขึ้นก็ถือว่าฟิล์มดังกล่าวมีค่าความแข็งต่ำกว่าความแข็งของดินสอนั้น เช่น ถ้าฟิล์มมีความแข็งมากจนทำให้ดินสอเบอร์ 5H ซึ่งแข็งที่สุดแตกแสดงว่าฟิล์มนั้นมีความแข็งมากคือ มีความแข็งเท่ากับดินสอเบอร์ 5H แต่ถ้าดินสอสามารถแทงทะลุผ่านผิวของฟิล์มได้โดยที่ดินสอไม่แตกเลย แม้กระทั่งดินสอเบอร์ 5B ที่มีความแข็งน้อยที่สุด ก็แสดงว่าฟิล์มนั้นมีผิวเคลือบที่อ่อน (soft coating)

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลอง

ชั้นทดสอบที่	ครั้งที่ทดสอบ	ความแข็งของดินสอ 5H ถึง 5B	ผลที่ได้
1	1	2B	ดินสอแตก
	2	H	ดินสอแตก, ชั้นทดสอบเกิดรอย
	3	2H	ดินสอ ไม่แตก, ชั้นทดสอบเกิดรอย
2	1	2B	ดินสอแตก
	2	H	ดินสอแตก, ชั้นทดสอบเกิดรอย
	3	2H	ดินสอ ไม่แตก, ชั้นทดสอบเกิดรอย

จากผลการทดลอง ชิ้นงานจำนวน 2 ชิ้น ทดลองชุดขีดชิ้นงานโดยใช้เครื่องทดสอบ ชิ้นงานละ 3 ครั้ง ได้ผลการทดลองออกมา คือชิ้นงานทั้ง 2 ชิ้น มีค่าความแข็งของฟิล์มสี เมื่อเทียบกับความแข็งของดินสอเบอร์ H

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลองจะเห็นว่าผลการทดลองที่ออกมา จะมีผลการทดลองที่แน่นอน แม่นยำ กว่าทดสอบด้วยการใช้มือในการทดสอบ
2. ได้ค่าน้ำหนักที่กดของดินสอลงบน ชั่งงาน ที่คงที่แน่นอน คือ 1 กิโลกรัม
3. ได้ค่าความเร็วของชั่งงาน คงที่ คือประมาณ 1 เซนติเมตร ต่อ วินาที
4. ประสิทธิภาพในการทดสอบสูง สามารถทดสอบชั่งงานได้มาก โดยที่ผลการทดสอบ ก็ยังคงแม่นยำแน่นอน

ปัญหาที่พบ

1. การเริ่มต้นในการทดสอบค่อนข้างจะต้องมีความละเอียดในช่วงของการสมดุลย์ แรง
2. ต้องเหลาดินสอใหม่ทุกครั้ง ในการทดสอบแต่ละครั้ง

ข้อเสนอแนะ

1. การเริ่มต้นในการทดสอบ ควรเริ่มที่ค่าความแข็งดินสอที่ค่าความแข็งอ่อนๆ แล้วค่อยเพิ่มค่าความแข็งขึ้นไปทีละขั้น
2. การเหลาดินสอ ควรเหลาดินสอให้ความยาวของไส้ดินสอเท่ากันทุกครั้ง ให้ไส้ดินสอโผล่ออกมาประมาณ 3 มิลลิเมตร

บรรณานุกรม

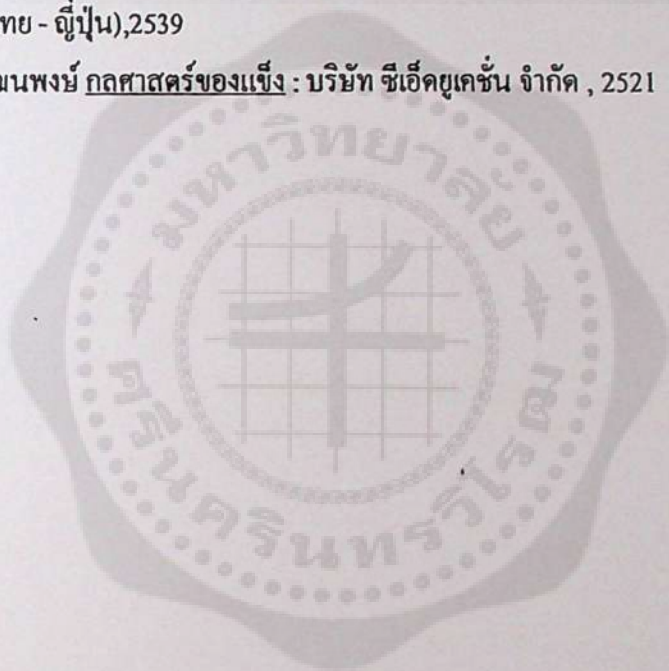
วรวิทย์ อึ้งภากรณ์,ชาญ ถนัดงาน การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1,2 : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2541

บรรเลง ศรีนิล,ประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์ ตารางงานโลหะ: สำนักพิมพ์สถาบันพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,2524

อรอุษา สรวารี สารเคลือบผิว: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2539

มานพ คันตระกูลบัณฑิตย์,สำลี แสงห้าว,สุทิน จิตรีเจริญ ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น),2539

สุรเชษฐ รุ่งวัฒนพงษ์ กลศาสตร์ของแข็ง : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , 2521





ตารางภาคผนวกที่ ก.1 แสดงคุณสมบัติของเหล็กกล้า (kg/mm^2)

ชนิดของวัสดุ	ความเค้นคราก (σ_y) (kg/mm^2)	ความเค้นสูงสุด (σ_u) (kg/mm^2)
SS 34	18~21	34~44
SS 41	22~25	41~52
SS 50	26~29	50~62
SS 55	40~41	55

ตารางภาคผนวกที่ ก.2 แสดงคุณสมบัติของเหล็กกล้า (N/mm^2)

ชนิดของวัสดุ	ความเค้นคราก (σ_y) (N/mm^2)	ความเค้นสูงสุด (σ_u) (N/mm^2)
SS 34	177~206	333~431
SS 41	216~245	402~510
SS 50	255~284	490~608
SS 55	392~402	539



ภาคผนวก ข

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเหล็กกล้า

ตารางภาคผนวกที่ ข.1 แสดงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ของเหล็กกล้า

Metal	ρ (kg/m ³)	C_p (kJ/kg.°C)	k (W/m.°C)	α m ² /s * 10 ⁵
Pure	7,897	0.452	73	2.034
Wrought iron, 0.5%C	7,849	0.46	59	1.626
Carbon steel				
C $\approx$ 0.5 %	7,833	0.465	54	1.474
1.0 %	7,801	0.473	43	1.172
1.5 %	7,753	0.486	36	0.970

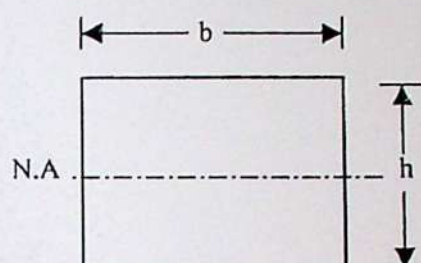


ภาคผนวก ก

คำโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดที่สำคัญ

ตารางภาคผนวกที่ ค.1 แสดงค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดที่สำคัญ

1. สี่เหลี่ยมผืนผ้า

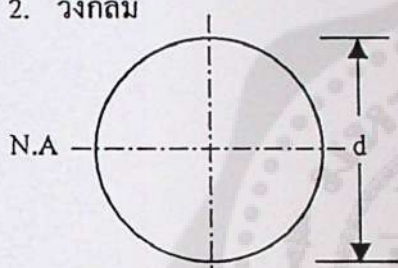


$$A = bh$$

$$C = \frac{h}{2}$$

$$I_{N.A.} = \frac{1}{12} bh^3$$

2. วงกลม

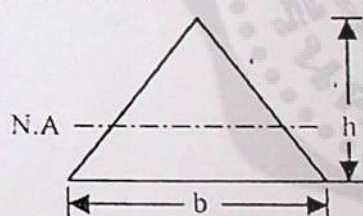


$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$C = \frac{d}{2}$$

$$I_{N.A.} = \frac{\pi}{64} d^4$$

3. สามเหลี่ยม

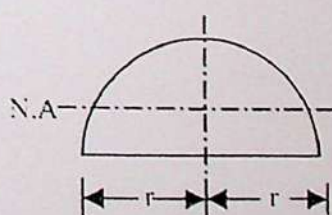


$$A = \frac{1}{2} bh$$

$$C = \frac{h}{3}$$

$$I_{N.A.} = \frac{1}{36} bh^3$$

4. ครึ่งวงกลม



$$A = \frac{\pi r^2}{2}$$

$$C = \frac{4r}{3\pi}$$

$$I_{N.A.} = 0.110r^4$$



ตารางภาคผนวกที่ ง.1 แสดงขนาดของสลักแบบธรรมดาตามมาตรฐาน ISO 2338

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	ความยาว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	ความยาว
d	l	d	l
0.6	2 – 6	6.0	12 – 60
0.8	2 – 8	8.0	14 – 80
1.0	4 – 10	10.0	20 – 100
1.2	4 – 12	12.0	25 – 150
1.5	4 – 16	16.0	30 – 180
2.0	6 – 25	20.0	40 ขึ้นไป
2.5	6 – 25	25.0	50 ขึ้นไป
3.0	8 – 30	30.0	60 ขึ้นไป
4.0	8 – 45	40.0	80 ขึ้นไป
5.0	10 – 50	50.0	100 ขึ้นไป

ตารางภาคผนวกที่ ง.2 แสดงขนาดของสลักแบบเรียวตามมาตรฐาน ISO 2339

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	ความยาว	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	ความยาว
d	l	d	l
0.6	4 – 8	6.0	25 – 90
0.8	5 – 12	8.0	25 – 130
1.0	6 – 16	10.0	30 – 160
1.2	6 – 20	12.0	35 – 180
1.5	8 – 25	16.0	40 ขึ้นไป
2.0	10 – 35	20.0	45 ขึ้นไป
2.5	10 – 35	25.0	50 ขึ้นไป
3.0	12 – 45	30.0	60 ขึ้นไป
4.0	14 – 55	40.0	80 ขึ้นไป
5.0	20 – 60	50.0	100 ขึ้นไป

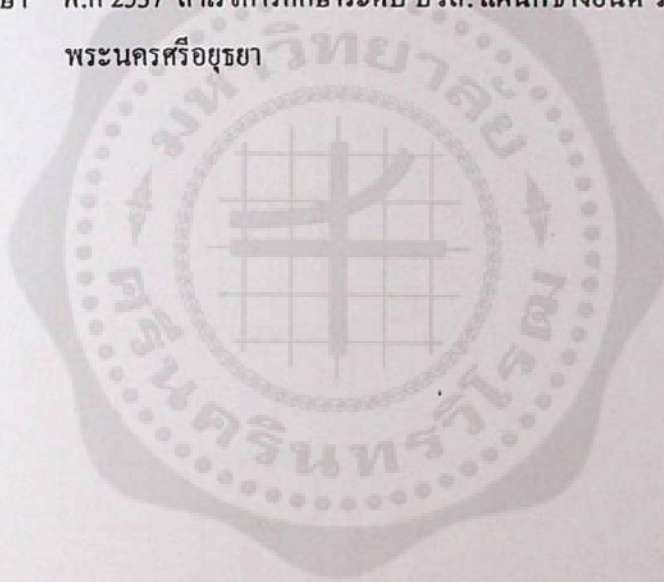
ตารางภาคผนวกที่ 3 แสดงขนาดของสลักแบบเคลวิสตามมาตรฐาน ISO 2340

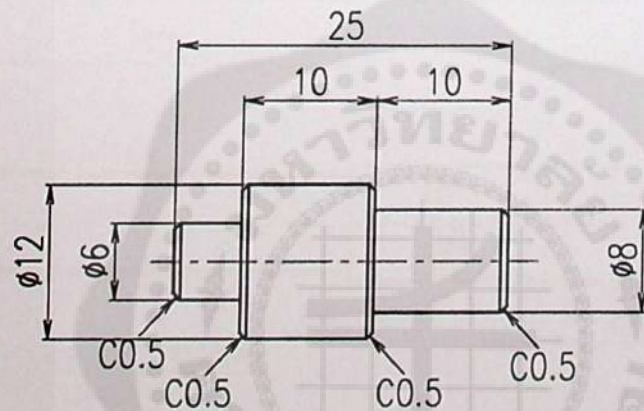
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	ขนาดรูเจาะ	ความยาว
d_1	d_2	l
3	0.8	6 – 30
4	1.0	8 – 40
5	1.2	10 – 50
6	1.6	12 – 60
8	2.0	16 – 80
10	3.2	20 – 100
12	3.2	25 – 120
14	4.0	30 – 140
16	4.0	35 – 160
18	5.0	40 – 180
20	5.0	40 – 200
22	5.0	45 ขึ้นไป
24	6.3	50 ขึ้นไป
27	6.3	55 ขึ้นไป
30	8.0	60 ขึ้นไป
33	8.0	65 ขึ้นไป
36	8.0	70 ขึ้นไป
40	8.0	80 ขึ้นไป
45	10.0	90 ขึ้นไป
50	10.0	100 ขึ้นไป
55	10.0	110 ขึ้นไป
60	10.0	120 ขึ้นไป
70	13.0	140 ขึ้นไป

ประวัติผู้จัดทำโครงการวิศวกรรมศาสตร์

ชื่อ นายทนงศักดิ์ มูลศรี
ที่อยู่ปัจจุบัน 299 - 299/1 หมู่ที่ 5 ต.ทับทวน อ. แก่งคอย จ. สระบุรี
ประวัติการศึกษา พ.ศ 2535 สำเร็จการศึกษาระดับ ปวส. แผนกช่างยนต์ สถาบันเทคโนโลยี
ราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ จังหวัดเชียงใหม่

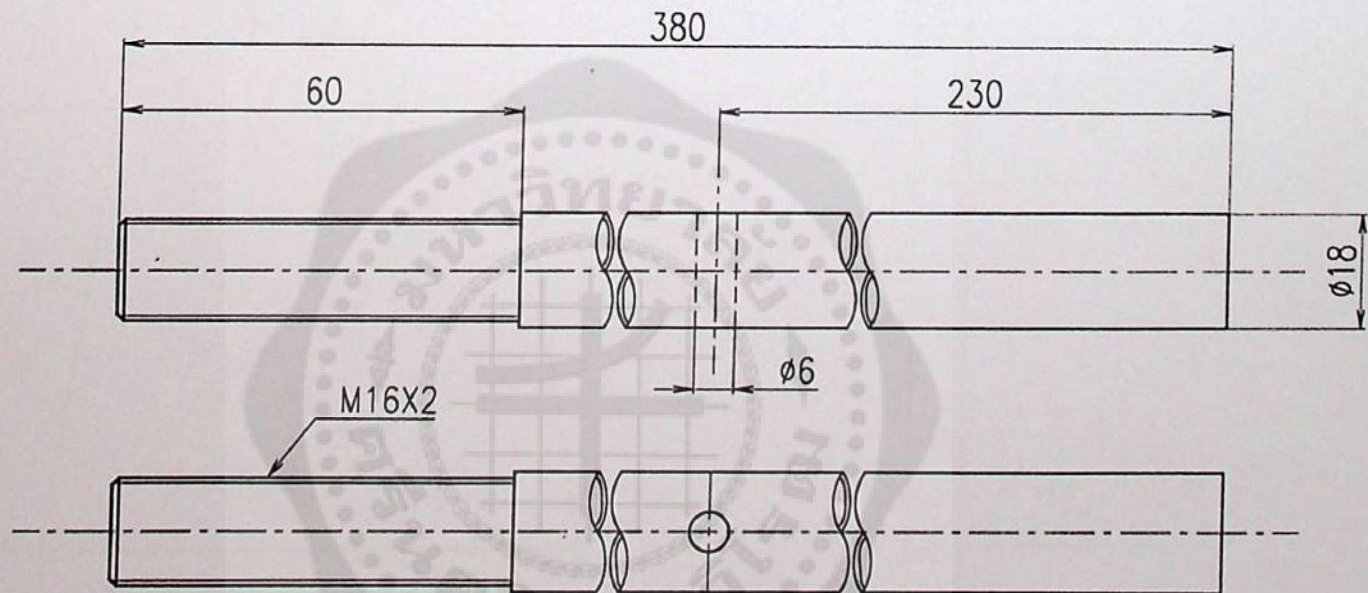
ชื่อ นายบำรุง จันทร์ทอง
ที่อยู่ปัจจุบัน 2/4 หมู่ 6 ต. จำปา อ. ท่าเรือ จ. พระนครศรีอยุธยา
ประวัติการศึกษา พ.ศ 2537 สำเร็จการศึกษาระดับ ปวส. แผนกช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิค
พระนครศรีอยุธยา





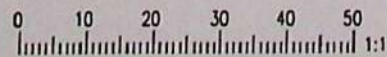
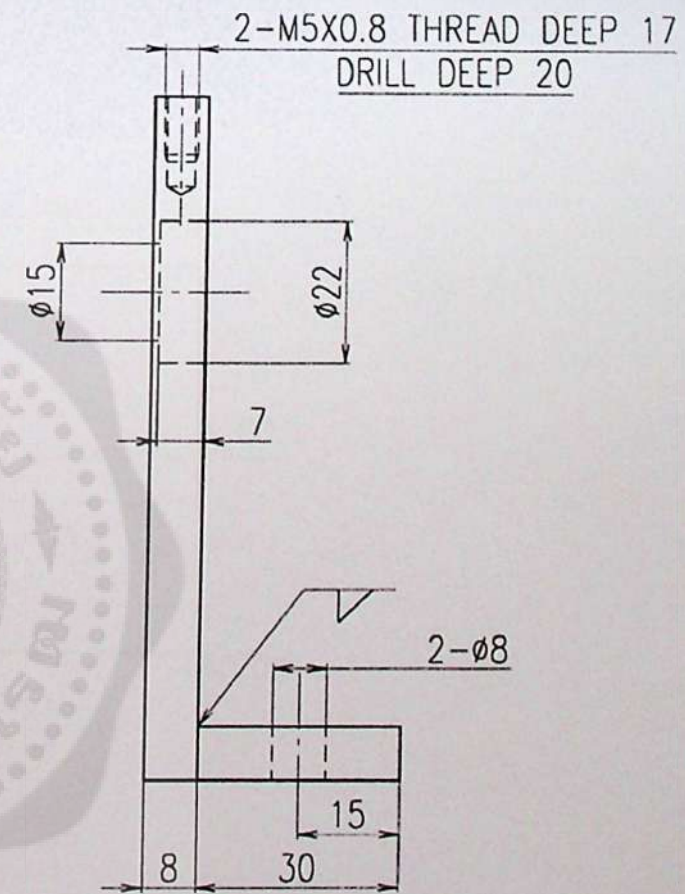
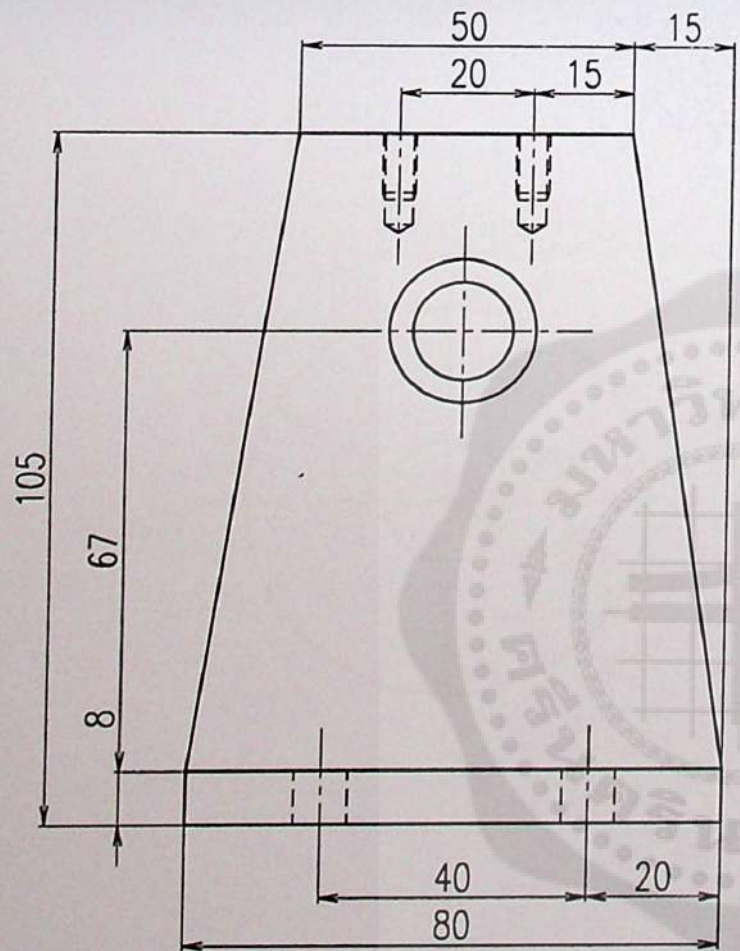
0 10 20 30 40 50
1:1

1	2	PIN						
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ			มาตราส่วน 2:1			
ผู้เขียน	บำรุง	ผู้ตรวจ	บำรุง	ผู้ตรวจ	วันที่ 8/08/2543			
		อาจารย์						
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				ชื่อชิ้นงาน เครื่องวัดความแข็ง				
				หมายเลขแบบ No.01		แก้ไขครั้งที่		แผ่นที่ 1

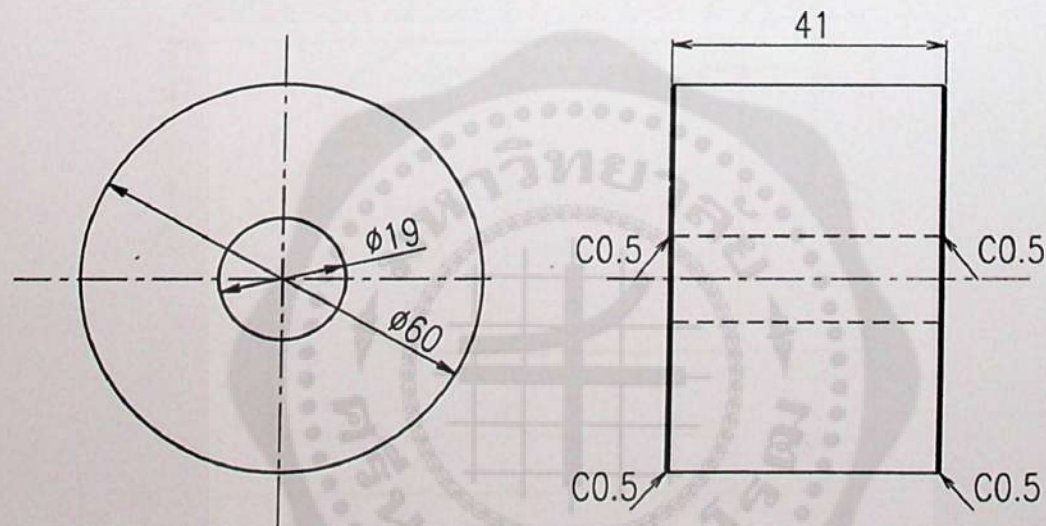


0 10 20 30 40 50
1:1

1	1	BEAM			มาตราส่วน 1:1	
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ			วันที่	8/09/2543
ผู้เขียน	ผู้ตรวจ	ผู้ตรวจ	อาจารย์	อาจารย์		
บำรุง	บำรุง	บำรุง	บำรุง	บำรุง		
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล				ชื่อชิ้นงาน	เครื่องวัดความแข็ง	
คณะวิศวกรรมศาสตร์				หมายเลขแบบ	No.02	แก้ไขครั้งที่ 1
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ						

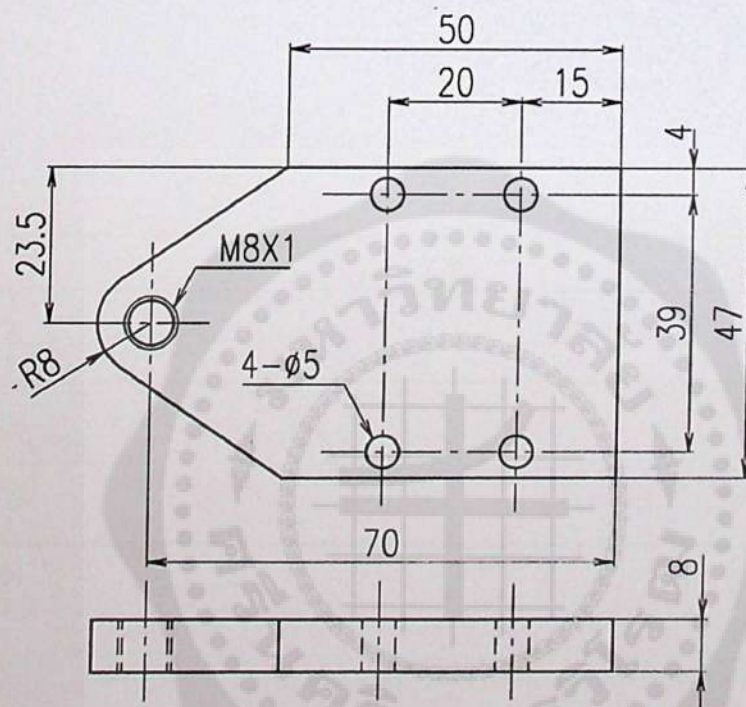


1	2	SUPPORT,beam				
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ				มาตรฐาน 1:1
ผู้เขียน	บำรุง	ผู้ตรวจ	บำรุง	ผู้ตรวจ	ฮารอนบัส	วันที่ 8/09/2543
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				ชื่อชิ้นงาน เครื่องวัดความแข็ง		
				หมายเลขแบบ No.03		
				แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่ 1	

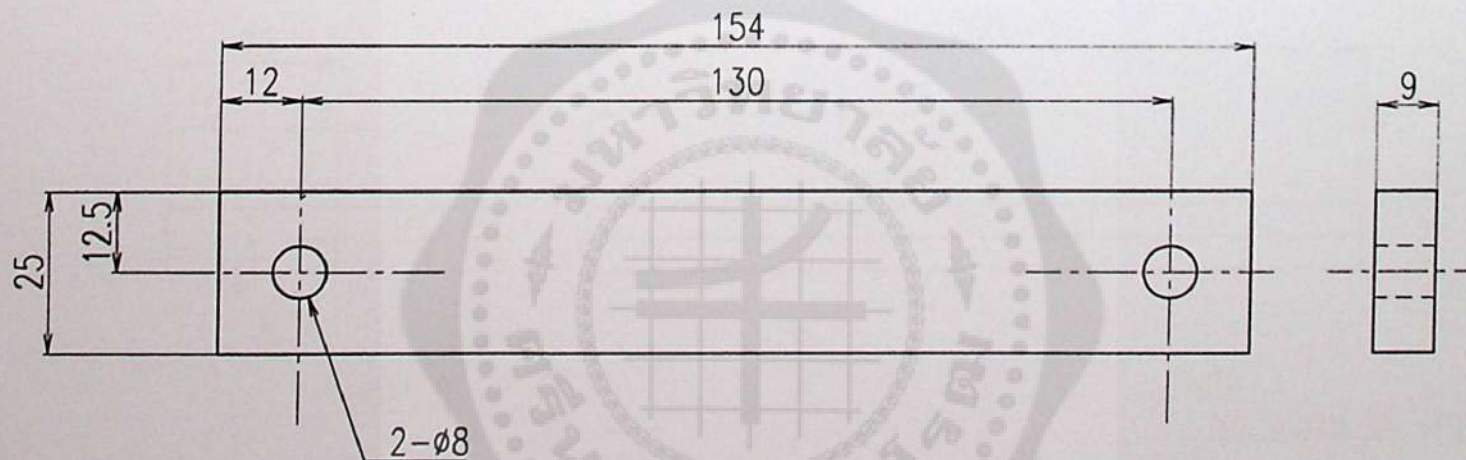


0 10 20 30 40 50
1:1

1	1	WEIGH, balance					
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัตถุ				มาตรฐาน 1:1	
ผู้เขียน		ผู้ตรวจ	ผู้ตรวจ		วันที่	8/03/2543	
	บำรุง	บำรุง	อาจารย์				
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				ชื่อชิ้นงาน เครื่องวัดความแข็ง			
				หมายเลขแบบ No.04		แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่ 1

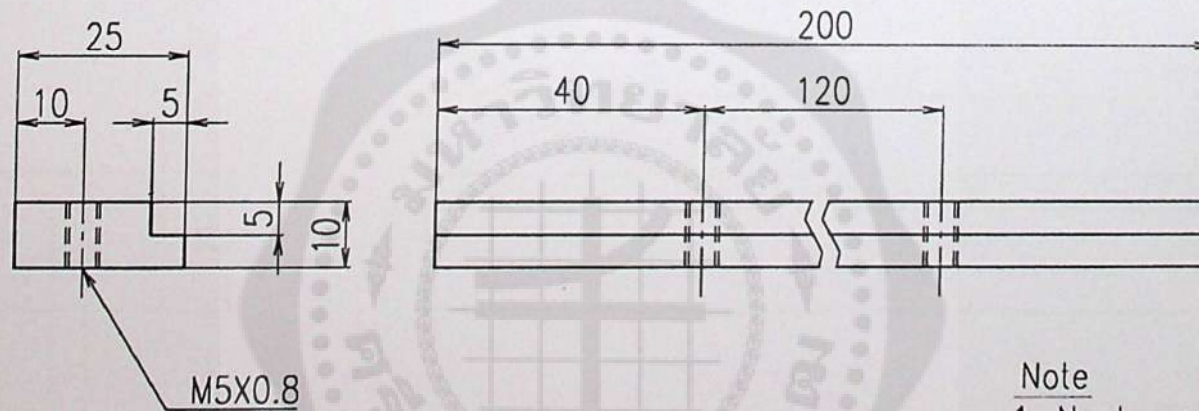


1	1	PLATE,adjust				
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ			มาตรฐาน 1:1	
ผู้เขียน	บักุง	ผู้ตรวจ	บักุง	ผู้ตรวจ	อาจารย์มั่งปัส	วันที่ 8/08/2543
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				ชื่อชิ้นงาน เครื่องวัดความถี่		
				หมายเลขแบบ	No.06	แก้ไขครั้งที่ 1



0 10 20 30 40 50
1:1

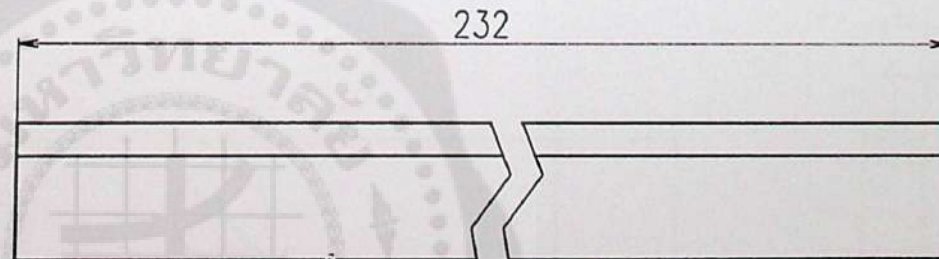
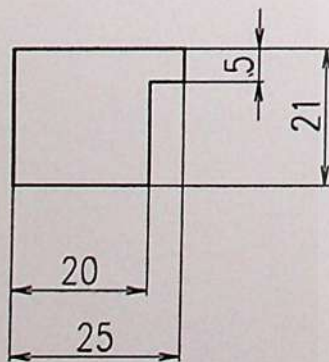
1	2	SUPPORT, wheel 2			
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ			มาตราส่วน 1:1
ผู้เขียน	ผู้ตรวจ	ผู้ตรวจ	อาจารย์	วันที่	8/08/2543
บำรุง	บำรุง	บำรุง	บำรุง		
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชื่อชิ้นงาน เครื่องวัดความแข็ง		
			หมายเลขแบบ	No.07	แก้ไขครั้งที่ 1



Note
1. No burrs at any edge.

0 10 20 30 40 50
1:1

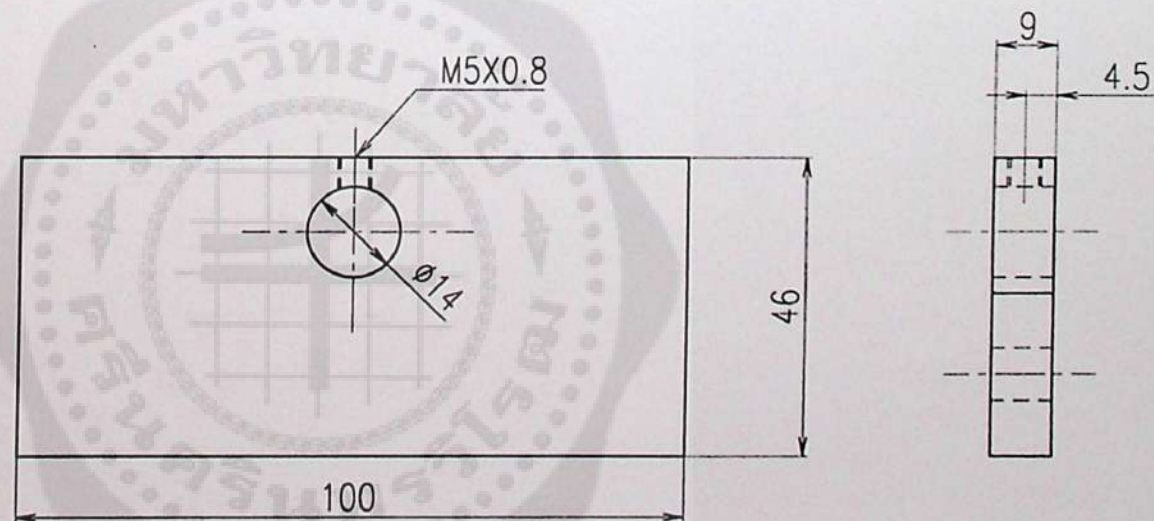
1	2	SUPPORT, table			
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ			มาตรฐาน 1:1
ผู้เขียน	ผู้ตรวจ	ผู้ตรวจ	อาจารย์	วันที่	8/08/2543
บำรุง	บำรุง	บำรุง	บำรุง		
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล			ชื่อชิ้นงาน		
คณะวิศวกรรมศาสตร์			เครื่องวัดความแข็ง		
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			หมายเลขแบบ	No.08	แก้ไขครั้งที่
					แผ่นที่ 1



Note
1. No burrs at any edge.

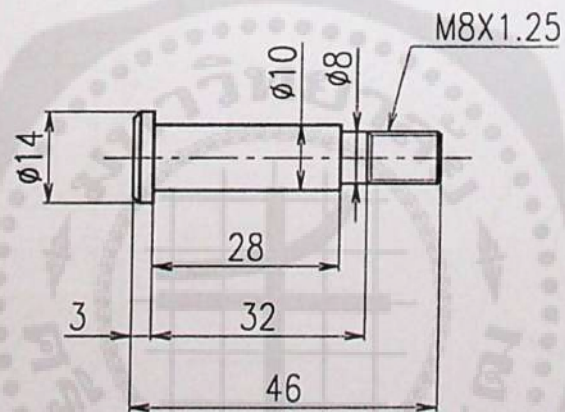
0 10 20 30 40 50
1:1

1	2	SLIDE, support table				
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ			มาตรฐาน 1:1	
ผู้โยน	ผู้ตรวจ	ผู้ตรวจ	ผู้ตรวจ	ผู้ตรวจ	วันที่	
บำรุง	บำรุง	บำรุง	บำรุง	บำรุง	8/08/2543	
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล				ชื่อชิ้นงาน เครื่องวัดความแข็ง		
คณะวิศวกรรมศาสตร์				หมายเลขแบบ No.09		
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				แก้ไขครั้งที่ 1		



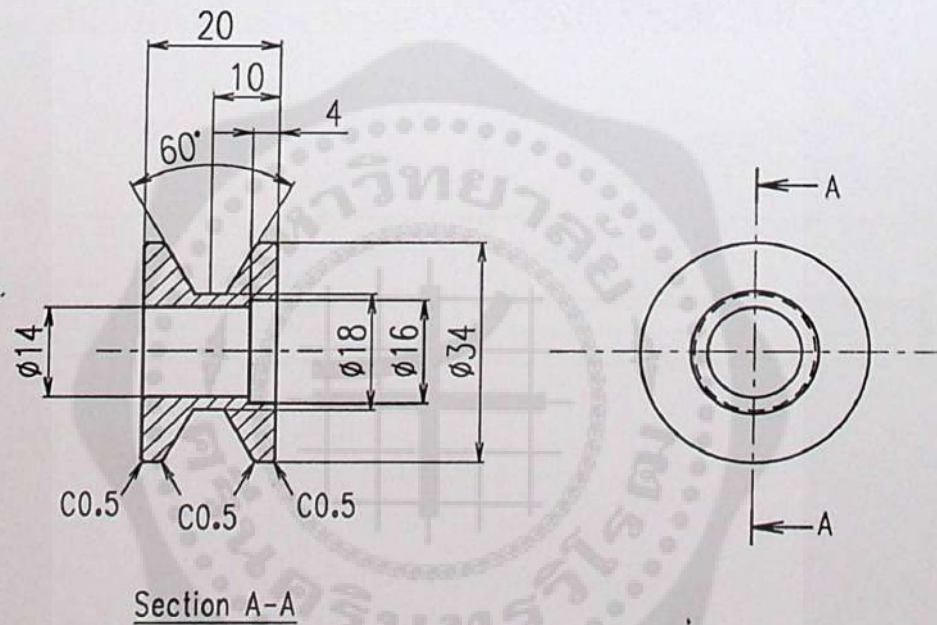
0 10 20 30 40 50
 1:1

1	1	SUPPORT, wheel 2					
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ				มาตรฐาน 1:1	
ผู้เขียน		ผู้ตรวจ	ผู้ตรวจ	อาจารย์		วันที่	8/09/2543
บำรุง		บำรุง		บำรุง			
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				ชื่อชิ้นงาน			
				เครื่องวัดความแข็ง			
				หมายเลขแบบ		แก้ไขครั้งที่	
				No.10		แผ่นที่ 1	



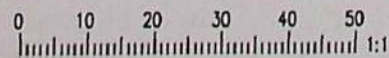
0 10 20 30 40 50
 1:1

1	4	PIN, wheel				
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ				มาตรฐาน 1:1
ผู้เขียน	บำรุง	ผู้ตรวจ	บำรุง	ผู้ตรวจ	วันที่	8/03/2543
		อาจารย์ณัฏฐ์				
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				ชื่อชิ้นงาน เครื่องวัดความแข็ง		
				หมายเลขแบบ	No.11	แก้ไขครั้งที่

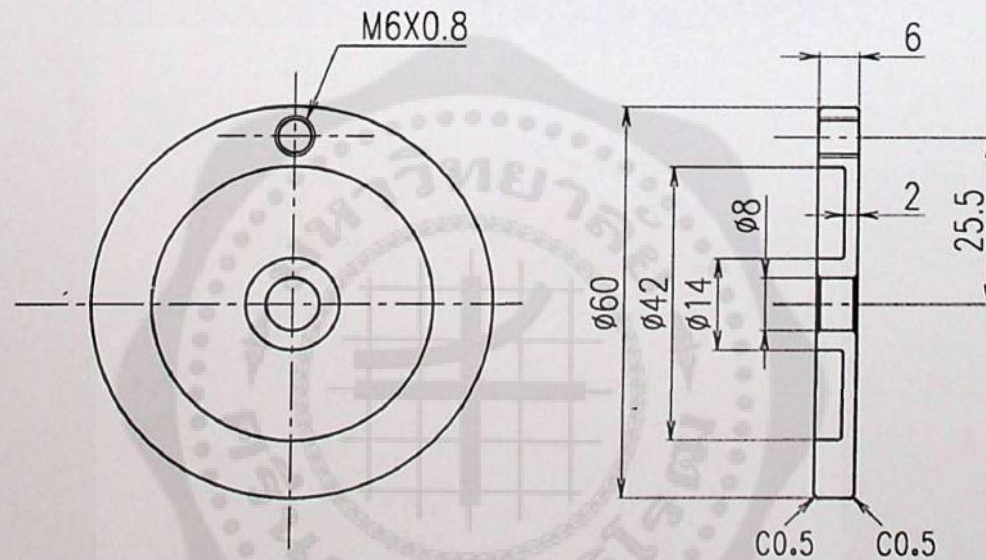


0 10 20 30 40 50
1:1

1	4	WHEEL				
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ			มาตราส่วน 1:1	
ผู้เขียน		ผู้ตรวจ	ผู้ตรวจ	วันที่	8/08/2543	
บำรุง		บำรุง	อาจารย์ปัส			
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				ชื่อชิ้นงาน		
				เครื่องวัดความแข็ง		
				หมายเลขแบบ		
				No.12	แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่ 1

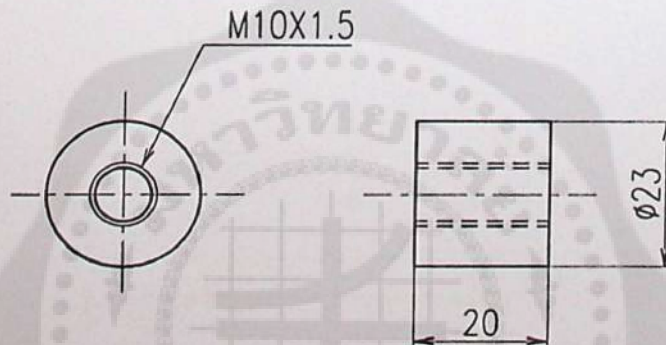


1	1	SCREW					
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ				มาตรฐาน 1:1	
ผู้เขียน	บำรุง	ตรวจ	บำรุง	ตรวจ	วันที่	8/03/2543	
		อาจารย์ณภัส					
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				ชื่อชิ้นงาน เครื่องวัดความแข็ง			
				หมายเลขแบบ No.13		แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่ 1



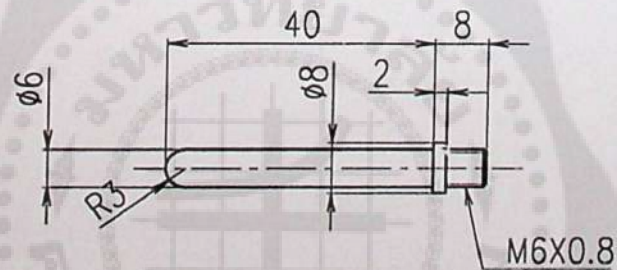
0 10 20 30 40 50
1:1

1	1	ROTATE,screw							
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ				มาตรฐาน 1:1			
ผู้เขียน		ผู้ตรวจ	ผู้ตรวจ		วันที่	8/09/2543			
	บำรุง	บำรุง	อาจารย์มัส						
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ					ชื่อชิ้นงาน เครื่องวัดความแข็ง				
					หมายเลขแบบ		No.14	แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่
									1



0 10 20 30 40 50
mm

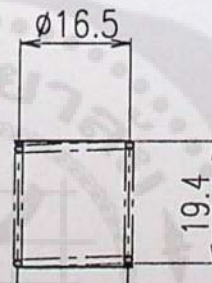
1	1	NUT			มาตราส่วน 1:1	
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ			วันที่	
ผู้เขียน	บำรุง	ผู้ตรวจ	บำรุง	อาจารย์	8/08/2543	
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				ชื่อชิ้นงาน เครื่องวัดความแข็ง		
				หมายเลขแบบ	No.15	แก้ไขครั้งที่ 1



0 10 20 30 40 50
 ไม่เป็นไปตามแบบ 1:1

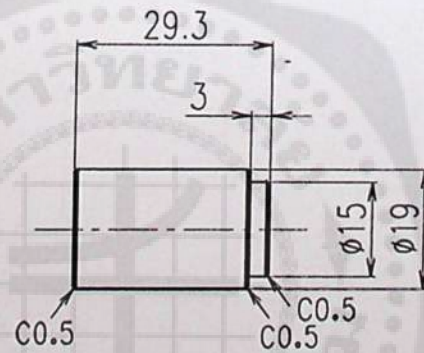
1	1	HANDLE					
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ				มาตรฐาน 1:1	
ผู้เขียน		ผู้ตรวจ	ผู้ตรวจ	อาจารย์ผู้ฝึก	วันที่		
บำรุง		บำรุง			8/08/2543		
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				ชื่อชิ้นงาน เครื่องวัดความแข็ง			
				หมายเลขแบบ No.16		แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่ 1

Specification of spring		
Dia of wire		1.4
Dia of coils		17.9
End turn		4
Winding direction		2
Free length		19.4
When mounted	load (kg.)	2.3
	deflection	10.9
Max load (kg.)		6
Max deflection		14.9
Max torsional stress (kg/mm ²)		99.3
Modulus of transverse elasticity (kg/mm ²)		-
Spring constant (kg./mm.)		0.35
Initial tension (kg.)		3.45



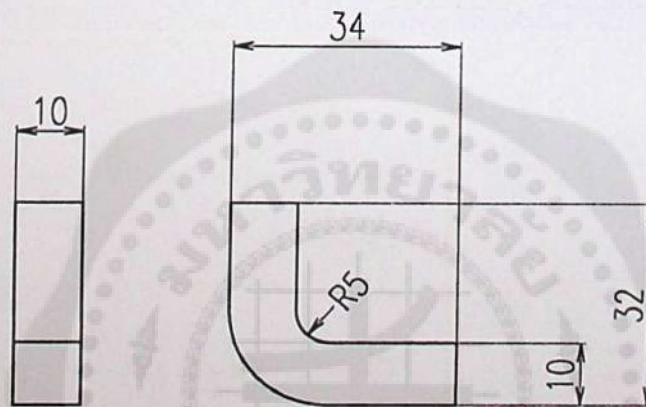
0 10 20 30 40 50
1:1

1	2	SPRING		
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ		มาตรฐาน 1:1
ผู้เขียน	ผู้ตรวจ	ผู้ตรวจ	อาจารย์ผู้สอน	วันที่ 8/08/2543
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล		ชื่อชิ้นงาน เครื่องวัดความถี่		
คณะวิศวกรรมศาสตร์		หมายเลขแบบ No.17		
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ		แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่ 1	



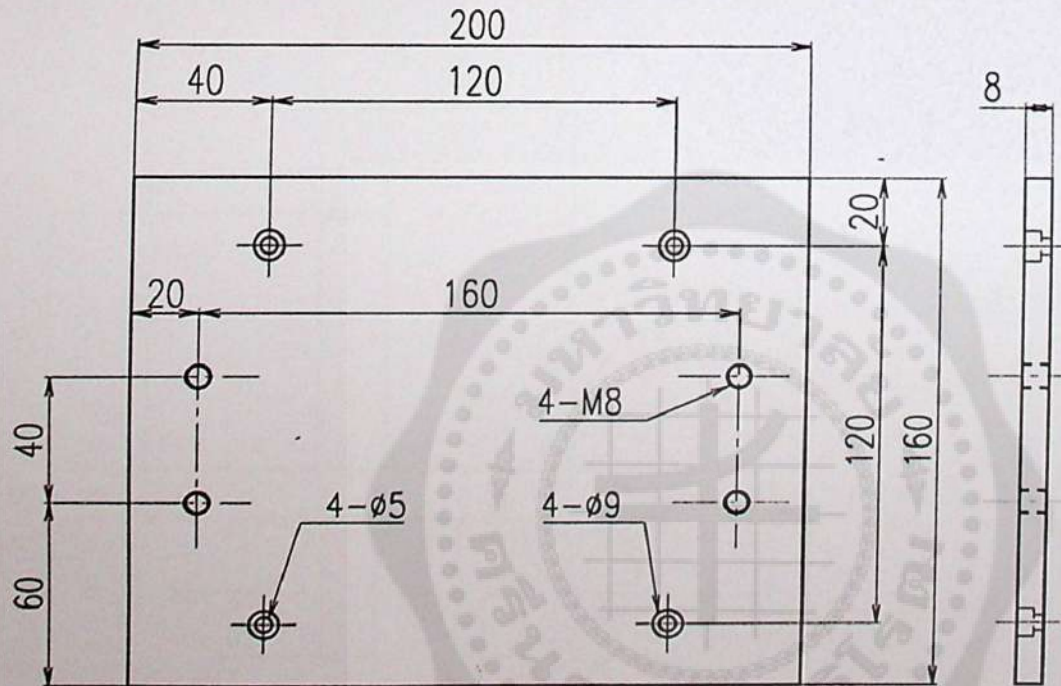
0 10 20 30 40 50
1:1

1	2	STOPPER, spring			
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ			มาตราส่วน 1:1
ผู้เขียน	นักทง	ผู้ตรวจ	นักทง	ผู้ตรวจ	วันที่ 8/08/2543
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				ชื่อชิ้นงาน เครื่องวัดความแข็ง	
				หมายเลขแบบ No.18	นักใบเสร็จที่ 1



0 10 20 30 40 50
 1:1

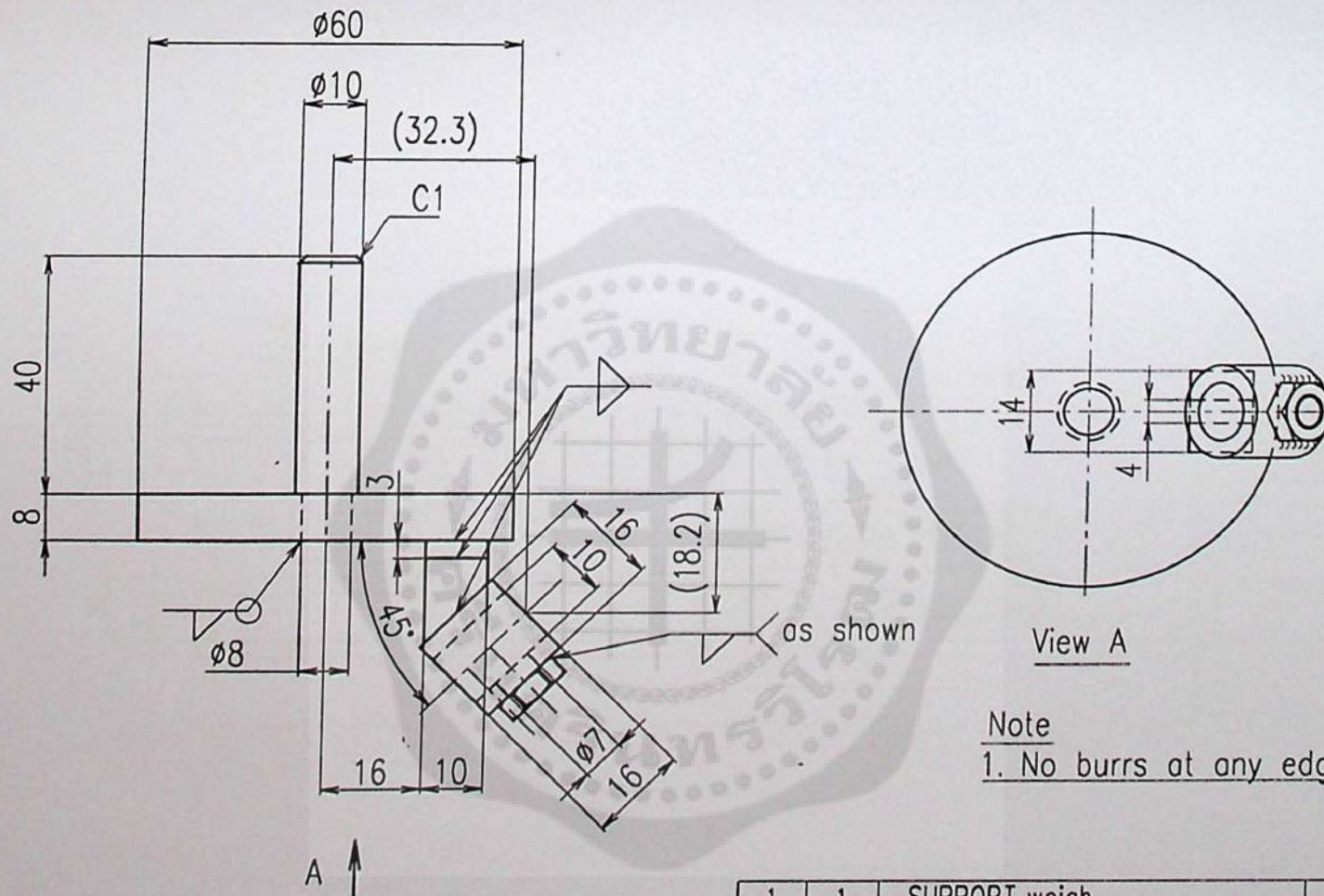
1	2	SUPPORT, table				
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ			มาตรฐาน 1:1	
ผู้เขียน	นักท	ผู้ตรวจ	นักท	ผู้ตรวจ	อาจารย์มัส	วันที่ 8/08/2543
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล				ชื่อชิ้นงาน เครื่องวัดความแข็ง		
คณะวิศวกรรมศาสตร์				หมายเลขแบบ No.19		
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				แก้ไขครั้งที่		แผ่นที่ 1



Note
1. No burrs at any edge.

0 10 20 30 40 50
1:1

1	1	TABLE					
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ				มาตราส่วน 1:1	
ผู้เขียน		ผู้ตรวจ	ผู้ตรวจ		วันที่		
บำรุง		บำรุง	อาจารย์ปัส		8/08/2543		
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				ชื่อชิ้นงาน เครื่องวัดความแข็ง			
				หมายเลขแบบ No.20		แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่ 1

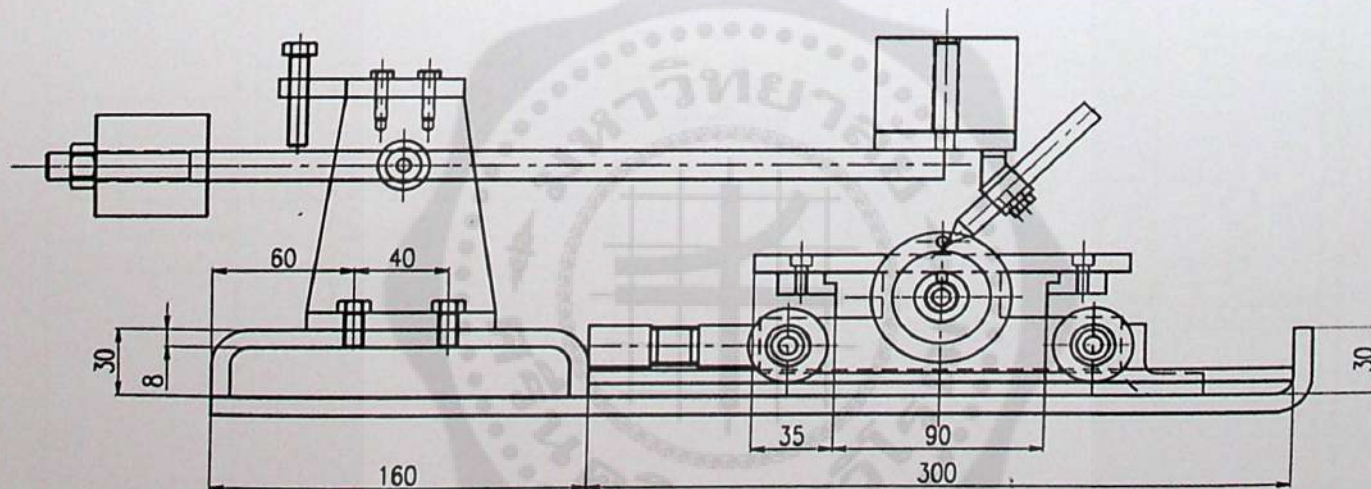


Note

1. No burrs at any edge.

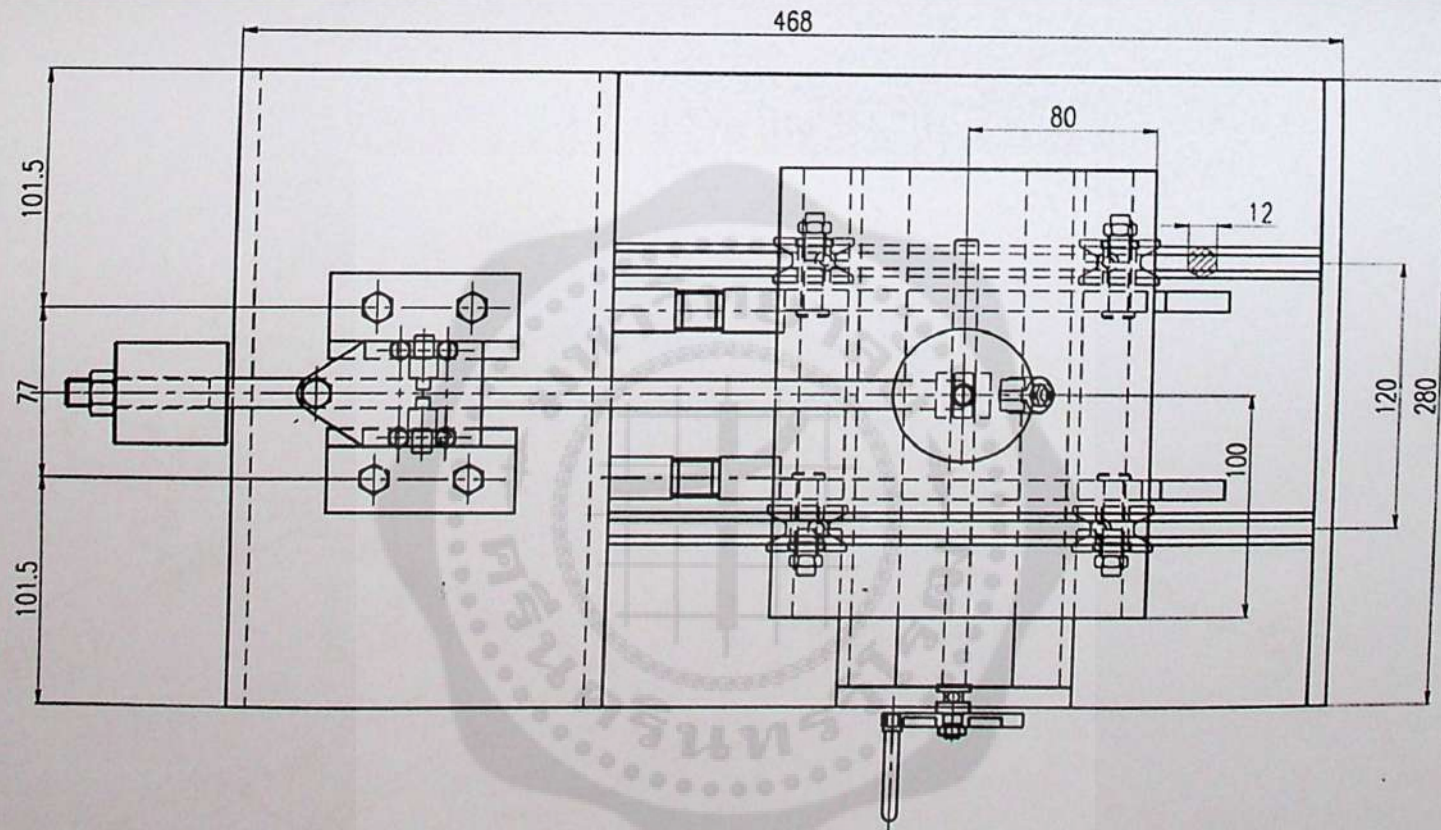
0 10 20 30 40 50
1:1

1	1	SUPPORT, weigh			มาตราส่วน 1:1
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ			วันที่
ผู้เขียน	บ่ทง	ผู้ตรวจ	บ่ทง	ผู้ตรวจ	8/08/2543
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล				ชื่อชิ้นงาน	เครื่องวัดความแข็ง
คณะวิศวกรรมศาสตร์				หมายเลขแบบ	21
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				แก้ไขครั้งที่	1



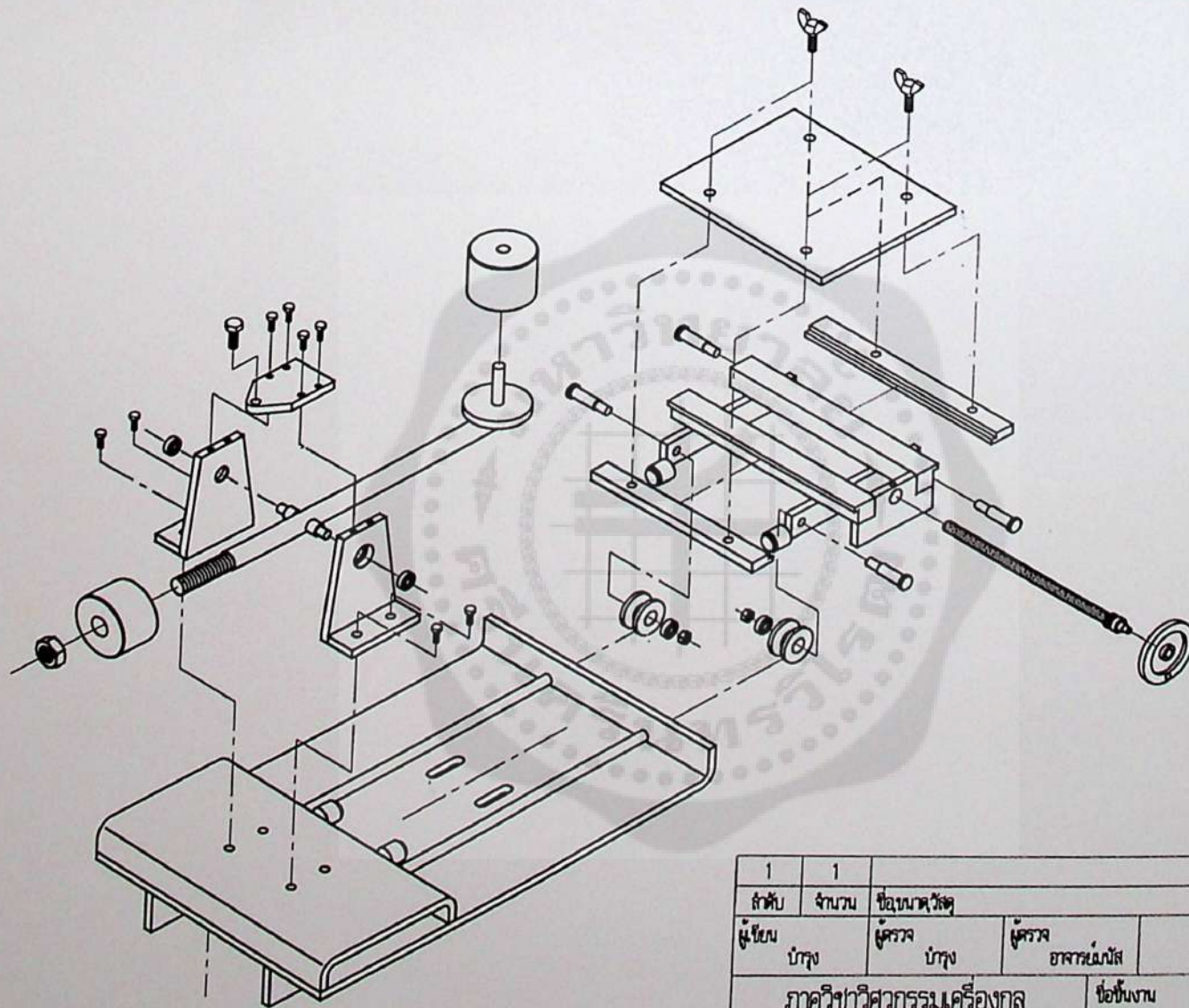
0 10 20 30 40 50
1:1

1	1	เครื่องวัดความถี่					
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ			มาตรฐาน		
ผู้เขียน	ผู้ตรวจ	ผู้ตรวจ	อาจารย์	วันที่	8/09/2543		
	บำรุง	บำรุง					
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				ชื่อชิ้นงาน	เครื่องวัดความถี่		
				หมายเลขแบบ	No.22	แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่
							2



0 10 20 30 40 50
1:1

1	1	เครื่องวัดความดัน				
ลำดับ	จำนวน	ชื่อนาฬิกา			มาตรฐาน	
ผู้เขียน	บำรุง	ผู้ตรวจ	ผู้ตรวจ	วันที่	8/08/2543	
		บำรุง	อาจารย์			
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				ชื่อชิ้นงาน		
				เครื่องวัดความดัน		
				หมายเลขแบบ	No.23	แก้ไขครั้งที่



0 10 20 30 40 50
1:1

1	1				มาตราส่วน 1:1
ลำดับ	จำนวน	ชื่อขนาดวัสดุ			วันที่
ผู้เขียน	ผู้ตรวจ	ผู้ตรวจ	อาจารย์	8/08/2543	
บำรุง	บำรุง	ฮาดิย์นัส			
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชื่อชิ้นงาน	เครื่องวัดความแข็ง	
			หมายเลขแบบ	No.24	แก้ไขครั้งที่ 1