

เครื่องดึงลดขนาดเหล็กเส้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

WIRE DRAWING MACHINE



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เลขที่.....
เลขทะเบียน **45995**
วัน, เดือน, ปี **27 ก.พ. 2546**

.b.....
.i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2544

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องดึงลวดขนาดเหล็กเส้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

WIRE DRAWING MACHINE

ผู้จัดทำ

1. นาย อภิรักษ์ เมฆประยูร รหัสประจำตัว 41014805
2. นาย อาทิตย์ ป้อมสัมฤทธิ์ รหัสประจำตัว 41014807
3. นาย เอกรินทร์ ศิวเสน รหัสประจำตัว 41014816



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.สมชัย นรเศรษฐ์โสภณ)

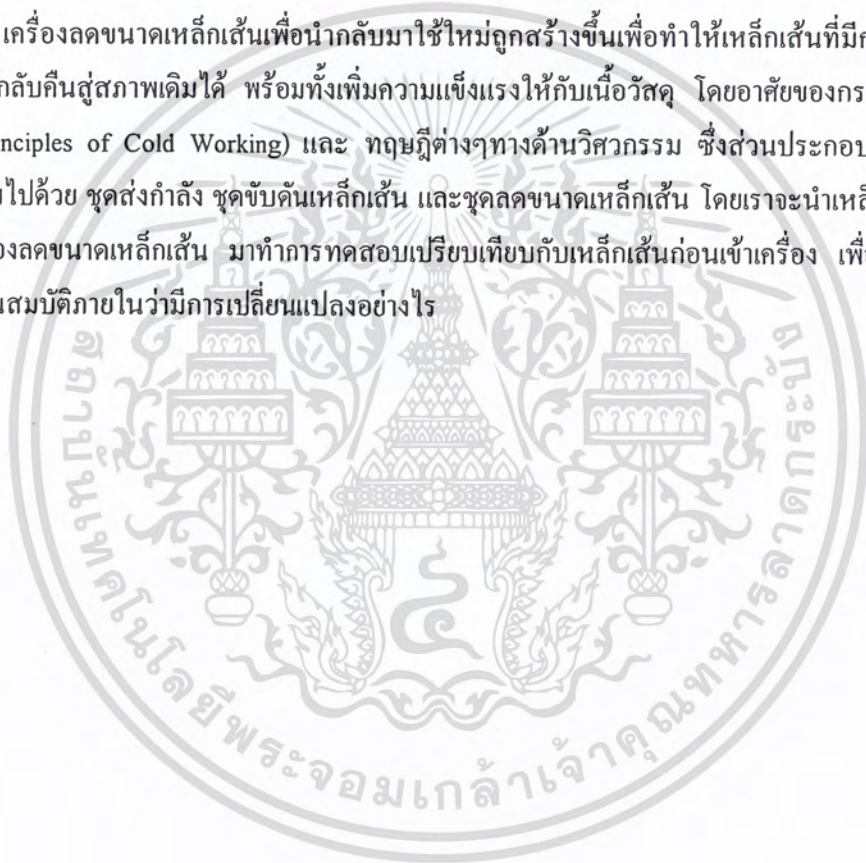
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องดัดขนาดเหล็กเส้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

นาย อภิรักษ์ เมฆประยูร รหัสประจำตัว 41014805
นาย อาทิตย์ ป้อมสัมฤทธิ์ รหัสประจำตัว 41014807
นาย เอกรินทร์ ศิวเสน รหัสประจำตัว 41014816
รศ.สมชัย นรเศรษฐ์โสภณ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

เครื่องดัดขนาดเหล็กเส้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ถูกสร้างขึ้นเพื่อให้เหล็กเส้นที่มีการเสียรูปร่างสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ พร้อมทั้งเพิ่มความแข็งแรงให้กับเนื้อวัสดุ โดยอาศัยของกรรมวิธีทางงานเย็น (Principles of Cold Working) และ ทฤษฎีต่างๆทางด้านวิศวกรรม ซึ่งส่วนประกอบของเครื่องจะประกอบไปด้วย ชุดส่งกำลัง ชุดขับเคลื่อนเหล็กเส้น และชุดดัดขนาดเหล็กเส้น โดยเราจะนำเหล็กเส้นที่ถูกดัดผ่านเครื่องดัดขนาดเหล็กเส้น มาทำการทดสอบเปรียบเทียบกับเหล็กเส้นก่อนเข้าเครื่อง เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติภายในว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร



WIRE DRAWING MACHINE

Aphiruk Mekprayoon

Artidth Pomsumrith

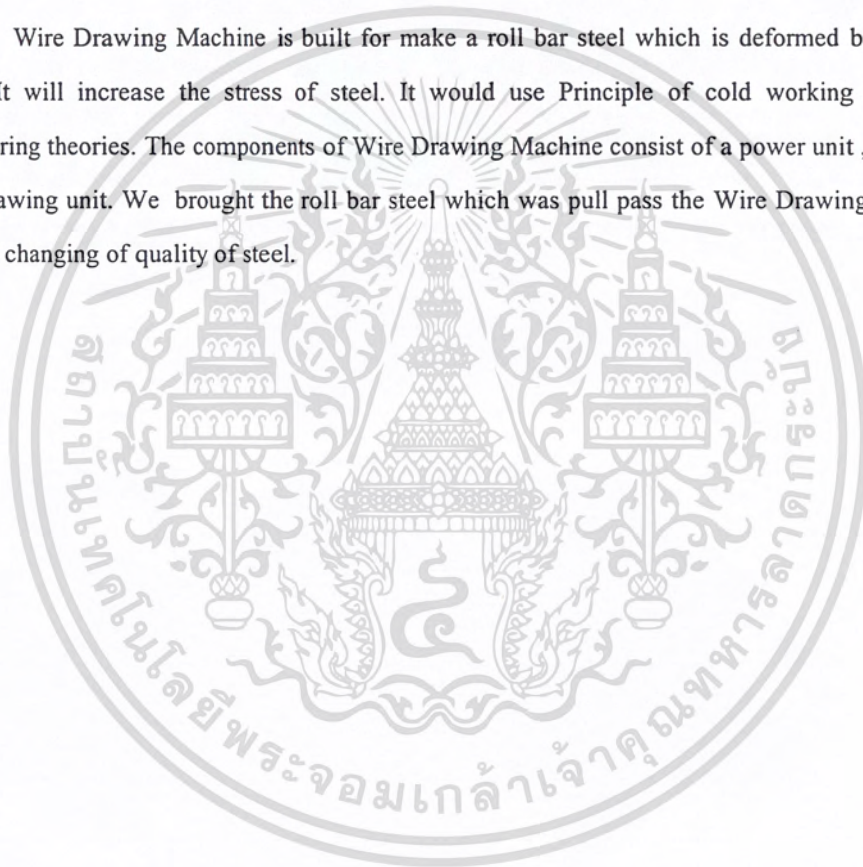
Ekkarin Sivasen

Assoc. Prof. Somchai Norasethasopon

Advisor

ABSTRACT

Wire Drawing Machine is built for make a roll bar steel which is deformed become straight again. It will increase the stress of steel. It would use Principle of cold working and the other engineering theories. The components of Wire Drawing Machine consist of a power unit , drive unit and wire drawing unit. We brought the roll bar steel which was pull pass the Wire Drawing Machine. We saw the changing of quality of steel.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและร่วมมือจากหลายฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ปริญญาบัตรนี้เสร็จลงได้ก็คือ อาจารย์ สมชัย นรเศรษฐ์โสภณ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก ทั้งขอขอบคุณ อาจารย์ ทวี เทศเจริญ ที่มณฑล เขียวเมือง ช่างเทคนิคประจำโรงปฏิบัติการ ที่คอยให้คำแนะนำต่างๆ และขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องแต่ไม่สามารถลงนามที่นี่ได้หมดทุกคน

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมา ในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและการออกแบบ	3
2.1 ข้อมูลเหล็ก	3
2.1.1 เหล็กกล้า (Steel)	3
2.1.2 คุณสมบัติและกำลังของเหล็กโครงสร้าง	4
2.2 กรรมวิธีทางงานเย็นของโลหะ (Cold Working of Metal)	5
2.2.1 หลักการของกรรมวิธีทางงานเย็น (Principles of Cold Working)	6
2.2.2 ข้อดีและข้อจำกัด (Advantage and Limitations)	7
2.2.3 การดึงลวด (Wire Drawing)	7
2.3 ทฤษฎีการชุบแข็งขั้นพื้นฐาน	8
2.3.1 การชุบแข็ง (Hardening)	8
2.3.2 อุณหภูมิสำหรับการชุบแข็ง (Hardening Temperature)	9
2.3.3 อัตราการเผาและช่วงเวลาที่เหมาะ (Heating rate & Holding time)	10
2.4 ความเค้นและความเครียด	12
2.4.1 ความเค้น (Stress)	12
2.4.2 ความเครียด (Strain)	12
2.5 Die	14
2.6 เครื่อง Universal Testing Machine (UTM)	15
บทที่ 3 ทฤษฎีการคำนวณเครื่องจักรกล	16
3.1 การออกแบบเพลลา	16

3.1.1	วัสดุเพลลา	16
3.1.2	ขนาดของเพลลา	16
3.1.3	การพิจารณาในการออกแบบ	17
3.1.4	การบีด	18
3.2	การออกแบบเกลียวบีค	18
3.2.1	การให้ชื่อ	18
3.2.2	คุณสมบัติทางกลของสลักเกลียว	22
3.2.3	ความเค้นที่รอยต่อด้วยเกลียว	24
3.3	การออกแบบสกรูส่งกำลัง	26
3.3.1	เกลียวสี่เหลี่ยมคางหมูตามมาตรฐานไอเอสโอ	28
3.4	การออกแบบลิ้ม	32
3.4.1	ชนิดของลิ้ม	33
3.4.2	การให้ชื่อลิ้ม	34
3.4.3	ความเค้นที่รอยต่อด้วยลิ้ม	36
3.5	โซ่	38
3.5.1	การใช้งาน	39
3.5.2	ชนิดของโซ่	40
3.5.3	คำนวณหาขนาดโซ่ (โซ่โรบลเลอร์)	41
3.6	มอเตอร์และชุดทด	53
บทที่ 4	การทดลอง	56
4.1	วิธีการทดลอง	56
4.1.1	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเหล็กที่เปลี่ยนไประหว่างความเร็วการป้อนเหล็กกับค่าความเค้น	56
4.1.2	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเหล็กเมื่อเหล็กถูกกดที่ขนาดต่างๆกับค่าความเค้น	56
4.2	ผลการทดลอง	57
บทที่ 5	บทวิจารณ์และสรุป	77
5.1	วิจารณ์และสรุปผลงานวิจัย	77
5.2	ปัญหาที่พบ	77
5.3	แนวทางการพัฒนา	78

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติและกำลังของเหล็กโครงสร้าง (มาตรฐาน JIS)	5
ตารางที่ 2-2 แสดงระยะเวลาในการเผาที่ความหนาต่างๆกัน	11
ตารางที่ 3-1 ขนาดระบุของเพลตามมาตรฐาน ISO/R 775 – 1969	17
ตารางที่ 3-2 เกลียวมตริกแบบมาตรฐานระหว่างประเทศ เกลียวธรรมดา	19
ตารางที่ 3-3 เกลียวมตริกแบบมาตรฐานระหว่างประเทศ-เกลียวละเอียด	20
ตารางที่ 3-4 คุณสมบัติทางกลของสลักเกลียว หมุดเกลียว และ สตัค	23
ตารางที่ 3-5 ความเค้นพิสูจน์ของแป้นเกลียว	23
ตารางที่ 3-6 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายโดยประมาณ	25
ตารางที่ 3-7 มิติมูลฐานของเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมูตามมาตรฐาน ISO2901 – 1977 (E)	29
ตารางที่ 3-8 มิติมูลฐานของเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมูตามมาตรฐาน ISO2901 – 1977 (E)	30
ตารางที่ 3-9 ขนาดลิ้มมาตรฐานที่ใช้กับเพลขนาดต่างๆ	34
ตารางที่ 3-10 ตัวประกอบใช้งานสำหรับแรงกระทำสม่ำเสมอ	42
ตารางที่ 3-11 ตัวประกอบใช้งานสำหรับแรงกระทำที่มีการกระตุกปานกลาง	44
ตารางที่ 3-12 ตัวประกอบใช้งานสำหรับแรงกระทำที่มีการกระตุกมาก	45
ตารางที่ 3-13 จำนวนฟิงของเฟืองโซ่	46
ตารางที่ 3-14 โซ่โรลเลอร์ตามมาตรฐาน ISO/R 606 – 1976 (E)	50
ตารางที่ 3-15 มวลของโซ่โรลเลอร์ต่อความยาว	51
ตารางที่ 3-16 ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเฟืองโซ่, C	52
ตารางที่ 4-1 แสดงผลการทดลองที่ Die ขนาด 5.9 มิลลิเมตร	57
ตารางที่ 4-2 แสดงผลการทดลองที่ Die ขนาด 5.7 มิลลิเมตร	63
ตารางที่ 4-3 แสดงผลการทดลองที่ Die ขนาด 5.5 มิลลิเมตร	69

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2-1 แสดงหน้าตัดผ่านแม่แบบที่ใช้ในการดึงลวด	8
รูปที่ 2-2 แสดงช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการชุบแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอน	10
รูปที่ 2-3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด	13
รูปที่ 2-4 Die ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้	14
รูปที่ 2-5 เครื่อง Universal Testing Machine (UTM)	15
รูปที่ 3-1 รอยต่อด้วยสลักเกลียวอยู่ภายใต้แรงเฉือน	24
รูปที่ 3-2 ขนาดต่างๆของเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมู	28
รูปที่ 3-3 ลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้าและลิ่มสี่เหลี่ยมจัตุรัส	33
รูปที่ 3-4 ลิ่มแบน	34
รูปที่ 3-5 ความเค้นบนลิ่ม	36
รูปที่ 3-6 แรงบนรอยต่อด้วยลิ่ม	37
รูปที่ 3-7 แสดงการวางเฟืองโซ่สองเฟืองที่จับกันอย่างเหมาะสมและไม่เหมาะสม (เพลลาของเฟืองโซ่อยู่ในแนวระดับ)	39
รูปที่ 3-8 โซ่โรลเลอร์ : 1 สลัก , 2 แผ่นต่อด้านนอกและด้านใน , 3 บูชที่อัดแน่นกับแผ่น ต่อด้านใน , 4 โรลเลอร์หมุนได้อิสระบนบูช 3	40
รูปที่ 3-9 โซ่โรลเลอร์สองชั้น และสามชั้น	40
รูปที่ 3-10 ข้อต่อสำหรับโซ่โรลเลอร์ จากด้านซ้ายต่อด้วยคอตเตอร์พิน ต่อด้วยสปริงรูปตัว U และต่อด้วยข้อต่อแบบพิเศษ	41
รูปที่ 3-11 แผนภูมิที่ใช้เลือกโซ่โรลเลอร์แบบ B (สำหรับพินเนียน 19 ฟัน)	47
รูปที่ 3-12 แผนภูมิที่ใช้เลือกโซ่โรลเลอร์แบบ A (สำหรับพินเนียน 15 ฟัน)	48
รูปที่ 3-13 แผนภูมิที่ใช้เลือกโซ่โรลเลอร์แบบ A (สำหรับพินเนียน 19 ฟัน)	49
รูปที่ 3-14 มอเตอร์และชุดทด	53
รูปที่ 3-15 แสดงชุดลดขนาดเหล็กเส้น	53
รูปที่ 3-16 เครื่องดึงลดขนาดเหล็กเส้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (ด้านทางเข้าเหล็ก)	54
รูปที่ 3-17 เครื่องดึงลดขนาดเหล็กเส้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (ด้านทางออกเหล็ก)	54
รูปที่ 3-18 การส่งกำลังด้วยโซ่และเฟืองโซ่	55
รูปที่ 3-19 แสดงเฟืองที่ทำให้ โรลเลอร์ตัวบนและตัวล่างจับไปด้วยกัน	55
รูปที่ 4-1 แสดงการจับชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบ	56
รูปที่ 4-2 แสดงกราฟที่ได้จากการทดลองทั้งหมดที่ Die ขนาด 5.9 มม.	57
รูปที่ 4-3 แสดงกราฟที่ได้จากการทดลองทั้งหมดที่ Die ขนาด 5.7 มม.	63

รูปที่ 4-4 แสดงกราฟที่ได้จากการทดลองทั้งหมดที่ Die ขนาด 5.5 มม.	69
รูปที่ 4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการ Feed กับ Stress ที่ตายขนาด 5.9 mm.	75
รูปที่ 4-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการ Feed กับ Stress ที่ตายขนาด 5.7 mm.	75
รูปที่ 4-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการ Feed กับ Stress ที่ตายขนาด 5.5 mm.	76
รูปที่ 4-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ ขนาดของ Die	76



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือน ถนน หรือ ในศูนย์ฝึกอาชีพต่างๆที่มีการใช้เหล็กเส้นเป็นโครงสร้าง ข่อมมีเหล็กเส้นที่เสียรูปร่างเนื่องจากกิจกรรมต่างๆเหล่านี้ การเสียรูปร่างของเหล็กเส้นเหล่านี้อาจมาจากการดัด งอ หรือทุบ ซึ่งเมื่อมีการกระทำเหล่านี้คุณสมบัติภายในของเหล็กจะเปลี่ยนแปลงไป เมื่อเรามีเหล็กที่เสียรูปร่างเราก็จะทิ้งมันไปหรือซื้อเหล็กเส้นมาใหม่แทน ดังนั้นคณะผู้จัดสร้างเครื่องจึงสังเกตเห็นว่าเราไม่ควรทิ้งเหล็กเส้นเหล่านั้นให้เสียประโยชน์ไปซะเฉยๆ จึงได้ทำการสร้างเครื่องดัดลดขนาดเหล็กเส้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ขึ้นมา เพื่อที่เราจะได้นำเหล็กที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์แล้วและมีการเสียรูปร่างมาผ่านเครื่องนี้ เหล็กที่ผ่านเครื่องนี้แล้วจะกลับมามีความแข็งแรง และมีคุณสมบัติผิวที่ดีขึ้นกว่าเดิมอีกด้วย

การนำเหล็กที่เสียรูปร่างหรือ ไม่ได้ใช้ประโยชน์แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ถือเป็นทางเลือกใหม่ที่จะช่วยในการลดต้นทุนการผลิต ซึ่งเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นต้องคำนึงเป็นอย่างยิ่งในสถานการณ์ปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อทำการสร้างเครื่องดัดลดขนาดเหล็กเส้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่
- 1.2.2 เพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่และการส่งกำลังแบบต่างๆที่ใช้ในเครื่องจักร
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการออกแบบเครื่องจักรในเชิงวิศวกรรมและสามารถออกแบบเครื่องดัดลดขนาดเหล็กเส้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อใช้กับงานจริงได้
- 1.2.4 เพื่อทำการศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติภายในของเหล็กเส้นก่อนเข้าเครื่องและเหล็กที่ผ่านการเข้าเครื่องดัดลดขนาดเหล็กเส้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เน้นศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่และการส่งกำลังแบบต่างๆที่ใช้ในเครื่องจักร การออกแบบเครื่องจักรในเชิงวิศวกรรม และทฤษฎีการรีดเย็นที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม เพื่อที่จะได้นำเอาความรู้ที่ได้มาทำการประยุกต์เข้าด้วยกัน เพื่อนำมาใช้ในการสร้างเครื่องดัดลดขนาดเหล็กเส้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อใช้กับงานจริงได้

แต่ในงานวิจัยครั้งนี้จะเน้นไปในด้านที่สร้างเครื่องเพื่อให้ลดขนาดเหล็กเส้นได้จริง แต่ยังไม่เน้นที่จะให้เหล็กที่ออกมาจากเครื่องมีสภาพที่ตรงมากนัก แต่เครื่องนี้สามารถถูกพัฒนาให้เหล็กเส้นที่เข้าเครื่องนี้แล้วเมื่อผ่านออกมามีความตรงได้ในครั้งต่อไป

1.4 วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยในโครงการนี้เริ่มด้วยการเลือกชนิด ขนาดของเส้นเพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องดัดลดขนาดเหล็กเส้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งในที่นี้เราเลือกเหล็ก Roll Bar มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร มาทำการทดลองด้วยเครื่อง Universal Testing Machine เพื่อหาแรงที่ใช้ในการออกแบบสร้างเครื่อง หลัง

จากนั้นเราได้ทำการศึกษากรรมวิธีการรีดเย็น การชุบแข็ง คุณสมบัติของเหล็กต่างๆซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในบทที่ 2 และได้ศึกษาการการคำนวณและเลือกชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ซึ่งมีรายละเอียดในบทที่ 3

จากนั้นก็ทำการออกแบบและเขียนแบบเครื่องดัดขนาดเหล็กเส้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อสำหรับการสร้างเครื่องจริง สำหรับบทที่ 4 เป็นการทดลองหาการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติภายในของเหล็กเส้นทั้งก่อนและหลังเข้าเครื่องดัดขนาดเหล็กเส้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่หลังจากสร้างเครื่องเป็นที่เรียบร้อยแล้ว และบทที่ 5 ซึ่งเป็นบทสุดท้ายก็จะเป็นการสรุปผลงานวิจัย บทวิจารณ์ ปัญหาที่พบ และแนวทางการพัฒนาต่อไปในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและการออกแบบ

2.1 ข้อมูลเหล็ก

2.1.1 เหล็กกล้า (Steel)

เหล็กกล้าเป็นเหล็กที่นำไปใช้งานต่าง ๆ มากมาย ทั้งนี้เนื่องจากเหล็กกล้านั้นมีคุณสมบัติในการรับแรงต่าง ๆ ได้ดี เช่น แรงกระแทก (Impact Strength) แรงดึง (Tensile Strength) แรงอัด (Compressive Strength) และแรงเฉือน (Shear Strength) ซึ่งธาตุผสมส่วนใหญ่จะเป็นทั้งโลหะและอโลหะ เช่น โมลิบดีนัม ทังสเตน วานาเดียม และซิลิคอน เป็นต้น สำหรับกรรมวิธีทางความร้อนที่กระทำต่อเหล็กกล้านั้น จะทำให้โครงสร้างเล็ก ๆ (Microstructure) ของเหล็กกล้าเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะได้ออกโดยละเอียดในลำดับต่อไป

เราทราบอยู่แล้วว่าเหล็กทุกชนิดมีคาร์บอนผสมอยู่ไม่มากก็น้อย เหล็กกล้าก็เช่นเดียวกัน มีคาร์บอนผสมอยู่ประมาณไม่เกินร้อยละ 2 และเหล็กกล้ายังแบ่งได้ตามปริมาณของคาร์บอนที่ผสมอยู่ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด ดังนี้

1. เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel) ประกอบด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) และเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) และเหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) ซึ่งเหล็กกล้าคาร์บอนทั้ง 3 ประเภทนี้อาจเรียกว่า เหล็กละมุน (Mild Steel) ก็ได้ แต่ถ้ามีคาร์บอนผสมอยู่มากเราจะเรียกว่า เหล็กกล้าเครื่องมือคาร์บอน (Carbon Tool Steel)

2. เหล็กกล้าผสม (Alloys Steel) เหล็กกล้าชนิดนี้ นอกจากจะมีคาร์บอนผสมอยู่แล้วยังมีธาตุอื่น ๆ ผสมอยู่ด้วยซึ่งจะได้ออกในลำดับต่อไป เหล็กกล้าผสมนี้ประกอบด้วยเหล็กกล้าผสมต่ำ (Low Alloys Steel) เหล็กกล้าผสมปานกลาง (Medium Alloys Steel) และเหล็กกล้าผสมสูง (High Alloys Steel) ซึ่งธาตุที่ผสมในเหล็กกล้าเหล่านี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ซิลิคอน มีอยู่ในเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ ซิลิคอนที่ผสมอยู่นั้นจะช่วยให้เกิดการจับตัวของแกรไฟต์ ดังนั้น ปริมาณซิลิคอนที่มีอยู่ในเหล็กกล้าผสมที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไปจะมีอย่างมากที่สุดไม่เกินร้อยละ 5 ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดแกรไฟต์ขึ้นนั่นเอง และเหล็กกล้าผสมซิลิคอนที่สำคัญอาจแยกออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

(ก) Silicon – Manganese Steel ประกอบด้วยซิลิคอนร้อยละ 1.5 – 2 แมงกานีสร้อยละ 0.6 – 1 เหล็กกล้าชนิดนี้นิยมใช้ในการทำแหวนรถยนต์ ทั้งนี้ก็เพราะว่าเหล็กชนิดนี้สามารถรับแรงกระแทกได้ดี

(ข) Silicon Steel ประกอบด้วยคาร์บอนร้อยละ 0.07 ซิลิคอนร้อยละ 4 เป็นเหล็กกล้าที่มีความเป็นแม่เหล็กสูงและมีความต้านทานไฟฟ้าได้ดี จึงนิยมนำไปใช้ทำแกนทรานส์ฟอร์มเมอร์และขั้วไดนาโม เป็นต้น

(ก) *Valve Steel* เป็นเหล็กกล้าผสมที่ใช้ทำวาล์วต่างๆในรถยนต์โดยซิลิคอนเป็นธาตุผสมที่มีความสำคัญรองลงมา ตัวอย่าง เช่น โลหะผสม Silchrome และ Valmax ซึ่งประกอบด้วย โครเมียมร้อยละ 8 และซิลิคอนร้อยละ 8

(2) *โมลิบดีนัม* ช่วยให้เกิดการจับตัวของคาร์ไบด์อย่างแน่นหนาและเป็นธาตุที่ช่วยไม่ให้เกิด การแตกร้าวได้ง่ายและยังป้องกันไม่ให้เกิดการขยายตัวของเกรนอีกด้วย โมลิบดีนัมนี้มักจะใช้ผสมร่วมกับธาตุชนิดอื่น ๆ ในเหล็กกล้า และโมลิบดีนัมจะช่วยทำให้คุณสมบัติทางกลต่าง ๆ ของเหล็กกล้าที่อุณหภูมิสูงมีคุณสมบัติดีขึ้น โมลิบดีนัมจำนวนร้อยละ 5 ช่วยทำให้เหล็กกล้าผสมนั้นมีความต้านทานต่อการเกิดครีป (Creep) เมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูง ๆ เหล็กกล้าผสมโมลิบดีนัมนี้ใช้ในการทำเครื่องมือต่าง ๆ ที่มีรอบหมุนด้วยความเร็วสูง และใช้ทำงานอื่น ๆ ที่ต้องต้านทานความร้อน และต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี

(3) *วานาเดียม* เป็นธาตุที่ช่วยให้เกิดการจับตัวของคาร์ไบด์อย่างแน่นหนา เหล็กกล้าที่ผสมวานาเดียมจะนำไปใช้ทำเครื่องมือต่าง ๆ ที่มีรอบหมุนด้วยความเร็วสูง นอกจากนี้ยังเป็นธาตุที่ช่วยให้เหล็กกล้ามีขนาดเกรนละเอียด และเป็นตัวกำจัดออกซิเจนที่ดีมาก ช่วยขจัดการเกิดสนิมและสิ่งเจือปนอื่น ๆ ในเนื้อเหล็ก

(4) *ทังสเตน* เป็นธาตุที่ช่วยให้เกิดการจับตัวของคาร์ไบด์อย่างแน่นหนา และคาร์ไบด์เหล่านี้จะไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกับเหล็กทั้งหมดถึงแม้จะที่อุณหภูมิสูง ๆ ก็ตาม ดังนั้น เหล็กชนิดนี้จึงใช้ทำเครื่องมือพวกที่มีรอบหมุนด้วยความเร็วสูง อีกทั้งทังสเตนยังจะช่วยทำให้เหล็กกล้าผสมมีขนาดเกรนละเอียด นอกจากนั้นทังสเตนที่มีผสมอยู่เล็กน้อยยังช่วยให้เหล็กกล้าผสมมีขนาดเกรนละเอียด นอกจากนั้นทังสเตนที่มีผสมอยู่เล็กน้อยยังช่วยให้เหล็กกล้าผสมนั้นมีความต้านทานต่อความร้อนและการกัดกร่อนทำลายต่าง ๆ ได้ดี

2.1.2 คุณสมบัติและกำลังของเหล็กโครงสร้าง

เหล็กโครงสร้างที่ใช้กันอยู่ทั่วไปเป็นประเภทเหล็กกล้าคาร์บอน (car bon steel) ซึ่งได้แก่ เหล็กที่มีส่วนผสมของโลหะที่นอกเหนือจากเนื้อเหล็กแท้คิดเป็นเปอร์เซ็นต์สูงสุดดังนี้

- | | |
|-----------------|------------------|
| ก. คาร์บอน 1.7% | ข. มังกานีส 1.5% |
| ค. ซิลิคอน 0.6% | ง. ทองแดง 0.6% |

คาร์บอนและมังกานีสเป็นส่วนผสมที่สำคัญในการเพิ่มความแข็งแรงให้กับเหล็ก เหล็กกล้าคาร์บอน สามารถจัดประเภทส่วนผสมของคาร์บอนได้ 4 ประเภทดังนี้

- ประเภทคาร์บอนต่ำ (low carbon) มีส่วนผสมคาร์บอนระหว่าง 0.15%
- ประเภทคาร์บอนค่อนข้างปานกลาง (mild carbon) มีส่วนผสมคาร์บอนระหว่าง 0.15-0.29%
- ประเภทคาร์บอนปานกลาง (medium carbon) มีส่วนผสมคาร์บอนระหว่าง 0.60-1.70%
- ประเภทคาร์บอนสูง (high carbon) มีส่วนผสมคาร์บอนระหว่าง 0.60-1.70%

เหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้ในงานโครงสร้าง (structural carbon steel) จัดอยู่ในประเภท ข. เช่นเหล็ก A36 (ชื่อตาม ASTM) มีส่วนผสมคาร์บอนสูงสุดระหว่าง 0.25-0.29 เปอร์เซ็นต์ขึ้นอยู่กับความหนาของเหล็ก หรือเหล็ก G3106 สัญลักษณ์ SM41A (ชื่อตาม JIS) มีส่วนผสมคาร์บอนสูงสุดระหว่าง 0.23-0.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับความหนาเช่นเดียวกัน ในกรณีที่ต้องการเหล็กที่มีคุณสมบัติด้านกำลัง ความเหนียว การเชื่อม การทนทานต่อการผุกร่อน ฯลฯ เพิ่มขึ้น ก็สามารถทำได้โดยการผสมโลหะอื่น เช่น โครเมียม นิกเกิล ดิเดเนียม โคลัมเบีย นวนาเดียม เป็นต้น เช่นเหล็ก A572 จัดเป็นเหล็กประเภทเหล็กกล้ากำลังสูง โลหะผสมต่ำ (high – strength low alloy steel) ซึ่งมีส่วนผสมของโคลัมเบียและนวนาเดียมอยู่ให้มีกำลัง สูงขึ้นจากเหล็ก A36 เป็นต้น

ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติและกำลังของเหล็กโครงสร้าง (มาตรฐาน JIS)

ชื่อ	เกรด	หน่วยแรงคราก (กก./ตร.ซม.)	กำลังดึง (กก./ตร.ซม.)	คุณสมบัติ
G3103	SS41	2200-2500	4100-5200	เหล็กกรัดร้อน ใช้ในงานโครงสร้างทั่วไป
	SS50	2500-2900	5000-6200	
	SS55	4000-41000	≥6600	
G3103	SM41 A,B,C	2200-2500	4100-5200	เหล็กกรัดร้อน สำหรับงานโครงสร้าง แบบเชื่อม
	SM50 A,B,C	3000-3300	5000-6200	
	SM50Y A,B	3400-3700	5000-6200	
	SM53 B,C	3400-3700	5300-6500	
	SM58	≥4100	≥5800	
	STK41	2200-2500	4100-5200	
	STK50	2500-2900	500-6200	
G3103	STKR41	2200-2500	4100-5200	เหล็กทอสีเหลี่ยมจัตุรัส สำหรับ งานโครงสร้างทั่วไป
	STKR50	2500-2900	5000-6200	
	SSC41	2200-2500	47100-5200	
				เหล็กขึ้นรูปแบบเย็น สำหรับ งานโครงสร้างทั่วไป

2.2 กรรมวิธีทางงานเย็นของโลหะ (Cold Working of Metal)

เมื่อโลหะถูกกรัด อัดไหล หรือดึงที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของการจัดเรียงผลึก เรียกกระทำเหล่านี้ว่าการทำงานเย็น ซึ่งโลหะส่วนมากมักถูกทำงานเย็นที่อุณหภูมิห้อง และแม้ว่าระหว่างการปฏิบัติงานในการขึ้นรูปจะทำให้อุณหภูมิของชิ้นงานสูงขึ้นก็ตาม แต่มันก็จะไม่มากเท่ากับอุณหภูมิในงานร้อน กรรมวิธีทางงานร้อนหรือการขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของการจัดเรียงผลึก จะทำให้ขนาดของเกรนละเอียดขึ้น ส่วนกรรมวิธีทางงานเย็นจะทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของเกรนและขนาดที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการปฏิบัติการจะเป็นไปได้ น้อย นอกจากนี้กรรมวิธีทางงานเย็นจะให้ผลดีในเรื่องของความแข็งแรง ความสามารถในการนำเนื้อโลหะ (machinability) ความถูกต้องของขนาดมิติ และผิวงานสำเร็จที่เรียบดีขึ้น และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเกิด การออกซิเดชันน้อยกว่าในงานร้อน งานเย็นจึงสามารถให้ปริมาณมากกว่าของการรีดโลหะ แผ่นและฟอล์ย (foil) แต่งงานเย็นมีข้อเสียคือต้องใช้แรงในการขึ้นรูปมาก

2.2.1 หลักการของกรรมวิธีทางงานเย็น (Principles of Cold Working)

เพื่อที่เข้าใจถึงหลักการของการปฏิบัติการทางงานเย็น จำเป็นต้องมีความรู้ในเรื่องโครงสร้างของ โลหะ โลหะทั้งหลายในธรรมชาตินั้นประกอบด้วยเกรนที่มีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ นั้น ซึ่งเกรน (grain) เหล่านี้อาจเห็นได้จากกล้องขยายกำลังสูง ในเนื้อโลหะที่ผ่านการขัดสีด้วยกรด (etching) มาอย่างถูกต้อง เกรนแต่ละเกรนจะเกิดมาจากกลุ่มของอะตอมที่มีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบเรียกว่าตารางผลึก (lattice) ซึ่งการเรียงตัวนี้จะแตกต่างกันไปในแต่ละเกรน เมื่อวัสดุถูกทำงานเย็น การเปลี่ยนรูปร่างของมันจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเกรน เช่น การแตกออก การเคลื่อนที่ของอะตอม และการบิดเบี้ยวของ ตารางผลึกระนาบที่เคลื่อนที่ไป (slip plane) จะเกิดขึ้นผ่านบริเวณตารางผลึกที่จุดซึ่งพันธะยึดเหนี่ยว ระหว่างอะตอมอ่อนแอที่สุด การเรียงตัวของอะตอมจะเคลื่อนที่เมื่อมีการเลื่อนของระนาบอะตอมแต่ พันธะระหว่างอะตอมจะไม่เปลี่ยน ในกรณีซึ่งมีการรวมตัวกันใหม่ (reorientation) จะเรียกว่าการเกิดการ ทวิคูณ (twinning) ในตารางผลึกที่มีการทวิคูณด้านหนึ่งจะมีการก่อตัวในรูปแบบที่แตกต่างจากด้านอื่น ๆ แต่จะเหมือนกับด้านที่ติดกันซึ่งโดยปรกติแล้วการเลื่อนของระนาบจะเป็นผลทั่วไปจากการเปลี่ยนรูปร่าง มากกว่า

แรงกดดันที่ใช้ในงานเย็นจะมากกว่าที่ใช้กับงานร้อน เนื่องจากความแข็งแรงของโลหะมีมากกว่าโลหะในงานเย็นจะไม่เปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร จนกระทั่งมันได้รับความเค้นจนเกินขีดจำกัดความยืดหยุ่น (elastic limit) และเนื่องจากไม่สามารถทำการจัดเรียงผลึกของเกรนได้ใหม่ จึงไม่มีทางทำให้เกรนที่บิด เบี้ยวหรือแตกออกกลับเข้าไปรูปเดิมได้ ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปของเกรนต่อไป จะมีความต้านทาน ต่อการเปลี่ยนแปลงนี้มากขึ้น อันจะเป็นผลในการเพิ่มความแข็งแรงและความแข็งแรงของโลหะ ซึ่งเรียกว่า เป็นการทำให้โลหะแข็งแรงจากความเครียด (strain hardened) และสำหรับโลหะที่ไม่ตอบสนองต่อกรรมวิธี ทางงานร้อนวิธีนี้เป็นวิธีเดียวที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของมัน ได้อันนี้ปรากฏการณ์นี้อาจ เกิดได้จาก การต้านทานของการเปลี่ยนตำแหน่งอะตอม (atomic dislocation) การแตกของอะตอม (fragmentation) หรือการต้านการบิดของตารางผลึก (lattice distorsion) สิ่งใดสิ่งหนึ่งหรือทั้ง 3 สิ่งรวมกัน

การเปลี่ยนรูปร่างทางงานเย็นที่โลหะจะทนได้นั้นขึ้นกับ ความเหนียว (ductile) ของเนื้อโลหะซึ่ง ถ้ามีมากเท่าไรมันก็สามารถรับการเปลี่ยนรูปร่างได้ดีเท่านั้น โลหะบริสุทธิ์จะทนต่อการเปลี่ยนรูปร่างได้ มากกว่าพวกโลหะผสมเนื่องจากธาตุผสมจะเพิ่มแนวโน้มและความรวดเร็วในการแข็งตัวจากความเครียด (strain hardening) และโลหะที่มีเกรนขนาดใหญ่จะมีความเหนียวมากกว่าโลหะที่มีเกรนขนาดเล็กเมื่อโลหะ ถูกเปลี่ยนรูป จะเกิดความเค้นอย่างรุนแรงในเนื้อโลหะเรียกว่าความเค้นตกค้าง (residual stress) ซึ่งความ เค้นอันไม่พึงปรารถนานี้จะสามารถกำจัดออกได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิของโลหะจนต่ำกว่าช่วงการจัดเรียง ผลึก (recrystallization) เล็กน้อย ที่อุณหภูมินี้ความเค้นจะสลายตัวไปโดยไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทาง การภาพหรือโครงสร้างของเกรน ด้วยวิธีการนี้จะสามารถกำจัดผลเสียอันเนื่องมาจากกรรมวิธีทางงานเย็น ได้ตามต้องการ อย่างไรก็ตามความเค้นนี้อาจจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติขณะใช้งานของผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น การทำให้ผิวหน้าของโลหะมีความเค้นอัดในขณะที่ได้ผิวหน้ามีความเค้นจากแรงดึง จะช่วยลดความ

ล้าที่เกิดขึ้นขณะใช้งานได้ วิธีการที่ใช้ทำให้เกิดความเค้นในสภาพดังกล่าวอาจทำได้โดยการใช้อึงด้วย
เม็ดโลหะ (shot peening) ซึ่งจะอธิบายโดยละเอียดในภายหลัง

2.2.2 ข้อดีและข้อจำกัด (Advantage and Limitations)

ผลิตภัณฑ์จำนวนมากจะเข้าสู่ขั้นตอนงานเย็นภายหลังจากการรีดร้อน เพื่อให้มีคุณสมบัติเป็น
ที่ยอมรับในเชิงการค้า เช่น แถบโลหะยาว (strips) และแผ่นเหล็กที่ผ่านการรีดร้อนจะนิ่ม มีผิวหน้าที่ไม่
เรียบร้อยทั้งยังขาดขนาดมิติที่แน่นอนและมีคุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี

การรีดเย็นจะสามารถจัดข้อบกพร่องเหล่านี้ได้ในขณะที่ขนาดลดลงเพียงเล็กน้อย และสำหรับ
โลหะที่ไม่ตอบสนองต่อกรรมวิธีทางความร้อน กรรมวิธีทางงานเย็นเป็นเพียงวิธีเดียวที่จะเพิ่มความแข็ง
และความแข็งแรงให้กับเนื้อวัสดุ นอกจากนี้ยังสามารถใช้กรรมวิธีทางงานเย็นในการอัดไหลสำหรับวัสดุ
เหนียวได้อีกด้วยแต่กรรมวิธีต้องการอุปกรณ์ที่แข็งแรงและแรงดันมากกว่ากรรมวิธีทางงานร้อนเป็นอย่างมาก การแตกหักของชิ้นงานที่รับการปฏิบัติการทางงานเย็นสามารถเกิดขึ้นได้ถ้ามันได้รับการเปลี่ยนรูป
มากจนเกินไป ข้อจำกัดนี้อาจลดลงได้ถ้านำชิ้นงานไปผ่านการอบอ่อนก่อนเข้าขบวนการ และสำหรับกรณี
ทั่วไปแล้วการทำงานเย็นจะให้ผลดังต่อไปนี้

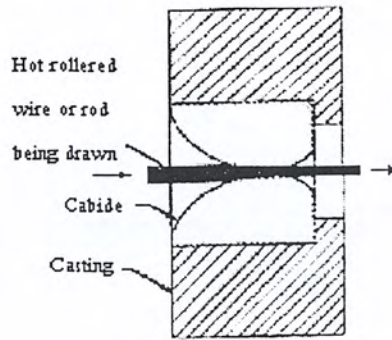
- 1) จะยังคงมีความเค้นตกค้างอยู่ในเนื้อวัสดุ จนกว่าจะมีการกำจัดออกไปโดยกรรมวิธีทางความ
ร้อน
- 2) จะทำให้เกิดการบิดเบี้ยวและการถูกอัดของเส้น โครงสร้าง
- 3) ความแข็งแรงและความแข็งจะเพิ่มขึ้นเป็นการแปรผกผันกับความเหนียว
- 4) อุณหภูมิของการจัดเรียงผลึกใหม่ในเหล็กกล้าจะเพิ่มสูงขึ้น
- 5) จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของผิว
- 6) สามารถรักษาพิภคความคลาดเคลื่อนของขนาดมิติที่แคบ ๆ ไว้ได้
- 7) ปริมาณการผลิตสามารถทำได้เร็วและมากจึงทำให้คุ้มค่าในเชิงการค้า

2.2.3 การดึงลวด (Wire Drawing)

ลวดทำขึ้นได้โดยนำแท่งลวดที่ผ่านการรีดร้อนไปเข้าขบวนการดึงเย็น (cold drawing) โดยใช้แม่
แบบหนึ่งอันหรือมากกว่าดังแสดงในรูป 2-1 เพื่อลดขนาดของเส้นลวดและเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพ
แท่งลวดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6 มม. จะถูกรีดได้จากแท่งเหล็กขนาดกลาง (billet) และนำ
ไปทำความสะอาดในอ่างน้ำกรด เพื่อขจัดสะเก็ดผอม สนิมและสารที่เคลือบผิวออก จากนั้นจะเคลือบผิว
ใหม่ด้วยสารบางตัวเพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (oxidation) และทำให้กรดที่ตกค้างอยู่เป็นกลางนอก
จากนี้สารที่เคลือบจะทำตัวเสมือนสารหล่อลื่นซึ่งอาจใช้เป็นตัวยึดเกาะสารหล่อลื่นที่จะใส่เข้าไปภายหลัง
อีกด้วย

ขบวนการทั้งแบบดึงทีละช่วง (single draft) และการดึงแบบต่อเนื่อง (Continuous drawing) เป็น
ขบวนการที่ใช้ในการดึงลวดสำหรับวิธีแรก จะนำปลายของลวดที่ขดไว้รอบแกน (reel or flame) ไปทำให้
แหลม เพื่อที่สามารถนำเข้าไปในแม่แบบได้ ปลายลวดแหลมที่ผ่านแม่แบบออกมาจะถูกยึดไว้ด้วยคีมบน
แท่นดึง (drawbench) จากนั้นลวดจะถูกดึงผ่านแม่แบบไปพันรอบตัวของมันจนได้เป็นขดลวดการปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-1 แสดงหน้าตัดผ่านแม่แบบที่ใช้ในการดึงลวด

การเหล่านี้อาจถูกทำซ้ำ ๆ กันด้วยแม่แบบและแท่งดิ่งที่มีขนาดเล็กลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้ขนาดสุดท้ายที่ต้องการ

ในการดึงแบบต่อเนื่อง (Continuous drawing) ลวดจะถูกป้อนเข้าสู่แม่แบบและแท่งดิ่ง (draw block) ซึ่งต่อเรียงอนุกรมกันอยู่หลาย ๆ ชุด ด้วยวิธีการแบบนี้จะสามารถดึงลวดได้ปริมาณมากภายใต้การดึงเพียงครั้งเดียวก่อนที่ลวดโลหะจะแข็งจนต้องการการอบอ่อน จำนวนของแม่แบบในอนุกรมขึ้นกับชนิดของโลหะและธาตุผสมซึ่งอาจจะมีได้ในระหว่าง 4-12 โดยปรกติแล้วแม่แบบนี้ทำจากทั้งสแตนคาร์ไบด์ แต่ในกรณีที่ต้องการทำเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดให้เล็กมาก ๆ แม่แบบที่ใช้จะต้องทำมาจากเพชร

การดึงลวดจะมีความสัมพันธ์ของปริมาณต่าง ๆ ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การลดลงของพื้นที่} = \frac{(A_o) - A_f \times 100}{A_o} \quad (2.1)$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของความยาว} = \frac{(L_f - L_o) \times 100}{L_o} \quad (2.2)$$

โดยที่ A_o , A_f และ L_o , L_f เป็นพื้นที่และความยาวก่อนและหลังการดึง หรือจะใช้สมการความต่อเนื่อง (Continuity equation)

$$Q_o = Q_f \text{ และ } = A_o V_f$$

Q_o , Q_f เป็นปริมาตรของโลหะที่เข้าและออกจากแม่แบบ

V_o , V_f เป็นความเร็วของโลหะที่เข้าและออกจากแม่แบบ

2.3 ทฤษฎีการชุบแข็งขั้นพื้นฐาน

2.3.1 การชุบแข็ง (Hardening)

คือ การอบชุบความร้อนเพื่อต้องการให้เหล็กภายหลังการชุบมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เพื่อทนต่อการเสียดสีในขณะใช้งาน การชุบแข็งเป็นวิธีที่จะได้โครงสร้างของเหล็กสุดท้ายเป็นมาร์เทนไซต์ หรือเบนไนท์ ขึ้นอยู่กับความแข็งสุดท้ายที่ต้องการ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากออสเทนไนท์ไปเป็นมาร์เทน

ไซท์ หรือเบนไนท์ ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นซึ่งจะได้เหล็กที่มีความแข็งสูงจะต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญอย่างน้อย 3 ประการ คือ

1. ปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญเพราะการที่ออสเตนไนท์จะเปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซท์ ในลักษณะการชุบแข็งธรรมดาด้วยน้ำ เหล็กควรมีคาร์บอนมากกว่า 0.3% ส่วนธาตุที่ผสมในเหล็กอื่น ๆ เช่น นิกเกิล โครเมียมและ โมลิบดีนัมจะเพียงทำหน้าที่ช่วยให้การชุบแข็งได้ผลดีขึ้นเท่านั้น ความแข็งของมาร์เทนไซท์จะขึ้นอยู่กับปริมาณของ คาร์บอนดังตัวอย่างเช่น เหล็กคาร์บอน 0.35% สามารถชุบแข็งได้ความแข็งประมาณ $50 H_{RC}$ ตรงกันข้ามเหล็ก 0.02% C 10% ได้ความแข็งภายหลังการชุบแข็งเพียง $35 H_{RC}$

2. อุณหภูมิก่อนการชุบ คือ อุณหภูมิที่เหล็กจะต้องเปลี่ยนเป็นออสเตนไนท์ ก่อนการชุบน้ำหรือน้ำมัน อุณหภูมิของเหล็กไม่สูงพอจนโครงสร้างเปลี่ยนเป็นออสเตนไนท์หมด เราจะชุบในน้ำหรือน้ำเกลือ น้ำต่าง ความแข็งที่ได้จะไม่สูงเท่าที่ควร เพราะมาร์เทนไซท์ที่ได้จะต้องมาจากออสเตนไนท์เท่านั้น และเป็นการเปลี่ยนโครงสร้างโดยปราศจากการกำนดนิวเคลียส ไม่เหมือนอย่างเช่น เฟอร์ไรท์หรือซีเมนต์ไต์

3. อัตราการเย็นตัวเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ออสเตนไนท์จะเปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซท์หรือเบนไนท์ จะต้องเป็นอัตราการเย็นตัวที่สูงพอ ซึ่งจะปรากฏค่าว่าอัตราการเย็นตัววิกฤติ (Critical cooling rate) หมายถึง อัตราการเย็นตัวที่ออสเตนไนท์เปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซท์หรือเบนไนท์ ถ้าอัตราการเย็นตัวช้ากว่านี้ ออสเตนไนท์จะไม่มีโอกาสเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซท์หรือเบนไนท์ แต่จะได้เฟอไรท์หรือซอร์ไบท์แทน

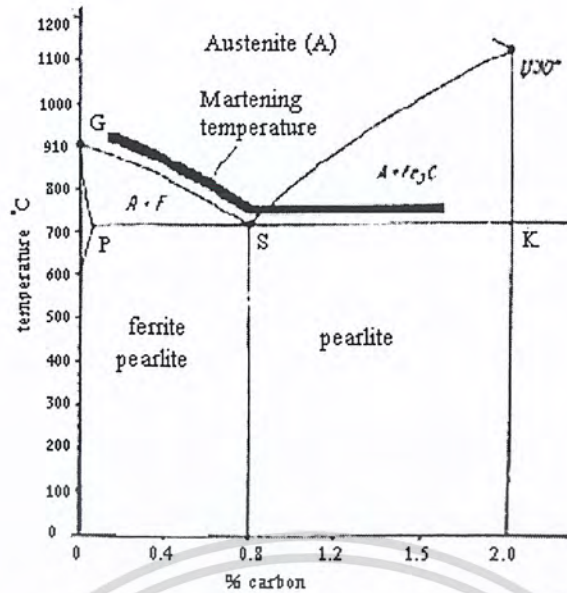
2.3.2 อุณหภูมิสำหรับการชุบแข็ง (Hardening Temperature)

ในที่นี้จะขอแยกกล่าวถึง อุณหภูมิที่ใช้สำหรับการชุบแข็งเหล็กออกเป็น 2 กรณี คือ

1. เหล็กไฮโปยูเทคตอยด์ จะใช้อุณหภูมิสูงเหนือเส้น AC_3 , 30° 50° C ซึ่งอุณหภูมินี้จะได้โครงสร้างเป็นออสเตนไนท์ทั้งหมด ถ้าพิจารณาในกรณีที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้และอยู่ในช่วง AC_1 , AC_3 จะปรากฏมีเฟอร์ไรท์เหลืออยู่บางส่วนถ้าทำการชุบที่อุณหภูมินี้ออสเตนไนท์จะเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซท์ แต่เฟอร์ไรท์จะไม่มีเปลี่ยนแปลงสภาพอยู่อย่างเดิมเหล็กภายหลังการชุบจะไม่มีความแข็งสูงเท่าที่ควร และบริเวณโครงสร้างที่เป็นเฟอร์ไรท์จะเป็นบริเวณที่อ่อน (Soft spots) ขาดคุณสมบัติด้านทานต่อการเสียดสี

ในกรณีถ้าเผาที่อุณหภูมิสูงเหนือเส้น AC_3 ไปมาก (Overheating) จะได้โครงสร้างของออสเตนไนท์ที่มีเกรนโตภายหลังการชุบน้ำจะได้มาร์เทนไซท์ที่หยาบ (Coarse martensite) ซึ่งจะทนแรงกระแทกได้น้อยลง อีกประการหนึ่งซึ่งงาน ในขณะที่ชุบน้ำจะเกิดการบิดงอหรือแตกร้าวได้ง่าย

2. เหล็กไฮเปอร์ยูเทคตอยด์ จะใช้อุณหภูมิสูงเหนือเส้น AC_1 ประมาณ 30° 50° C เท่านั้น จะเห็นว่าในช่วงของอุณหภูมินี้จะปรากฏโครงสร้างของโปรยูเทคตอยด์ซีเมนต์เหลืออยู่เพียงบางส่วนเท่านั้น ที่กลายหรือสลายตัวไปเป็นออสเตนไนท์ และซีเมนต์ไต์ที่เหลืออยู่นี้จะกระจุกกระจายอยู่ทั่วไปในโครงสร้างของออสเตนไนท์ เมื่อทำการชุบน้ำจะได้โครงสร้างของมาร์เทนไซท์ โดยมีโปรยูเทคตอยด์ซีเมนต์ไต์แทรกอยู่ ซึ่งจะปรากฏเป็นผลดีในส่วนที่เหล็กจะมีความแข็งสูง และทนการเสียดสีในขณะที่ใช้งานได้ดี ทั้งนี้เพราะ



รูปที่ 2-2 แสดงช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการชุบแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอน

โปรยูต์คอตต์ซีเมนต์ไต์ด์มีความแข็ง ประมาณ 700 – 800 H_B ซึ่งแข็งกว่ามาร์เทนไซต์ (650 - 700 H_B) ประเด็นที่สำคัญคือ จะต้องเลือกอุณหภูมิที่จะไม่เกิด โปรยูต์คอตต์ซีเมนต์ไต์ด์ในลักษณะต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ตามขอบเกรน

ในกรณีที่เผาอุณหภูมิเหนือเส้น AC_m จะไม่เกิดผลดี นอกจากต้องใช้พลังงานมากขึ้นแล้วออสเทนไนท์จะขยายตัวให้เกรนโตเร็วมาก จะทำให้ผลที่ได้ภายหลังการชุบไม่ดีเพราะจะได้มาร์เกรนขยายทนแรงกระแทกได้ไม่ดีและยังอาจเกิดการบิดงอและแตกร้าวได้โดยง่าย

2.3.3 อัตราการเผาและช่วงเวลาที่เหมาะ (Heating rate & Holding time)

การกำหนดอัตราการเผาและช่วงเวลาที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์หลายประการ เช่น ส่วนผสมของเหล็ก โครงสร้างเดิม ความเครียดเหลือค้าง รูปร่างและขนาดของชิ้นงานที่จะทำการชุบแข็ง

ปกติเหล็กเมื่อบรรจุเข้าเตาเผา ความร้อนที่เหล็กได้รับที่ผิวกับใจกลางจะไม่เท่ากันในตอนแรก เพราะกว่าความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านเนื้อเหล็กเข้ามาถึงใจกลางย่อมต้องใช้เวลา การเผาในอัตราสูง ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวกับใจกลางจะมีค่ามาก การบิดงอมีมากซึ่งจะทำให้เกิดการแตกร้าวได้ง่าย โดยทั่วไปเราแบ่งอัตราการเผาไว้ 3 อัตรา ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของเตา

อัตราการเผาช้า เป็นวิธีเริ่มต้นโดยบรรจุเหล็กเข้าเตาพร้อม ๆ กับการให้ความร้อนแก่เตาเผาพร้อม ๆ กันอุณหภูมิทั้งของเตาและชิ้นงานจะร้อนขึ้นในอัตราใกล้เคียงกันในลักษณะเช่นนี้ อุณหภูมิแตกต่างระหว่างผิวกับใจกลางของแท่งเหล็กมีน้อย (คุณภาพประกอบ) การเผาในลักษณะเช่นนี้เหมาะสำหรับเหล็กที่มีคาร์บอนสูงมีความเครียดเหลือค้างมาจากการขึ้นรูป รูปร่างซับซ้อนและมีส่วนที่หนาและบางต่างกันมาก

อัตราการเผาสูง วิธีนี้จะเผาเตาให้อุณหภูมิเท่าที่ต้องการ จากนั้นจึงจะบรรจุเหล็กเข้าเตาภายหลังหรือเป็นในกรณีเตากำลังใช้งานอยู่ เมื่อนำเอาเหล็กออกไปชุบหมดแล้ว ก็เริ่มบรรจุเหล็กชุดต่อไปใหม่

ลักษณะเช่นนี้อัตราการเผาจะสูงอุณหภูมิระหว่างผิวกับใจกลางจะแตกต่างกันมากในตอนเริ่มต้น แต่จะ
ไปเท่ากันในระยะเวลาที่สั้นกว่าวิธีแรกดังภาพแสดงการเผาในอัตราสูงเหมาะสำหรับงานชิ้นเล็ก ๆ รูปร่าง
ไม่ซับซ้อน และเป็นเหล็กคาร์บอนปานกลาง จะใช้วิธีเอาเหล็กบรรจุไว้ในหีบปิดคลุมมิดชิด บรรจุเข้าเตา
จะช่วยลดอัตราการเผาได้ก็เพราะกว่าความร้อนจะผ่านหีบเข้าไปถึงใจกลางแท่งเหล็กจะช้าลง

สำหรับช่วงเวลาที่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิที่ต้องการ (Holding time) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ออสเทน
ไนท์ที่สม่ำเสมอและให้อุณหภูมิทั้งบริเวณผิวและใจกลางเท่ากัน ไม่มีกฎเกณฑ์ที่ตายตัวขึ้นอยู่กับหลักใน
การปฏิบัติ ถ้าเป็นเหล็กคาร์บอนหรือเหล็กผสมต่ำ (Low – alloys) ซึ่งคาร์ไบด์สลายตัวได้ง่าย จะใช้เวลา
ประมาณ 5-15 นาที ก็พอ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานด้วย แต่ถ้าเป็นเหล็กผสมปานกลาง หรือสูง
ซึ่งคาร์ไบด์มีเสถียรภาพจะต้องใช้เวลาให้นานพอที่คาร์ไบด์จะสลายตัวหมด ซึ่งเวลาที่ใช้ควรเพิ่มขึ้น
ประมาณ 25 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของเวลาที่ใช้เกณฑ์ปกติ ดังตารางแสดงเวลาที่เหมาะสมข้างล่างนี้

ตารางที่ 2-2 แสดงระยะเวลาในการเผาที่ความหนาต่างๆกัน
Heating Times and Holding Times (et Working Temperatures) for Hardening
Carbon and Structural Steels

Thickness or diameter of part. mm.	Box furnaces (gas or oil – fired)		Salt baths	
	heating. Min	holding. min	Heating. min	holding. min
25	20	5	7	3
50	40	10	18	8
75	60	15	24	12
100	80	20	33	17
125	100	25	40	20
150	120	30	50	25
200	160	40	65	35

Note : Heating time for alloy steels should be increased from 25 to 50 percent.

อัตราการเผาที่สูงมาก เป็นวิธีที่ไม่สู้จะนิยมใช้เพราะอัตราการเผาจะสูง อุณหภูมิระหว่างผิวกับใจกลาง
แตกต่างกันมากในตอนเริ่มต้น โดยวิธีการเผาอุณหภูมิในเตาสูงเกินกว่าอุณหภูมิที่
ต้องการ ดังภาพแสดงเมื่อบรรจุเหล็กเข้าเตาอุณหภูมิของเตาจะลดลงมาจนเท่ากับที่ต้องการ พร้อม ๆ กับ
อุณหภูมิของชิ้นงานร้อนขึ้น เวลาที่ใช้จะสั้นกว่าทั้งสองวิธีแต่อุณหภูมิระหว่างใจกลางกับผิวเหล็กจะแตก
ต่างมากอาจทำให้เกิดการบิดงอหรือชิ้นงานแตกร้าวได้ง่ายวิธีนี้ เหมาะสำหรับงานขนาดเล็ก และรูปร่าง
ง่าย ๆ จำเป็นจะต้องบรรจุในหีบเหมือนวิธีที่สองเพื่อช่วยลดอัตราการเผาให้ช้าลง

2.4 ความเค้นและความเครียด

เมื่อได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางกลของโลหะแล้ว ในลำดับต่อไปจะแสดงรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกลของโลหะ ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาวิชาโลหะวิทยานั้นมีจุดมุ่งหมายเพื่อต้องการให้ผู้ศึกษาเข้าใจลักษณะต่าง ๆ ของโลหะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งลักษณะทางกลหรือคุณสมบัติทางกลของโลหะ เพื่อนำความรู้ดังกล่าวไปใช้เกิดประโยชน์ในทางวิศวกรรม และเพื่อให้เกิดความเข้าใจยิ่งขึ้นเกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อโลหะและส่งผลให้โลหะนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะของการแตก หัก บิด งอ หรือขาดออกจากกัน ความรู้เหล่านี้จะเป็นข้อมูลสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้โลหะหรือปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท

คุณสมบัติของโลหะในการตอบสนองต่อแรงทางกล เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำต่อโลหะ โลหะนั้นจะมีอาการเกร็ง คือเกิดแรงขึ้นภายในเพื่อตอบสนองต่อแรงกระทำนั้น ซึ่งเป็นการป้องกันตนเองเพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง แรงต้านทานนี้เราเรียกว่า “แรงเค้นหรือความเค้น (Stress) และเมื่อโลหะดังกล่าวยืดออกหรือหดตัวเข้าตามแนวแรงที่กระทำ คือ แรงดึง และแรงอัด ตามลำดับ ในลักษณะดังกล่าวนี้ก็หมายความว่า โลหะนั้นเกิดความเครียด โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.1 ความเค้น (Stress)

ความเค้นเกิดขึ้นจากแรงภายนอกที่กระทำต่อโลหะและกระจายอย่างสม่ำเสมอบนพื้นที่หน้าตัดของโลหะนั้น ขณะเดียวกันภายในเนื้อโลหะก็จะเกิดแรงต่อต้านแรงเหล่านั้นอย่างสม่ำเสมอ และขนาดของความเค้นจะมีค่าเท่ากับขนาดของแรงกระทำจากภายนอกหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของโลหะที่รับแรงภายนอกนั้น โดยเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\text{Stress} = \frac{P}{A} \quad (2.3)$$

เมื่อ Stress = ความเค้น
 P = แรงกระทำ
 A = พื้นที่ภาคตัดที่รับแรง

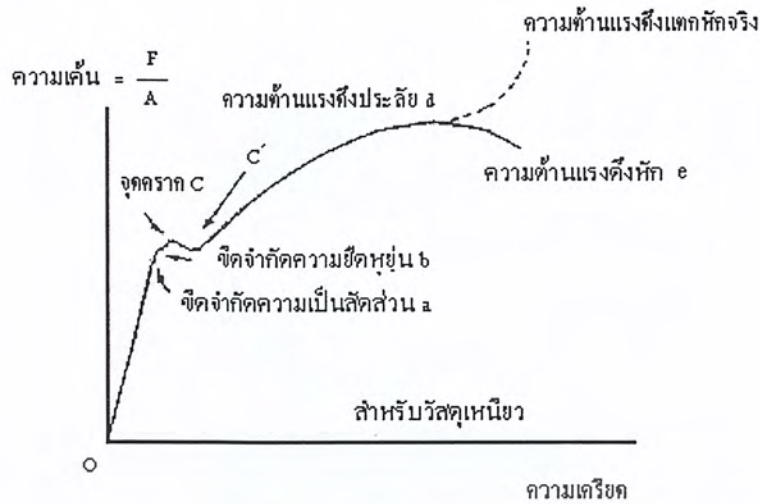
2.4.2 ความเครียด (Strain)

ความเครียดเกิดขึ้นจากความเปลี่ยนแปลงของโลหะไม่ว่าจะเป็นการหดตัวเข้า(Contraction) หรือการยืดตัวออก (Elongation) เมื่อโลหะนั้นอยู่ภายใต้แรงอัด (Compressive) และแรงดึง (Tensile) ตามลำดับ

$$\text{Strain} = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (2.4)$$

เมื่อ Strain = ความเครียด
 L = ความยาวหลังจากที่โลหะถูกแรงกระทำ
 L_0 = ความยาวเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด คุณสมบัติต่างๆของวัสดุเป็นสิ่งสำคัญในการเลือกใช้โลหะที่จะมาทำโครงสร้างต่างๆ เช่น คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุโดยเฉพาะกำลังของวัสดุ การทดสอบวัสดุที่สำคัญวิธีหนึ่งคือ การทดสอบโดยใช้แรงดึงโดยเฉพาะวัสดุที่มีความเหนียว เช่น เหล็ก จะพบว่ามีความเค้นจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเครียดในช่วงระยะหนึ่ง แต่เมื่อผ่านช่วงนี้ไปแล้วความสัมพันธ์ดังกล่าวจะไม่เป็นปฏิภาคโดยตรงต่อไปอีก เราสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นดึงกับความเครียดตลอดระยะจนกระทั่งขาดจากกัน กราฟที่ได้จะมีลักษณะคล้ายคลึงดังรูปที่ 2-3

จากกราฟในรูปที่ 2-3 มีจุดต่าง ๆ ที่สำคัญดังนี้

- จาก 0 ถึง a กราฟจะเป็นเส้นตรงแสดงว่าแรงเป็นปฏิภาคโดยตรงกับส่วนที่ยืดออก หรือ ความเค้นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเครียด
- จุด a ซึ่งเป็นจุดสูงสุดเรียกว่า จุดจำกัดสัดส่วน (Proportional Limit) เป็นจุดสุดท้ายที่กราฟจะเป็นเส้นตรง หลังจากจุดนี้แล้ว ความเค้นจะไม่ปฏิภาคโดยตรงกับความเครียด คือกราฟจะไม่เป็นเส้นตรงนั่นเอง
- จุด b เรียกว่า จุดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic Limit) เป็นจุดสุดท้ายที่ความยาวของวัตถุจะหดกลับเท่าเดิมได้อีก
- จุด c เรียกว่า จุดครากบน (Upper Yield Point) และจุด c' เรียกว่า จุดครากล่าง (Lower Yield Point)
- จากจุด c ถึง e เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบพลาสติก (Plastic) นั่นคือวัตถุยืดออกอย่างถาวร ถ้าปล่อยแรงวัตถุจะไม่หดตัวกลับมาอยู่ในสภาพเดิมอีก
- จาก 0 ถึง d การยืดเกิดขึ้นทุกส่วนตลอดความยาวของแท่งทดสอบ (Gauge Length)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จาก d ถึง e การยืดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เฉพาะบริเวณที่จะเกิดการหักหรือขาดเท่านั้น
- จุด d เรียกว่า จุดความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Strength)
- จุด e เรียกว่า จุดแตกหัก (Rupture Point or Breaking Point) เป็นจุดที่วัสดุขาดออกจากกัน

สำหรับโลหะที่เปราะเช่นเหล็กหล่อ กราฟระหว่างความเค้นและความเครียดจะผิดไปจากเหล็กเหนียว เพราะเหล็กหล่อนั้นมีคุณสมบัติที่เปราะและแตกหักได้ง่าย มีส่วนผสมของคาร์บอนในเนื้อเหล็กมากจึงทำให้เหล็กหล่อนั้นมีความแข็งแรงจนทำให้การยืดตัวของเหล็กชนิดนี้จะได้ไม่มากนักก่อนที่จะขาดออกจากกัน อีกทั้งกราฟก็ไม่ได้แสดงให้เห็นจุดยืดตัวนี้ด้วย

2.5 Die

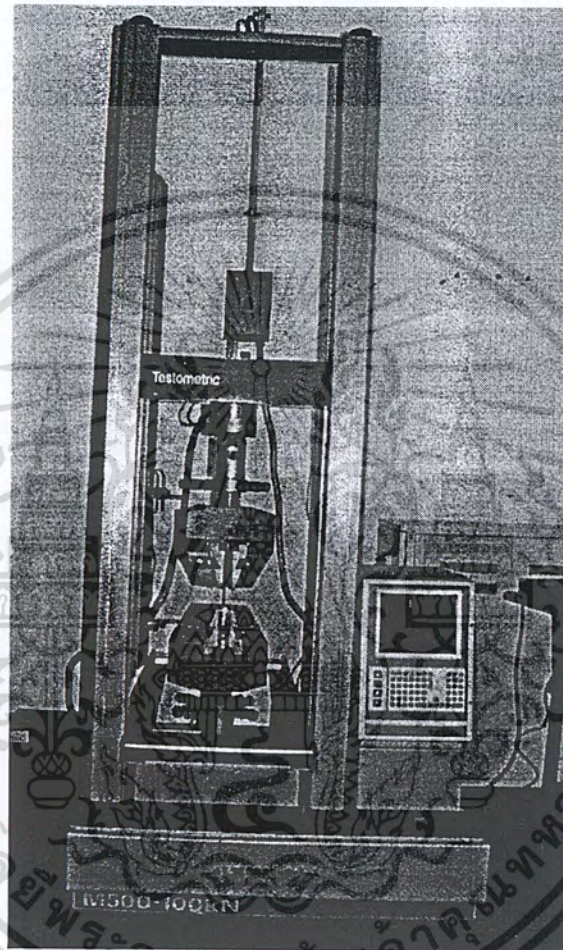
Die หรือ ตัวลดขนาดเหล็กมีมากมายหลายแบบหลายชนิด แต่ในที่นี้จะพูดถึงคือ Die ที่มีรูเป็นวงกลม ซึ่งมีองศาการลดขนาดเป็น 7 องศา (เป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปในท้องตลาด) ตัวเสียด้านนอกของ Die ทำจากเหล็กกล้า ส่วนบริเวณเนื้อด้านในทำจากคาร์ไบด์-ทังสแตน เพราะต้องการความแข็งแรงมากเป็นพิเศษจึงมีลักษณะผิวที่มันเป็นแวววาว บริเวณด้านทางออกของ Die จะมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เราต้องการ



รูปที่ 2-4 Die ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

2.6 เครื่อง Universal Testing Machine (UTM)

เครื่อง Universal Testing Machine เป็นเครื่องใช้สำหรับทดสอบคุณสมบัติภายในของวัสดุต่างๆ โดยค่าที่แสดงออกมาจะถูกประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์ สำหรับค่าที่สามารถถูกแสดงออกมาได้มีมากมาย หลายค่าเช่น stress , strain , elongation , modulus เป็นต้น โดยเครื่อง UTM นี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลักคือ ส่วนกำลัง , ส่วนคอมพิวเตอร์ควบคุม , ส่วนทดลอง



รูปที่ 2-5 เครื่อง Universal Testing Machine (UTM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีการคำนวณชิ้นส่วนเครื่องจักรกล

3.1 การออกแบบเพลลา

เพลลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด แรงบิด หรือแรงดัด หรือแรงหลายอย่างรวมกันก็ได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้ยังอาจจะมีเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เพลลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบเพลลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้ นอกจากนั้นเพลลาจะต้องมีความแข็งแรง (rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลลาให้อยู่ในขีดจำกัดที่พอเหมาะ ระยะโก่ง (deflection) ของเพลลาก็เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดเพลลาเช่นเดียว เพราะถ้าเพลลา มีระยะโก่งมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุน ทำให้ความเร็ววิกฤต (critical speed) ของเพลลา ลดลง ซึ่งอาจทำให้เพลลา มีการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลลาเข้าใกล้ความเร็ววิกฤตนี้ได้ ระยะโก่งนี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของที่รองรับเพลลา เช่น บอลเบริง (ball bearing) ก็ต้องมีการเอียงแนว (misalignment) ในการใช้งานที่พอเหมาะกับเพลลาด้วย

3.1.1 วัสดุเพลลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลลาทั่วไปคือเหล็กกล้าละมุน (mid steel) แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียว และความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้วมักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลลา เช่น AISI 1374 3140 4150 4340 เป็นต้น เพลลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 90 mm มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลลามีราคาถูกลงที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา ก่อนที่จะเลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

3.1.2 ขนาดของเพลลา

เพื่อให้เพลลามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลลาซึ่งเป็นขนาดระบุ (nominal size) ใน ISO/R 775 – 1969 เอาไว้สำหรับให้ผู้ออกแบบเลือกใช้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของเบริงที่ใช้รองรับเพลลาด้วยขนาดระบุของเพลลา ดูได้จากตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ขนาดระบุของเพลตามมาตรฐาน ISO/R 775 – 1969

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเป็น mm				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	320
12	50	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	

3.1.3 การพิจารณาในการออกแบบ

การคำนวณหาขนาดของเพลที่พอเหมาะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ในบางครั้งการหาขนาดเพลเพื่อให้เพลทนต่อแรงที่มากระทำอย่างเฉียวไม่เป็นการเพียงพอ เช่น ในกรณีของเพลเบี้ยว (cam shaft) ในเครื่องยนต์สันดาปภายในต้องการให้มีตำแหน่งเที่ยงตรง ดังนั้นมุมบิดของเพลที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ เป็นต้น นั่นคือ เพลจะต้องมีความแข็งแรงอยู่ภายในพิกัดที่ต้องการ ถ้ามุมบิดไปมากนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้วยังอาจจะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนซึ่งมีผลทำให้เฟืองและแบร็งที่รองรับเพลอยู่เกิดความเสียหายได้ง่ายขึ้น

ถึงแม้ว่าจะไม่มีมาตรฐานสำหรับพิกัดมุมบิดของเพลไว้ก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้วมักจะให้มุมบิดของเพลในเครื่องจักรกลทั่วไปไม่เกิน 0.3° ต่อความยาวเพล 1 m [1] สำหรับเพลส่งกำลังทั่วไปอาจจะให้มีมุมบิดได้ถึง 1° ต่อความยาวเพล 20 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพล ในกรณีของเพลลูกเบี้ยวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในแล้วจะให้มุมบิดได้ไม่เกิน 0.5° ตลอดความยาวของเพล

ความแข็งแรงที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ ความแข็งแรงทางด้านระยะโคง เพราะจะต้องใช้ระยะโคงของเพลที่อยู่ภายใต้แรงภายนอกเป็นตัวสำคัญในการกำหนดระยะเบียด (clearance) ระหว่างล้อ สายพาน เฟือง โครงของเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกชนิดของแบร็งสำหรับรองรับเพล ให้เหมาะสม ถ้าเพลมีระยะโคงมากเกินไปจะทำให้ความยาวของฟันเฟืองส่วนที่สัมผัสหรือขบกันลดลงเป็นผลทำให้อัตราส่วน

การขบ (contact ratio) ของเฟืองลดลงด้วย ทำให้การส่งกำลังของเฟืองไม่ราบเรียบเท่าที่ควร การเลือกแบร็งมารองรับเพลาก็เช่นกันจำเป็นจะต้องเลือกแบร็งชนิดที่อนุญาตให้มีการเอียงแนวสำหรับการใช้งานได้พอเหมาะกะระยะโคงของเพลที่จะเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นแบร็งแบบธรรมดาหรือแบร็งแบบปรับแนวได้เอง (self-aligning bearing) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าระยะโคงเป็นที่สำคัญ

ระยะโค้งดังกล่าวมานี้ก็ไม่มีมาตรฐานกำหนดเป็นแนวทางไว้ โดยทั่วไปแล้วผู้ออกแบบอาจจะถือค่าต่อไปนี้เป็นแนวทางในการกำหนดความแข็งแรงแรงทางด้านระยะโค้งได้ดังนี้คือ

สำหรับเพลาคู่มือจักรกลทั่วไป ค่าระยะโค้งระหว่างจุดที่รองรับด้วยแบร์ริงควรจะไม่เกิน 0.08 mm/m [4]

สำหรับเพลามีเฟืองตรง (spur gear) คุณภาพคืออยู่ด้วย ระยะโค้ง ณ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกันไม่ควรเกิน 0.125 mm และความลาดเอียงของเพลานี้ ณ ตำแหน่งนี้ควรจะน้อยกว่า 0.0286°

3.1.4 การบิด

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีพื้นที่หน้าตัดกลมอยู่ภายใต้โมเมนต์บิด (torque) จะบิดไปเป็นมุมเท่ากับ

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \quad (3.1)$$

โดยที่

T	คือ โมเมนต์บิด
L	คือ ความยาว
J	คือ โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของพื้นที่ (polar area moment of inertial) $= \frac{\pi}{32} d^4$ สำหรับท่อนกลมตัน
d	คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก
d_i	คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

ในการออกแบบเพลานี้เลือกใช้มุมบิดของเพลานี้ไม่เกิน 0.3 องศาในทางปฏิบัติ และดัชนีความแข็งแรงของเหล็กกล้า (G) 80 Gpa จากค่าโมเมนต์บิดที่ทำการคำนวณ และค่าความยาวที่เลือกใช้ แทนค่าในสมการ 3.8 จะสามารถหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลานี้ใช้งานได้

3.2 การออกแบบเกลียวยึด

3.2.1 การให้ชื่อ

การบอกขนาดเกลียวตามมาตรฐานระหว่างประเทศ บอกโดยใช้อักษรย่อแทนชนิดของเกลียวตามด้วยขนาดระบุเป็น mm ตามด้วยระยะพิตช์เป็น mm โดยมีเครื่องหมาย x ขึ้นอยู่ ในกรณีที่เป็นเกลียวแบบธรรมดาไม่ต้องแสดงระยะพิตช์ ตัวอย่างเช่น

เกลียวเมตริกแบบมาตรฐานระหว่างประเทศ แบบเกลียวธรรมดา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุ 16 mm (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่) เรียกว่า M16

เกลียวเมตริกแบบมาตรฐานระหว่างประเทศ แบบเกลียวธรรมดา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุ 20 mm ระยะพิตช์ 2 mm เรียกว่า M20x2

นอกจากนี้ยังมีการบอกลักษณะเกลียวที่เป็นพิเศษอีก เช่น ถ้าเป็นเกลียวซ้ายจะบอกเป็น M30-LH (LH = Left Hand เป็นชื่อย่อมาตรฐานของเกลียวซ้าย)

องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศได้กำหนดมาตรฐานของเกลียว สำหรับทั่วไปในมาตรฐานระหว่างประเทศ IOS/R 261-1969 (E) ดังในตารางที่ 3-1 และตารางที่ 3-2 โดยมีคำแนะนำว่า

1. ควรเลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุในช่องที่ 1 ก่อน ถ้ามีความจำเป็นมากจึงเลือกใช้ในช่องที่ 2

2. คำว่า “หยาบ” และ “ละเอียด” ที่กำหนดไว้มิได้หมายความถึงคุณภาพของการผลิต แต่หมายถึงระยะพิชช์ของเกลียว

3. พยายามหลีกเลี่ยงขนาดที่อยู่ในวงเล็บ

ตารางที่ 3-2 เกลียวเมตริกแบบมาตรฐานระหว่างประเทศ เกลียวธรรมดา

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง กลางระบุ		ระยะพิชช์ P	ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง กลางพิชช์ d_2, D_2	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางน้อย		พื้นที่รับ ความเค้น (A_s) mm ²
ช่องที่ 1	ช่องที่ 2			D_2	D_2	
1.00		0.25	0.838	0.693	0.729	0.456
1.20		0.25	1.038	0.893	0.929	0.730
1.60		0.35	1.373	1.170	1.221	1.270
2.00		0.40	1.740	1.509	1.567	2.070
2.50		0.45	2.208	1.948	2.013	3.390
3.00		0.50	2.675	2.387	2.459	5.030
4.00	3.50	0.60	3.110	2.764	2.850	6.780
		0.70	3.545	3.141	3.242	8.780
	4.50	0.75	4.013	3.580	3.688	11.300
5.00		0.80	4.480	4.019	4.134	14.200
6.00		1.00	5.350	4.773	4.917	20.100
8.00		1.25	7.183	6.466	6.647	36.600
10.00	(9)	1.25	8.188	7.466	7.647	48.100
		1.50	9.026	8.160	8.376	58.100
	(11)	1.50	10.026	9.160	9.376	72.300
12.00		1.75	10.863	9.583	10.106	84.300
16.00	14.00	2.00	12.701	11.546	11.835	115.000
		2.00	14.701	13.546	13.835	157.000
20.00	18.00	2.50	16.376	14.933	15.294	192.000
		2.50	18.376	16.933	17.294	245.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	22.00	2.50	20.376	18.933	19.294	303.000
24.00		3.00	22.051	20.319	20.752	353.000
	27.00	3.00	25.051	23.319	23.752	459.000
30.00		3.50	27.727	25.706	26.211	561.000
	33.00	3.50	30.727	28.706	29.211	694.000
36.00		4.00	33.402	31.093	31.670	817.000
	39.00	4.00	36.402	34.093	34.670	976.000
42.00		4.50	39.077	36.479	37.129	1120.000
	45.00	4.50	42.077	39.479	40.129	1300.000
48.00		5.00	44.752	41.866	42.587	1470.000
	52.00	5.00	48.752	45.866	46.587	1760.000
56.00		5.50	52.428	49.252	50.046	2030.000
	60.00	5.50	56.428	53.252	54.046	2360.000
64.00		6.00	60.103	56.639	57.505	2680.000
	68.00	6.00	64.103	60.639	61.505	3060.000

ตารางที่ 3-3 เกียวเมตริกแบบมาตรฐานระหว่างประเทศ-เกลียวละเอียด

ตัวยกยี่ห้อ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุ x ระยะพิตช์ P)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ d_2	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อย d_1	พื้นที่รับความเค้น (A_s) mm^2
M8x1	7.35	6.733	39.2
M10 x1	9.35	8.733	64.5
M12 x1	11.35	10.733	96.1
M16 x1	15.35	14.733	178.0
M20 x1	19.35	18.733	285.0
M24 x1	23.35	22.733	418.0
M30 x1	29.35	28.733	663.0
M12 x1.25	11.026	10.16	88.1
M16 x1.5	15.026	14.16	167.0
M20 x1.5	19.026	18.16	272.0
M24 x1.5	23.026	22.16	401.0
M30 x1.5	29.026	28.16	642.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M36 x1.5	35.026	34.16	940.0
M42 x1.5	41.026	40.16	1290.0
M48 x1.5	47.026	46.16	1710.0
M56 x1.5	55.026	54.16	2340.0
M64 x1.5	63.0256	62.16	3080.0
M72 x1.5	71.026	70.16	3910.0
M80 x1.5	79.026	78.16	4850.0
M20 x2	18.701	17.546	258.0
M24 x2	22.701	21.546	384.0
M30 x2	28.701	27.546	621.0
M36 x2	34.701	33.546	915.0
M42 x2	40.701	39.546	1260.0
M48 x2	46.701	45.546	1670.0
M56 x2	54.701	53.546	2300.0
M64 x2	62.701	61.546	3030.0
M72 x2	70.701	69.546	3860.0
M80 x2	78.701	77.546	4790.0
M90 x2	88.701	87.546	6100.0
M100 x2	98.701	97.546	7560.0
M110 x2	108.701	107.546	9180.0
M125 x2	123.701	122.546	11900.0
M30x3	28.051	26.319	581.0
M36 x3	34.051	32.319	865.0
M42 x3	40.051	38.319	1210.0
M48 x3	46.051	44.319	1600.0
M56 x3	54.051	52.319	2220.0
M64 x3	62.051	60.319	2940.0
M72 x3	70.051	68.319	3760.0
M80 x3	78.051	76.319	4680.0
M100 x3	98.051	96.319	7420.0
M125 x3	123.051	121.319	11700.0
M140 x3	138.051	136.319	14800.0
M160 x3	158.051	156.319	19400.0
M42 x4	39.402	37.093	1150.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M48 x4	45.402	43.093	1540.0
M56 x4	53.402	51.093	2140.0
M64 x4	61.402	59.093	2850.0
M72 x4	69.402	67.093	3560.0
M80 x4	77.402	75.093	4570.0
M90 x4	87.402	85.093	5840.0
M100 x4	97.402	95.093	7280.0
M125 x4	122.402	120.093	11500.0
M140 x4	137.402	135.093	14600.0
M160 x4	157.402	155.093	19200.0
M180 x4	177.402	175.093	24400.0
M72 x6	68.103	64.639	3460.0
M80 x6	76.103	72.693	4340.0
M90 x6	86.103	82.639	5590.0
M100 x6	96.103	92.639	7000.0
M110 x6	106.103	102.639	8560.0
M125 x6	121.103	117.639	11200.0
M140 x6	136.103	132.639	14200.0
M160 x6	156.103	152.639	18700.0
M180 x6	176.103	172.639	23900.0

3.2.2 คุณสมบัติทางกลของสลักเกลียว

กระทรวงอุตสาหกรรม โดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานคุณสมบัติของสลักเกลียว หมุดเกลียว และสตัค ใน มอก. 171-2519 ตามมาตรฐานระหว่างประเทศ ISO/R898/I-1968(E) ซึ่งทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กกล้าผสมโลหะอื่น โดยที่ขนาดผ่านเส้นศูนย์กลางระนาบของเกลียวจะต้องไม่โตกว่า 39 mm

การให้ชื่อของสลักเกลียว หมุดเกลียว และสตัค บอกโดยใช้ตัวเลขสองตัว ซึ่งมีความหมายดังนี้

- เลขตัวเลขบอกค่า 1/100 ของค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุด มีหน่วยเป็น N/mm^2

- เลขตัวที่สองบอกค่าประมาณ 1/10 ของอัตราส่วนที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ระหว่างค่าความต้านแรงดึงครากต่ำสุดกับค่าความต้านแรงดึงต่ำสุด

ค่าความต้านแรงดึงครากโดยประมาณ อาจหาได้จากผลคูณของเลขตัวแรกกับตัวที่สองแล้วคูณด้วยสิบ

สลักเกลียวมีชั้นคุณสมบัติ 4.6 มีความต้านแรงดึงต่ำสุดคือ $4 \times 100 = 400 N/mm^2$

อัตราส่วนระหว่างความต้านแรงดึงครากต่ำสุดกับความต้านแรงดึงต่ำสุดคือ $6 \times 10 = 60\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความต้านแรงดึงครากโดยประมาณ $4 \times 6 \times 10 = 240 \text{ N/mm}^2$ คุณสมบัติทางกลของสลัก-เกลียว หมุดเกลียว และสตัคชั้นคุณสมบัติ(property class) ต่าง ๆ ดูได้จากตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 คุณสมบัติทางกลของสลักเกลียว หมุดเกลียว และ สตัค

คุณสมบัติทางกล	ชั้นคุณสมบัติ											
	3.6	4.5	4.8	5.6	5.8	6.6	6.8	6.9	8.8	10.9	12.9	14.9
ความต้านแรงดึงต่ำสุด (N/mm^2)	340	400	500	500	500	600	600	600	800	1000	1200	1400
สูงสุด (N/mm^2)	490	500	700	700	700	800	800	800	1000	1200	1400	1600
ความต้านแรงดึงครากต่ำสุด (N/mm^2)	200	240	320	300	400	360	480	-	-	-	-	-
ความเค้นพิสูจน์ 0.2% ต่ำสุด (N/mm^2)	-	-	-	-	-	-	-	540	640	900	1080	1260
การยืดหลังจากขาด %	25	25	14	20	10	16	8	12	12	9	8	7

การระบุคุณสมบัติทางกลของสลักเกลียวทำโดยใช้ตัวเลขหนึ่งตัว ซึ่งความหมายของตัวเลขนี้จะบอกค่า 1/100 ของความเค้นพิสูจน์ (proof load stress) เป็น N/mm^2

ตัวอย่างเช่น เป็นเกลียวชั้นคุณสมบัติ 4 มีค่าความเค้นพิสูจน์เท่ากับ $4 \times 100 = 400 \text{ N/mm}^2$

ค่าความเค้นพิสูจน์จะต้องสอดคล้องกับค่าความต้านแรงดึงของสลักเกลียวและสตัค ที่ใช้ประกอบกับเป็นเกลียวดังตารางที่ 3-4

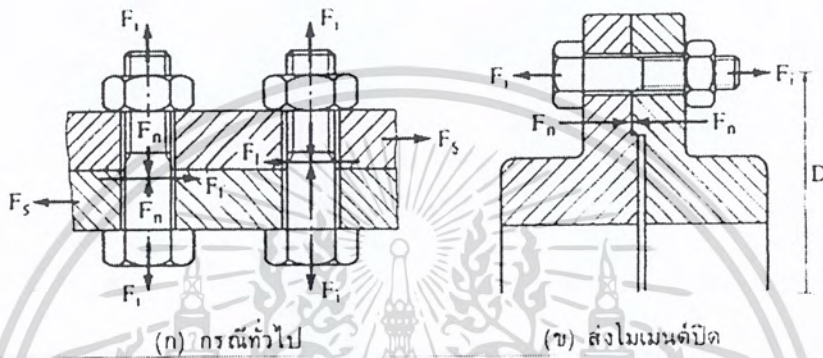
ตารางที่ 3-5 ความเค้นพิสูจน์ของแป้นเกลียว

ชั้นคุณสมบัติ	4	5	6	8	10	12	14
ความเค้นพิสูจน์ (N/mm^2)	400	500	600	800	1000	1200	1400

3.2.3 ความเค้นที่รอยต่อด้วยเกลียว

รอยต่อด้วยเกลียวจะเสียหายได้หลายประการ เช่น สลักเกลียวขาดด้วยแรงเฉือน เกลียวขาด เป็นต้น แต่การเสียหายส่วนมากเกิดขึ้นจากตัวของสลักเกลียวขาด ซึ่งมักจะขาดใกล้บริเวณหัวด้วยเหตุนี้เองการคำนวณออกแบบส่วนใหญ่จึงเป็นการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเกลียว

รอยต่อที่มีความเครียดหรือมีแรงดึงก่อนใช้งาน และมีแรงเฉือนจากภายนอก ในกรณีนี้แรงภายนอกกระทำตั้งฉากกับแกนของสลักเกลียว ทำให้สลักเกลียวอยู่ภายใต้ความเค้นเฉือนดังรูปที่ 7.21 แรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของชิ้นงานจะทำหน้าที่รับแรงเฉือนจากภายนอก F_s เอาไว้ดังนั้นจึงต้องมีแรงดึงขั้นต่ำมากกว่าชิ้นงานไว้ให้มากเพียงพอจนกระทั่งแรงเสียดทาน F_f มากกว่า F_s



รูปที่ 3-1 รอยต่อด้วยสลักเกลียวอยู่ภายใต้แรงเฉือน

แรงดึงขั้นต่ำเพื่อทำให้มีแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของชิ้นงานเพียงพอที่จะรับแรงเฉือนไว้ได้หาค่าได้จากสมการ

$$F_i = F_n \geq \frac{F_f}{z \times f} = \frac{F_s}{z \times f} \quad (3.2)$$

โดยที่	F_i	คือ	แรงดึงขั้นต่ำ
	F_n	คือ	แรงปฏิกิริยาตั้งฉากกับผิวสัมผัส
	F_f	คือ	แรงเสียดทานที่ผิวสัมผัส
	F_s	คือ	แรงเฉือนจากภายนอก
	Z	คือ	จำนวนสลักเกลียว
	f	คือ	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน หาค่าได้จากตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-6 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายโดยประมาณ

วัสดุ	สัมประสิทธิ์ความเสียหาย			
	สถิติ f		เลื่อน f_0	
	แห้ง	เปียก	แห้ง	เปียก
เหล็กกล้ากับเหล็กกล้า	0.15 – 0.20	0.10	0.10 – 0.15	0.05
เหล็กกล้ากับเหล็กหล่อ ทองเหลืองหรือบรอนซ์	0.18 – 0.25	0.10	0.15 – 0.20	0.05
เหล็กหล่อกับเหล็กหล่อ หรือบรอนซ์	0.22 – 0.26	0.16	0.15 – 0.20	0.10
โลหะกับไม้	0.50 – 0.60	0.10	0.20 – 0.50	0.08
ไม้กับไม้	0.50 – 0.70	0.20	0.20 – 0.40	0.005 – 0.15
สายพานหลังกับ เหล็กหล่อหรือเหล็กหล่อ เหนียว	0.50 – 0.60	0.30	0.30 – 0.50	0.20
ปะเก็นกับโลหะ	0.60	0.25	0.25	0.12
แผ่นผ้าเบรกและคลัตช์ ที่มาจากใยหินกับ เหล็กกล้า เหล็กหล่อเหนียว หรือเหล็กหล่อ	-	-	0.30 – 0.50	0.15 – 0.30

ในการคำนวณหาขนาดของสลักเกลียว จะต้องพิจารณาทั้งความเค้นดึงและความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นบนสลักเกลียว โดยใช้ทฤษฎีการเสียหายตามที่ได้กล่าวไว้ในบทก่อนแล้ว โดยที่

$$\text{ความเค้นดึง} \quad \sigma_t = \frac{F_i}{A_s} \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ความเค้นเฉือน } \tau = \frac{F_s}{A_s} \quad (3.4)$$

เลือกค่าวัสดุที่ใช้ยึดเป็นเหล็กหล่อกับเหล็กเหนียว จากตารางที่ 3-5 สามารถหาค่าแรงเสียดทานเฉลี่ยที่ใช้ในการคำนวณได้จากสมการที่ 3-5 เลือกใช้คุณสมบัติเฉลี่ย 6.8 จากตารางที่ 3-3 จะรู้ความต้านแรงดึงต่ำสุด เลือกค่าความปลอดภัยที่จะใช้ พิจารณาค่า A_s จากสมการความเค้นดึง และความเค้นเฉือน เลือกใช้เฉลี่ยจากตารางที่ 3-2

3.3 การออกแบบสลักงัดกำลัง

การคำนวณหาความเค้นในส่วนต่างๆของสลักงัดกำลัง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การขบกันระหว่างเกลียวของสลักและแป้นเกลียว ตลอดจนการกระจายของแรงบนเกลียวว่าจะเข้าใกล้กับสภาพที่ได้สมมติเอาไว้เพียงใด เกลียวที่อยู่ใกล้กับน้ำหนักรับแรงมากกว่าเกลียวที่อยู่ห่างออกไป ความหลวมระหว่างสลักและแป้นเกลียวอาจทำให้แรงกระจายไม่สม่ำเสมอ หรือการโค้งงอของเกลียวอาจทำให้เกลียวบางเกลียวรับแรงมากเกินไป เป็นต้น แต่สิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งที่ไม้อาจจะทราบได้อย่างแน่นอน ดังนั้นการคำนวณความเค้นในสลักก็จึงถือหลักการเดิมที่ได้ใช้มาแล้วในบทก่อน ในการออกแบบควรจะต้องคิดถึงสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ความเค้นวิกฤติ (critical or bucking stress) ในการคำนวณหาขนาดของสลักที่รับแรงกดแต่เพียงอย่างเดียว ถ้าเป็นสลักสั้นก็สามารถที่จะใช้สมการของความเค้น

$$\sigma_c = \frac{W}{A_r} \quad (3.5)$$

เนื่องจากพื้นเกลียวก็จะช่วยรับแรงนี้ด้วย ดังนั้นพื้นที่รับแรง A_r ก็ควรจะมีความใหญ่กว่าพื้นที่ซึ่งคิดที่เส้นผ่านศูนย์กลางน้อย ซึ่งอาจจะประมาณได้ว่าควรจะเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยและเส้นผ่านศูนย์กลางพิชซ์ เพื่อความสะดวกในการคำนวณจึงขอแนะนำให้ใช้พื้นที่ของเส้นผ่านศูนย์กลางน้อย

คำว่าสลักสั้นในที่นี้หมายถึง สลักซึ่งมีอัตราส่วนความเพริยว $L_c/k < 40$ ถ้าหากสลักมีอัตราส่วนความเพริยวมากกว่านี้ สลักอาจจะเกิดการโค้งงอขึ้นได้ก่อนที่ความเค้นจะถึงค่าที่กำหนดเอาไว้ก็ได้ ในกรณีเช่นนี้การออกแบบสลักต้องใช้สูตรของเสาแทนสมการที่ (3.5)

สำหรับสลักที่มีความยาวปานกลางให้ใช้สูตรของจอห์นสัน

$$W = \frac{A_r \sigma_y}{N} \left(1 - \frac{\sigma_y (L_c / k)^2}{4\pi^2 E} \right) \quad 40 < \frac{L_c}{k} < 110 \quad (3.6)$$

สำหรับสลักยาวให้ใช้สูตรของออยเลอร์

$$W = \frac{\pi^2 EI}{NL_c^2} \quad \frac{L_c}{k} > 110 \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าวัสดุที่ใช้ทำตัวสกรูไม่ใช่เหล็ก ค่าของความเครียดที่แบ่งระหว่างการใช้สูตรของออยเลอร์และจอห์นสันจะคำนวณได้จากสมการ

$$\frac{L_c}{k} = \left(\frac{2\pi^2 E}{\sigma_y} \right)^{1/2} \quad (3.8)$$

2. ความเค้นผสม ถ้าสกรูยาวไม่มากนักก็จะไม่เกิดการ โกงงอขึ้นเมื่ออยู่ภายใต้แรงกดหรือในบางกรณีสกรูส่งกำลังอาจจะใช้รับแรงดึงก็ได้ นอกจากนี้แล้วก็ยังมีความเค้นเฉือนอันเนื่องมาจากการบิดของสกรูอีกด้วย การคำนวณในกรณีเช่นนี้ต้องใช้ความเค้นผสมซึ่งมีอยู่หลายทฤษฎีคั้งที่ได้กล่าวแล้วในบทก่อน สำหรับทฤษฎีที่ปลอดภัยและใช้ได้ง่ายก็คือ ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดซึ่งมีสมการเป็น

$$\tau_d = \left(\left(\frac{\sigma}{2} \right)^2 + \tau^2 \right)^{1/2} \quad (3.9)$$

โดยที่ τ_d เป็นค่าความเค้นเฉือนใช้งาน และ

$$\tau_d = \frac{T r}{J} = \frac{16 T}{\pi d_r^3} \quad (3.10)$$

โดยที่ d_r คือเส้นผ่านศูนย์กลางน้อย

ในการใช้ทฤษฎีนี้กับตัวสกรู ผู้เขียนขอแนะนำให้ใช้ $\tau_y = 0.6\sigma_y$ แทนที่จะใช้ $\tau_y = 0.5\sigma_y$ ดังเช่นที่กล่าวไว้ในทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด ทั้งนี้เป็นเพราะเกลียวของสกรูก็จะช่วยในการรับแรงด้วย แต่มิได้นำมาคิดในการหาความเค้นในตัวสกรู

3. ความเค้นอัด ความเค้นอัดในที่นี้หมายถึงความเค้นที่เกิดจากการที่ผิวหน้าของ ฟันเกลียวของตัวสกรูอัดกับผิวหน้าของฟันเกลียวของแป้นเกลียวหรือส่วนที่เป็นเกลียวตัวเมีย ในการคำนวณหาความเค้นอัดนี้ให้ใช้พื้นที่ภาพฉายของเกลียวส่วนที่อัดกันอยู่ ถ้าจำนวนเกลียวดังกล่าวนี้เท่ากับ n เกลียวพื้นที่นี้คือ

$$A = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_r^2) n$$

$$\text{ดังนั้นความเค้นอัด} \quad \sigma_c = \frac{4W}{\pi(d^2 - d_r^2)n} \quad (3.11)$$

4. ความเค้นเฉือนในฟันเกลียว นอกจากความเค้นต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว ในฟันเกลียวยังเกิดความเค้นดัดและความเค้นเฉือนที่โคนฟันเกลียวอีกด้วย เนื่องจากความสูงของฟันเกลียวมีค่าน้อย ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเมนต์ดัดที่โคนพินเกลียวจึงมีค่าน้อยด้วย ฉะนั้นเกลียวส่วนมากจึงทนต่อความเค้นดัดได้ ส่วนความเค้นเฉือนอาจจะมีค่ามาก จากทฤษฎีกลศาสตร์วัสดุ ความเค้นเฉือนสูงสุดสำหรับพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเท่ากับ

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

ให้ b เป็นความหนาของโคนพินเกลียว ดังนั้นพื้นที่รับแรงเฉือน

$$A = \pi d_r b n$$

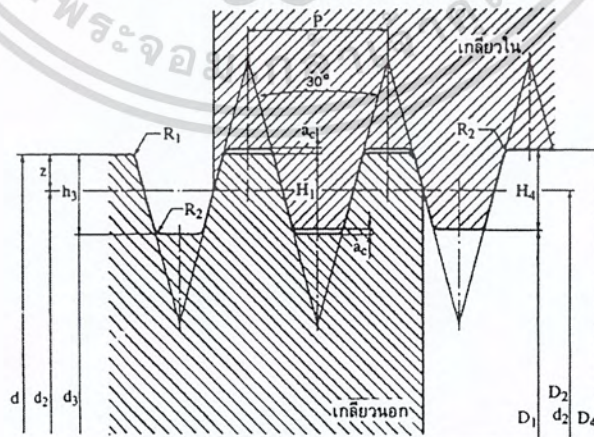
$$\text{เพราะฉะนั้น} \quad \tau_d = \frac{3W}{2\pi d_r b n} \quad (3.12)$$

ค่า d_r นี้ต้องเลือกใช้ที่โคนพินเกลียวของสกรูหรือแป้นเกลียว แล้วแต่ละตรวจสอบที่ส่วนไหน

3.3.1 เกลียวสี่เหลี่ยมคางหมูตามมาตรฐานไอเอสโอ

ขนาดเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมูตามมาตรฐานไอเอสโอบอกมิติต่างๆ เป็น mm และมีมุมของเกลียว 2Φ เท่ากับ 30° ขนาดต่างๆ ของสกรูส่งกำลังชนิดนี้แสดงในรูปที่ 11.8 จำนวนได้จากสมการต่อไปนี้คือ

$$\begin{aligned} H_1 &= 0.5p & D_4 &= d + 2a_c \\ H_4 &= H_1 + a_c = 0.5p + a_c & d_3 &= d - 2h_3 \\ h_3 &= H_1 + a_c & R_{1\max} &= 0.5a_c \\ z &= 0.25p = \frac{H_1}{2} & R_{1\min} &= a_c \\ D_1 &= d - 2H_1 = d - p & d_2 &= d_2 = D_2 = d - 2z = d - 0.5p \end{aligned}$$



รูปที่ 3-2 ขนาดต่างๆของเกลียวสี่เหลี่ยมคางหมู

โดยที่	a_c	คือ ช่องว่างบนยอดฟัน
	D_4	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ของเกลิยวใน
	D_1	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยของเกลิยวใน
	D_2	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของเกลิยวใน
	d	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ของเกลิยวนอก (เป็นขนาดระบุด้วย)
	d_3	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยของเกลิยวนอก
	d_2	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของเกลิยวนอก
	H_1	คือ ความสูงเหลื่อม (overlapping) ของเกลิยว
	H_4	คือ ความสูงของฟันเกลิยวใน
	h_3	คือ ความสูงของฟันเกลิยวนอก
	p	คือ ระยะพิตช์

ตารางที่ 3-6 และตารางที่ 3-7 แสดงมิติมูลฐาน ซึ่งได้มาจากการคำนวณ โดยใช้สมการชุดข้างบนนี้

ในการเลือกขนาดของสกรูส่งกำลัง ให้เลือกจากขนาดในช่องแรกของตารางที่ 3-7 ก่อนถ้ามีความจำเป็นที่จะต้องเลือกขนาดอื่นที่ไม่มีในช่องแรกนี้ก็ให้เลือกขนาดต่อไปในช่องที่สอง เมื่อได้ขนาดของสกรูแล้วก็ให้เลือกพิตช์ในช่องที่สี่ จากตารางที่ 3-7 จะเห็นว่าสำหรับสกรูหนึ่งขนาดอาจเลือกระยะพิตช์ได้หลายค่า แต่ค่าที่แนะนำให้ใช้คือค่าที่มีเครื่องหมาย * อยู่ข้างหน้า

ตารางที่ 3-7 มิติมูลฐานของเกลิยวสี่เหลี่ยมทงมุมตามมาตรฐาน ISO2901 – 1977 (E)

P	a_c	$H_4 = h_3$	H_1	$R_1 \text{ max.}$	$R_2 \text{ max.}$
1.5	0.15	0.9	0.75	0.08	0.15
2	0.25	1.25	1	0.13	0.25
3	0.25	1.75	1.5	0.13	0.25
4	0.25	2.25	2	0.13	0.25
5	0.25	2.75	2.5	0.13	0.25
6	0.5	3.5	3	0.25	0.5
7	0.5	4	3.5	0.25	0.5
8	0.5	4.5	4	0.25	0.5
9	0.5	5	4.5	0.25	0.5
10	0.5	5.5	5	0.25	0.5
12	0.5	6.5	6	0.25	0.5
14	1	8	7	0.5	1

15	1	9	8	0.5	1
18	1	10	9	0.5	1
20	1	11	10	0.5	1
22	1	12	11	0.5	1
24	1	13	12	0.5	1
28	1	15	14	0.5	1
32	1	17	16	0.5	1
36	1	19	18	0.5	1
40	1	21	20	0.5	1
44	1	23	22	0.5	1

ขนาดเป็น mm

ตารางที่ 3-8 มิติมาตรฐานของเกลียวสี่เหลี่ยมทรงแท่งตามมาตรฐาน ISO2901 – 1977 (E)

ช่องที่ 1	ขนาดระบุ		ระยะ พิทช์ P	$d_2 = D_2$	D_4	d_3	D_1
	ช่องที่ 2	ช่องที่ 3					
8			1.5	7.250	8.300	3.200	6.500
	9		1.5 *2	8.250 8.000	9.300 9.500	7.200 6.500	7.500 7.000
10			2 *3	9.250 9.000	10.300 10.500	8.200 7.500	8.500 8.000
	11		2 *3	10.000 9.500	11.500 11.500	8.500 7.500	9.000 8.000
12			2 *3	11.000 10.500	12.500 12.500	9.500 8.500	10.000 9.000
	14		2 *3	13.00 12.500	14.500 14.500	11.500 10.500	12.000 11.000
16			2 *4	15.000 14.000	16.500 16.500	13.500 11.500	14.000 12.000
	18		2 *4	17.000 16.000	18.500 18.500	15.500 13.500	16.000 14.000
20			2 *4	19.000 18.000	20.500 20.500	17.500 15.500	18.000 16.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	22		3	20.500	22.500	18.500	19.000
			*5	19.500	22.500	16.500	17.000
			8	18.000	23.000	13.000	14.000
24			3	22.500	24.500	20.500	21.000
			*5	21.500	24.500	18.500	19.000
			8	20.000	25.000	15.000	16.000
	26		3	24.500	26.500	22.500	23.000
			*5	23.500	26.500	20.500	21.000
			8	22.000	27.000	17.000	18.000
28			3	26.500	28.500	24.500	25.000
			*5	25.500	28.500	22.500	23.000
			8	24.000	29.000	19.000	20.000
	30		3	28.000	30.500	26.500	27.000
			*6	27.000	31.000	23.000	24.000
			10	25.000	31.000	19.000	20.000
32			3	30.500	32.500	28.500	29.000
			*6	29.000	33.000	25.000	26.000
			10	27.000	33.000	21.000	22.000
	34		3	32.500	34.500	30.500	31.000
			*6	31.000	35.000	27.000	28.000
			10	29.000	35.000	23.000	24.000
36			3	34.500	36.500	32.500	33.000
			*6	33.000	37.000	29.000	30.000
			10	31.000	37.000	25.000	26.000
	38		3	36.500	38.500	34.500	35.000
			*7	34.500	39.000	30.000	31.000
			10	33.000	39.000	27.000	28.000
40			3	38.500	40.500	36.500	37.000
			*7	36.500	41.000	32.000	33.000
			10	35.000	41.000	29.000	30.000
	42		3	40.500	42.500	38.500	39.000
			*7	38.500	43.000	34.000	35.000
			12	37.000	43.000	31.000	32.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

44			3	42.500	44.500	40.500	41.000
			*7	40.500	45.000	36.000	37.000
			12	38.000	45.000	31.000	32.000
	46		3	44.500	46.500	42.500	43.000
			*8	42.000	47.000	37.000	38.000
			12	40.000	47.000	33.000	34.000
48			3	46.500	48.500	44.500	45.000
			*8	44.000	49.000	39.000	40.000
			12	42.000	49.000	35.000	36.000
	50		3	48.500	50.500	46.500	47.000
			*8	46.000	51.000	41.000	42.000
			12	44.000	51.000	37.000	38.000
52			3	50.500	52.500	48.500	49.000
			*8	48.000	53.000	43.000	44.000
			12	46.000	53.000	39.000	40.000
	55		3	53.500	55.500	51.500	52.000
			*9	50.500	55.000	45.000	46.000
			14	48.000	57.000	39.000	41.000
60			3	58.500	60.500	56.500	57.000
			*9	55.500	61.000	50.000	51.000
			14	53.000	62.000	44.000	46.000

ขนาดเป็น mm

จากสกรูที่ใช้ตัวสกรูและฐานทำจากเหล็ก AISI 1040 HR สามารถหาค่าคุณสมบัติภายในต่างๆ และรู้ค่าแรงดันทที่ใช้กับสกรู ดังนั้นสามารถหาค่า d_r ได้จากสมการที่ 3-5 จากนั้นหาค่าระยะต่างๆ ของสกรูได้ คือ ระยะพิชช์ของเกลียว D_1, d_2, d_3 จากตารางที่ 3-7

3.4 การออกแบบลิ้ม

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เช่น ล้อสายพาน เฟือง ใบพัด ลูกเบี้ยว และอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ส่งหรือรับกำลังจากเพลลา โดยที่จะต้องยึดแน่นกับเพลลาเพื่อให้หมุนไปพร้อมกับเพลลา ชิ้นส่วนประเภทนี้อาจส่งแรงบิดและมีการถอดประกอบบ่อยครั้ง ดังนั้นจึงมักจะยึดติดกับเพลลาโดยใช้ลิ้ม ลิ้มเป็นแท่งโลหะที่ใส่ไว้ในร่องของชิ้นส่วนทั้งสองยึดอยู่ด้วยกัน ซึ่งเรียกว่าร่องลิ้ม ฉะนั้นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่จะนำมายึดกับเพลลาและเพลลาเองก็จะต้องทำร่องลิ้มไว้เพื่อใส่ลิ้ม ลิ้มทำหน้าที่ป้องกันการเกิดการหมุนสัมพัทธ์ขึ้นระหว่างชิ้นส่วนทั้งสองในบางครั้งยังอาจใช้ลิ้มทำหน้าที่กันมิให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวแกนของเพลลาด้วย การตัดร่องลิ้มบนเพลลาทำให้ความแข็งแรงของเพลลาลดลง ทั้งนี้ย่อมขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของร่องลิ้มลิ้มแบ่งออกเป็นหลายชนิด ดังนั้นการเลือกใช้และการติดตั้งจึงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น กำลังที่จะส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

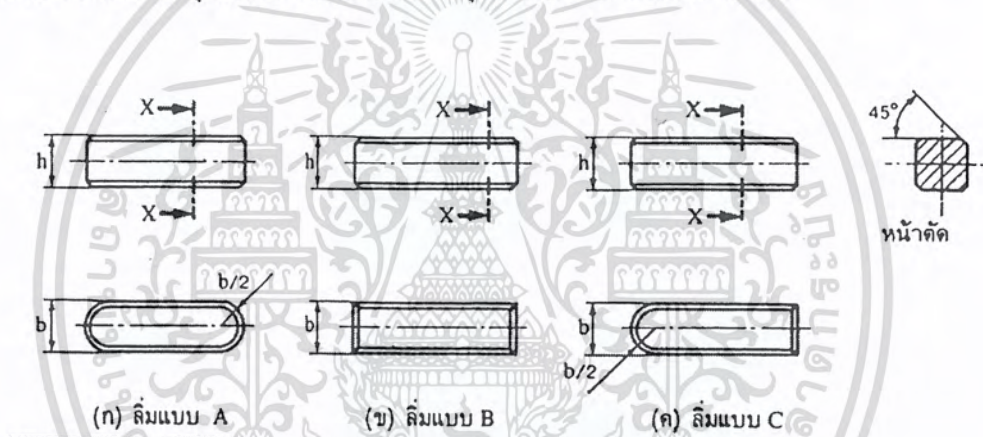
ชนิดของพิกัดความถี่ ความมั่นคงของรอยต่อ และราคา ในการส่งกำลังน้อยๆ อาจใช้หมุดเกลียวปรับ (set screw) ขันยึดส่วนติดกับเพลากลมได้โดยตรงไม่ต้องใช้ลิ้ม แต่โดยมากมักใช้ลิ้มยึด การใช้หมุดเกลียวปรับมักใช้ยึดลิ้มติดกับร่องลิ้มบนเพลา เพื่อป้องกันชิ้นส่วนเลื่อนตัวในแนวแกนของเพลา

3.4.1 ชนิดของลิ้ม

ลิ้มแบ่งออกเป็นหลายชนิดด้วยกันดังนี้คือ

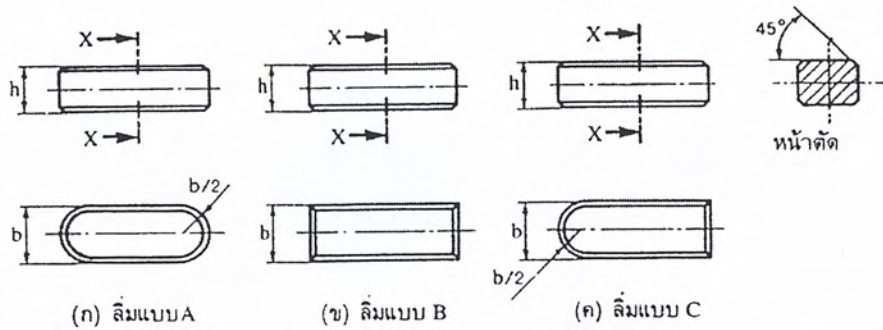
3.4.1.1 ลิ้มสี่เหลี่ยมผืนผ้าและลิ้มสี่เหลี่ยมจัตุรัส องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศกำหนดขนาดมาตรฐานของลิ้มชนิดนี้ไว้ใน ISO/R773 ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 8.1 ลิ้มชนิดนี้จะฝังอยู่ในเพลากรึ่งหนึ่ง และฝังอยู่ในคุมของเฟือง (hub) ล้อสายพานหรือข้อเหวี่ยงอีกประมาณครึ่งหนึ่งของความหนาลิ้มชนิดนี้ มักใช้กับเครื่องจักรกลอุตสาหกรรมทั่วไป

ลิ้มสี่เหลี่ยมผืนผ้าและลิ้มสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสตามลำดับ ถ้ามีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันตลอดความยาวเรียกว่า เฟียเชอร์คีย์ (feather key) มักใช้กับงานที่ต้องการให้คุมลื่นไปบนเพลาได้ เพียงแต่ป้องกันมิให้เกิดการหมุนสัมพัทธ์เท่านั้น บางครั้งอาจต้องยึดลิ้มให้ติดกับเพลาด้วยหมุดเกลียวปรับด้วย เช่น ในชุดเฟืองทดของรถยนต์ เป็นต้น



รูปที่ 3-3 ลิ้มสี่เหลี่ยมผืนผ้าและลิ้มสี่เหลี่ยมจัตุรัส

3.4.1.2 ลิ้มแบน ลิ้มชนิดนี้มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเช่นกัน แต่มีลักษณะบางกว่าลิ้มสี่เหลี่ยมผืนผ้าทั่วไป ดังรูปที่ 8.3 ลิ้มชนิดนี้จะใช้เมื่อต้องการให้เพลาแข็งแรงขึ้น เพราะถ้าใช้ลิ้มสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือลิ้มสี่เหลี่ยมจัตุรัสแล้วจะต้องเจาะร่องลิ้มบนเพลาลึกมาก ลิ้มชนิดนี้เหมาะกับการใช้งานเบาหรือเมื่อต้องการให้ร่องลิ้มบนเพลาและคุมลื่นขึ้น เช่น ในกรณีที่ใช้เพลากลวง ลิ้มแบบแบ่งออกเป็น 2 ชนิด และชนิดที่มีความลาด 1 : 100 ทางด้านความสูงตามมาตรฐาน ISO 2492



รูปที่ 3-4 ลิ่มแบน

3.4.2 การให้ชื่อลิ่ม

ลิ่มแบ่งออกเป็นหลายชนิดด้วยกันและมีขนาดเป็นมาตรฐาน ดังนั้นการเลือกขนาดตามมาตรฐาน มีใช้กำหนดหาขนาดต่างๆ ออกมาเอง ขนาดลิ่มมาตรฐานจะดูได้จากตาราง นอกจากนั้นยังกำหนดวิธีการให้ชื่อลิ่มดังนี้

การให้ชื่อลิ่มให้บอกว่าเป็นลิ่มมาตรฐานระหว่างประเทศหมายเลขเท่าใด (ซึ่งจะบอกถึงชนิดของลิ่ม) ตามด้วยเครื่องหมาย - แล้วตามด้วยขนาดความกว้างของลิ่ม x ความสูงของลิ่ม x ความยาวของลิ่ม เช่น

- ลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้า แบบ A กว้าง 12 mm สูง 8 mm และยาว 70 mm ก็ให้ชื่อว่า : ลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้า ISO/R 773 - A12 x 8 x 70
- ลิ่มจุกสี่เหลี่ยมผืนผ้า แบบ B กว้าง 18 mm สูง 11 mm และยาว 125 mm ก็ให้ชื่อว่า : ลิ่มจุกสี่เหลี่ยมผืนผ้า ISO/R 774 - B18 x 11 x 125
- ลิ่มแบน แบบ B กว้าง 20 mm สูง 8 mm และยาว 100 mm ก็ให้ชื่อว่า : ลิ่มแบน ISO2491 - B20 x 8 x 100

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นว่าการเลือกใช้ลิ่มต้องเลือกใช้ตามมาตรฐาน นอกจากนี้แล้วยังต้องเลือกขนาดลิ่มให้สอดคล้องกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเพลลาที่ใช้งานกับลิ่มด้วยดังตาราง

ตารางที่ 3-9 ขนาดลิ่มมาตรฐานที่ใช้กับเพลลาขนาดต่างๆ

ขนาด เพลลา (d) mm	ลิ่มสี่เหลี่ยม ผืนผ้า ลิ่มสี่เหลี่ยม จัตุรัส ISO/R 773 ISO/R 774 b x h	ลิ่มแบน ISO 2491 ISO 2492 b x h	แซดเดิลคีย์ DIN 6881 b x h	ลิ่มวงเดือน ISO 3912		
				b x h ₁ x R	t ₁	t ₂

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3-4				1.0 x 1.40 x 4	1.0	0.6
4-5				1.5 x 2.60 x 7	2.0	0.8
5-6				2.0 x 2.60 x 7	1.8	1.0
6-7	2 x 2			2.0 x 3.70 x 10	2.9	1.0
7-8	2 x 2			2.5 x 3.70 x 10	2.7	1.2
8-10	3 x 3			3.0 x 5.00 x 13	3.8	1.4
10-12	4 x 4			3.0 x 6.50 x 16	5.3	1.4
12-14	5 x 5	5 x 3		4.0 x 6.50 x 16	5.0	1.8
14-16	5 x 5	5 x 3		4.0 x 7.50 x 19	6.0	1.8
16-18	5 x 5	6 x 4		5.0 x 6.50 x 16	4.0	2.3
18-20	6 x 6	6 x 4		5.0 x 7.50 x 19	5.5	2.3
20-22	6 x 6	8 x 5	8 x 3.5	5.0 x 9.00 x 22	7.0	2.3
22-25	8 x 7	8 x 5	8 x 3.5	6.0 x 9.00 x 22	6.5	2.8
25-28	8 x 7	8 x 5	8 x 3.5	6.0 x 10.0 x 25	7.5	2.8
28-32	8 x 7	8 x 5	10 x 4.0	8.0 x 11.0 x 28	8.0	3.3
32-38	10 x 7	10 x 6	12 x 4.0	10.0 x 13.0 x 32	10.0	3.3
38-44	12 x 7	12 x 6	14 x 4.5			
44-50	14 x 9	14 x 6	16 x 5.0			
50-58	16 x 10	16 x 7	18 x 5.0			
58-65	18 x 11	18 x 7	20 x 6.0			
65-75	20 x 12	20 x 8	22 x 7.0			
78-85	22 x 14	22 x 9	25 x 7.0			
85-95	25 x 14	25 x 9	28 x 7.5			
95-110	28 x 16	28 x 10	32 x 8.5			
110-130	32 x 18	32 x 11	36 x 9.0			
130-150	36 x 20	36 x 12				
150-170	40 x 22	40 x 14				
170-200	45 x 25	45 x 16				
200-230	50 x 28	50 x 18				
230-260	56 x 32					
260-290	63 x 32					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวของลิ่มที่ควรเลือกใช้ตามมาตรฐานระหว่างประเทศเป็น mm. คือ

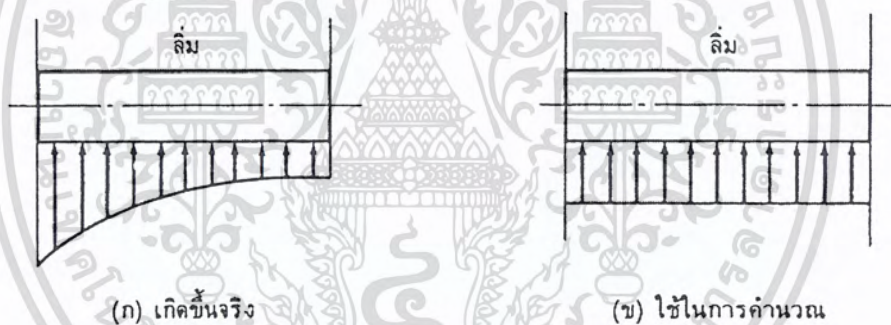
6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40
45	50	56	63	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200
220	250	280	320	360	400								

3.4.3 ความเค้นที่รอยต่อด้วยลิ่ม

เมื่อใช้ลิ่มต่อเพลากับคูล้อเพื่อส่งโมเมนต์บิด ความเค้นที่เกิดขึ้นในลิ่มจะเป็นแบบสามมิติและมีความยุ่งยากในการคิดคำนวณมาก ความเค้นที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลมาจากแรง 2 ชนิด คือ

3.4.3.1 แรงเนื่องจากการสวมอัดลิ่มลงในร่องลิ่ม เช่น การสวมอัดลิ่มแบบธรรมดาหรือแบบเร็ว แรงเหล่านี้ทำให้เกิดความเค้นอัดขึ้นในลิ่มซึ่งไม่อาจหาค่าที่แน่นอนของแรงเหล่านี้ได้

3.4.3.2 แรงเนื่องจากการส่งโมเมนต์บิด ทำให้เกิดความเค้นอัดและความเค้นเฉือนในลิ่ม แรงที่กระทำตามแนวขวางของลิ่มจะไม่กระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวลิ่ม แต่จะมีค่ามากในบริเวณใกล้กับจุดที่รับโมเมนต์บิด ทั้งนี้เนื่องมาจากการบิดระหว่างเพลากับคูล้อ เพราะเพลามีความแข็งดิ่งบิด (torsional stiffness) น้อยกว่าคูล้อ มีผู้ทำการทดลองหาลักษณะการกระจายความเค้นตลอดความยาวลิ่ม พบว่ามีลักษณะดังรูปที่ 3-3 (ก)

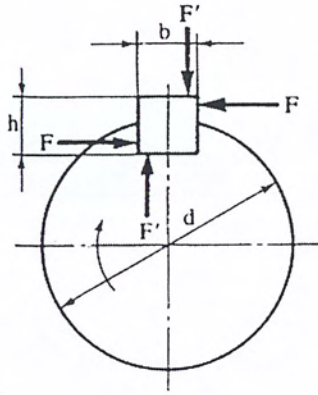


รูปที่ 3-5 ความเค้นบนลิ่ม

ในการหาความเค้นที่เกิดขึ้นบนลิ่มนั้น เพื่อความสะดวกในการคำนวณจึงมักจะใช้ข้อสมมติฐาน ดังนี้คือ

- แรงที่กระจายตลอดความยาวของลิ่มมีค่าสม่ำเสมอ
- ไม่คิดแรงที่เกิดจากการสวมอัดลิ่ม

จากสมมติฐานดังกล่าวทำให้คำนวณหาขนาดของลิ่มได้ง่ายขึ้น ในทางปฏิบัติการคำนวณหาขนาดลิ่มมักจะเป็นการคำนวณหาความยาวลิ่มเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากลิ่มมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเป็นมาตรฐานอยู่แล้ว พร้อมทั้งขนาดของลิ่มที่เหมาะสมกับเพลารูปทรงต่างๆ ก็หาได้จากตารางที่ 3-8



รูปที่ 3-6 แรงบนรอยต่อด้วยลึ้ม

พิจารณารอยต่อด้วยลึ้มดังรูปที่ 3-4 ให้ F เป็นแรงที่กระทำกับลึ้มเนื่องจากโมเมนต์บิด และ F' เป็นแรงที่กดลึ้มไว้ไม่ให้ลึ้มเอียง โมเมนต์บิดบนเพลลาทำให้ดุมลึ้มมีแรงต้านทาน F เกิดขึ้นซึ่งกระทำในแนวตั้งฉากกับลึ้ม สมมติว่าแรงนี้กระทำที่จุดกึ่งกลางของลึ้มส่วนที่โผล่พ้นจากเพลลา ดังนั้นจึงหาแรง F ได้จากสมการ

$$T = F \left(\frac{d}{2} + \frac{h}{4} \right) \approx \frac{Fd}{2} \quad (3.13)$$

จากข้อสมมุติฐานที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อคิดว่าลึ้มขาดเนื่องจากแรงเฉือน ฉะนั้น

$$T = \frac{Fd}{2} = \frac{bl\tau d}{2} \quad (3.14)$$

โดยที่

- T คือ โมเมนต์บิดบนเพลลา
- F คือ แรงที่กระทำกับลึ้ม
- D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา
- b คือ ความกว้างของลึ้ม
- l คือ ความยาวของลึ้ม
- τ คือ ความเค้นเฉือนบนลึ้ม

แต่เมื่อคิดว่าลึ้มโดนอัดแตก

$$T = \frac{Fd}{2} = \frac{hl\sigma_c d}{4} \quad (3.15)$$

โดยที่

- h คือ ความสูงของลึ้ม
- σ_c คือ ความเค้นอัดบนลึ้ม หรือเพลลาหรือคูล็่อ

ถ้าลิมและเพลลาทำจากวัสดุชนิดเดียวกัน ก็สามารถจะหาความยาวของลิมได้โดยถือว่าลิมและเพลลารับโมเมนต์บิดเท่ากัน ดังนั้น

$$T = \frac{bl\tau d}{2} = \frac{\pi d^3}{16}$$

$$\text{เพราะฉะนั้น} \quad l = \frac{\pi d^2}{8b} \quad (3.16)$$

ถ้าสมมติให้ลิมมีความกว้างประมาณ $\frac{d}{4}$ จะได้

$$l = \frac{\pi d}{2} = 1.57d \quad (3.17)$$

นั่นก็คือ ความยาวของลิมควรมีค่าประมาณ 1.57 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพลลา

โดยทั่วไปแล้วกรรมวิธีการออกแบบจะเริ่มต้นด้วยการหาขนาดของเพลลาที่ใช้ จากนั้นจึงเลือกขนาดลิมมาตรฐานที่ใช้กับเพลลาที่ต้องการจากตาราง แล้วจึงคำนวณหาความยาวของลิมโดยใช้สมการที่ (3.14) และสมการที่ (3.15)

จากข้อมูลตารางที่ 3-8 จะระบุขนาดลิมมาตรฐานที่ใช้กับเพลลาขนาดต่างๆ จะสามารถหาค่าขนาดพื้นที่หน้าตัดและชนิดของลิมที่ใช้ได้ และสามารถหาความยาวของลิมได้จากสมการที่ 3.16

3.5 โซ่

การขับเคลื่อนโซ่มีโซ่อยู่มากทางด้านงานเครื่องจักรกล เนื่องจากมีลักษณะคล้ายกับการขับเคลื่อนด้วยสายพาน โซ่จะคล้องอยู่กับล้อโซ่หรือเฟืองโซ่ (sprocket) ซึ่งติดอยู่บนเพลลาขับแลเพลลาตาม อัตราทดของการขับเคลื่อนขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองโซ่ทั้งสอง และการขับเคลื่อนโซ่จะไม่มีการสลิปเกิดขึ้นระหว่างโซ่กับเฟืองโซ่

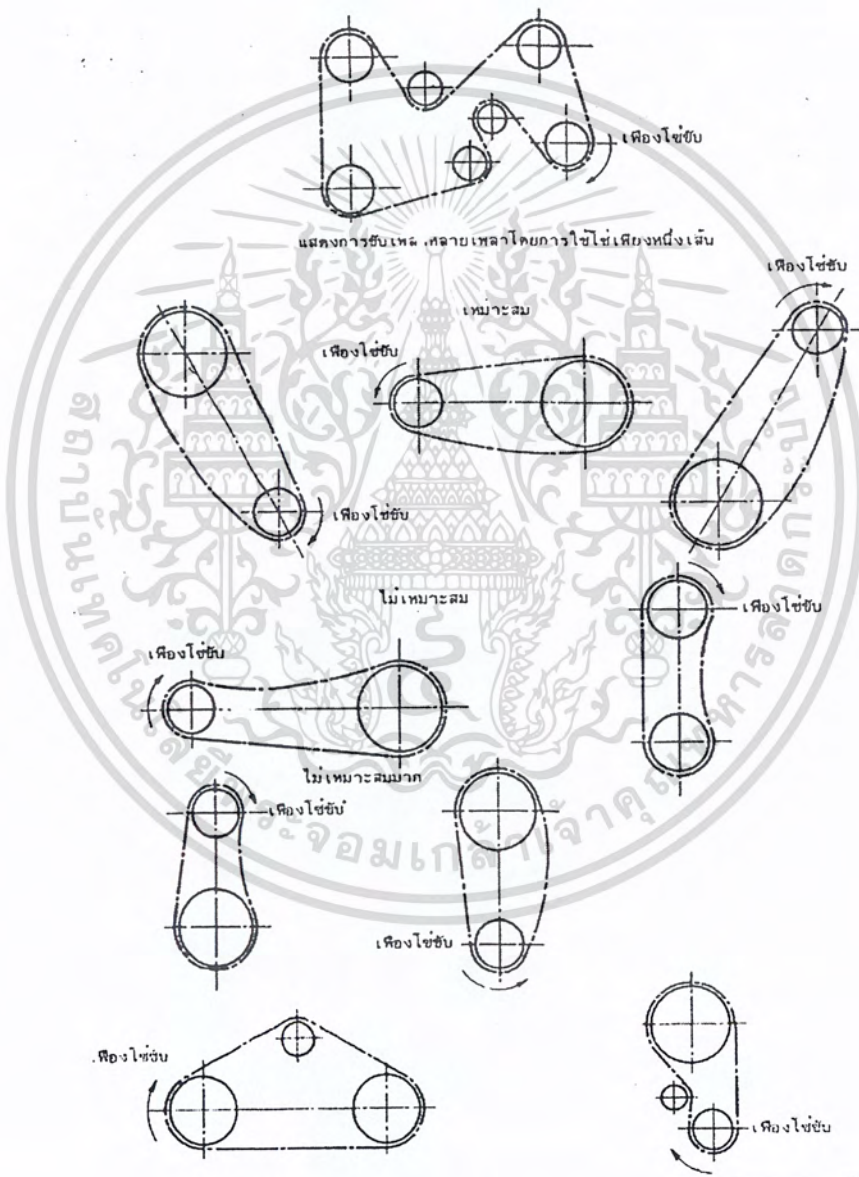
ข้อดีของการขับเคลื่อนด้วยโซ่

1. ในการติดตั้งไม่ต้องการความเที่ยงตรงกับเฟือง
2. ไม่จำเป็นต้องมีแรงดึงขึ้นต้นในโซ่ด้านดึงเหมือนกับสายพาน ทำให้อายุใช้งานของแบร์ริงที่รองรับเพลลาเพิ่มมากขึ้น
3. ไม่มีการสลิปในขณะที่ส่งกำลังเหมือนสายพาน ทำให้ได้อัตราทดที่แน่นอน
4. มีขนาดกระทัดรัดกว่าสายพาน เมื่อใช้งานด้วยอัตราทดเท่ากัน เฟืองโซ่จะมีขนาดเล็กกว่าล้อสายพานและถ้าต้องการส่งกำลังเท่ากัน ความกว้างของโซ่จะน้อยกว่าสายพาน
5. ติดตั้งง่ายกว่าสายพานเพราะเพียงแต่คล้องเข้ากับเฟืองไว้แล้วสอดสลักเข้าไปเท่านั้น
6. ใช้งานได้ดีกับอุณหภูมิสูง บริเวณที่มีความชื้นและฝุ่นละออง

ข้อเสียของการขับเคลื่อนด้วยโซ่

1. มีเสียงดัง
2. เนื่องจากความเร็วรอบสูงจะมีอันตรายนเมื่อโซ่ขาด
3. ไม่มีความอ่อนตัวในการส่งกำลัง เฟลาจะต้องขนานกัน
4. ส่งกำลังแบบครอสไดรว์ไม่ได้
5. มีราคาแพงกว่าการขับเคลื่อนด้วยสายพาน
6. ต้องมีการหล่อลื่น

3.5.1 การใช้งาน



รูปที่ 3-7 แสดงการวางเฟืองโซ่สองเฟืองที่ขับเคลื่อนกันอย่างเหมาะสมและไม่เหมาะสม
เพลลาของเฟืองโซ่อยู่ในแนวระดับ

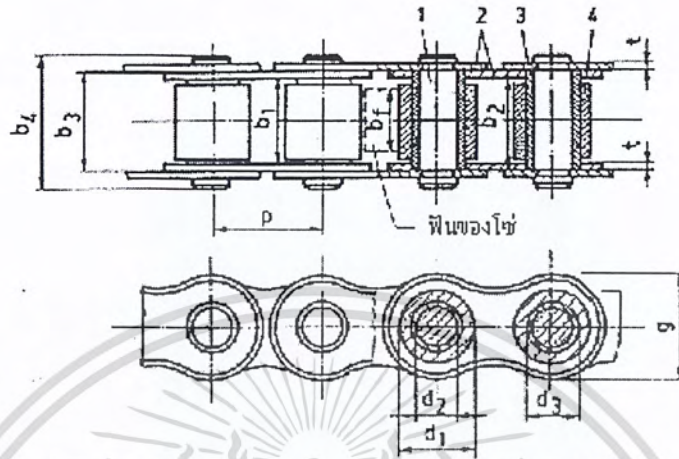
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 ชนิดของโซ่

โซ่แบ่งออกเป็นชนิดใหญ่ๆ ได้ 3 ชนิดคือ

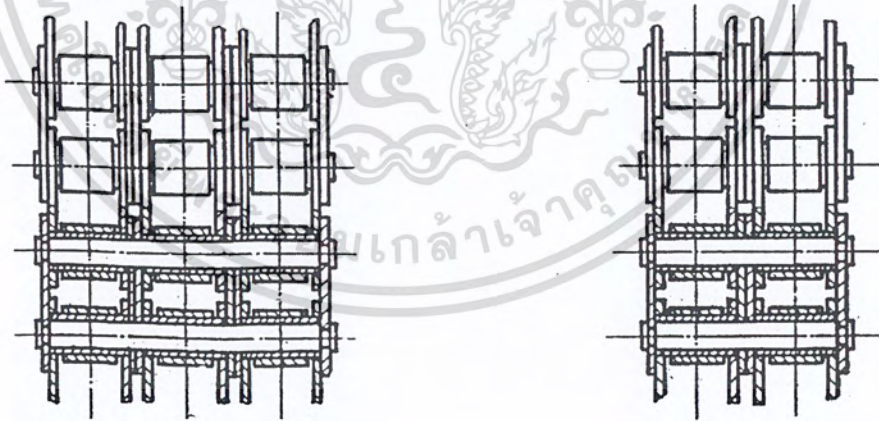
3.5.2.1 โซ่โรลเลอร์ (roller chains)

โซ่ชนิดนี้ประกอบด้วยแผ่นต่อ (link) ด้านในและด้านนอกยึดติดกันด้วยสลัก และบุช(bushes)



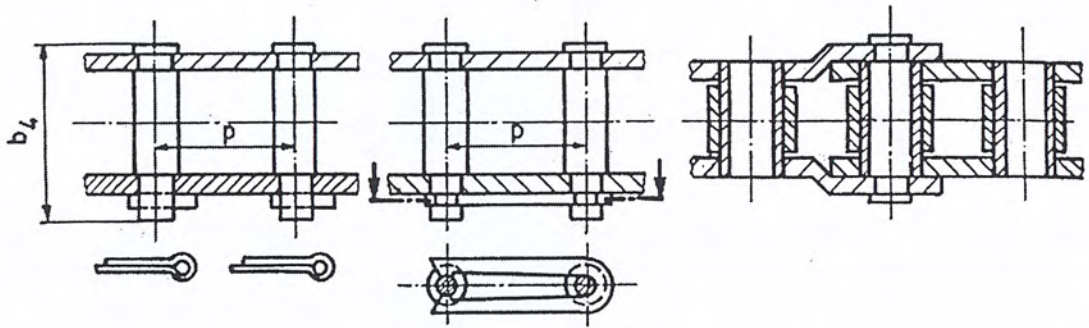
โรลเลอร์กลวงสวมอยู่กับบุชดังรูปที่ 3-6 เมื่อใช้รับแรงมากอาจใช้แบบสองชั้นและสามชั้น ดังรูปที่ 3-7

รูปที่ 3-8 โซ่โรลเลอร์ : 1 สลัก , 2 แผ่นต่อด้านนอกและด้านใน , 3 บุชที่อัดแน่นกับแผ่นต่อด้านใน , 4 โรลเลอร์หมุนได้อิสระบนบุช 3



รูปที่ 3-9 โซ่โรลเลอร์สองชั้น และสามชั้น

ที่ปลายต่อกันของโซ่ อาจใช้อุปกรณ์ในการต่อดังรูปที่ 3-8



รูปที่ 3-10 ข้อต่อสำหรับโซโรเตอร์ จากด้านซ้ายต่อด้วยคอตเตอร์พิน ต่อด้วยสปริง
รูปตัวยุ และต่อด้วยข้อต่อแบบพิเศษ

3.5.3 กำหนดหาขนาดโซ่ (โซโรเตอร์)

ในการเลือกขนาดโซ่จะต้องทราบข้อมูลดังต่อไปนี้คือ

- กำลังงานที่ต้องการส่งเป็น kW^1 (W_p)
 - ความเร็วรอบของเพลาขับและเพลาตามเป็น rpm (n_1, n_2)
 - การใช้งาน เช่น ชนิดของอุปกรณ์ขับและอุปกรณ์ที่ต้องการขับ
- จากข้อมูลดังกล่าวนี้ จึงเริ่มต้นการเลือกขนาด โซ่ตามขั้นตอนดังนี้คือ

3.5.3.1 เลือกจำนวนฟันบนพีเนียน (เฟืองขับ) จากคำแนะนำดังนี้

ความเร็วต่ำมาก	$z_{\min} = 12$
ความเร็วต่ำ	$z_{\min} = 17$
ความเร็วปานกลาง	$z_{\min} = 21$
ความเร็วสูง	$z_{\min} = 25$

สำหรับการขับเพื่อลดเพิ่มความเร็ว ให้ใช้ $z_{\min} = 23$

โดยปกติมักจะใช้จำนวนฟันของเฟืองโซ่เป็นเลขคี่ และจำนวนข้อต่อโซ่เป็นเลขคู่ เพื่อช่วยให้ความถี่ในการสัมผัสระหว่างฟันของเฟืองโซ่กับข้อต่อโซ่น้อยลง ช่วยให้โซ่มีการสึกหรอสม่ำเสมอ (เช่นเดียวกับสันทิงทุทในร่องเฟือง)

3.5.3.2 เลือกตัวประกอบ N_s จากข้อมูลดังนี้

กลุ่มที่ 1 แรงกระทำสม่ำเสมอ เช่น

- เครื่องกวาดและเครื่องผสมของเหลว กิ่งของเหลว
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- เครื่องเป่าแบบหอยโข่ง (centrifugal blower) และพัดลมขนาดเล็ก
- เครื่องอัดอากาศแบบหอยโข่ง
- อุปกรณ์ลำเลียง ลิฟท์ บันไดเลื่อน

เครื่องจักรในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องคั้น เช่น

เครื่องบรรจุขวด เครื่องบรรจุกระป๋อง

เครื่องสูบลมแบบหอยโข่ง แบบเฟือง แบบโรตารี

เครื่องพิมพ์

เครื่องจักรกลงานไม้ชนิดงานละเอียด

ตัวประกอบใช้งานในกลุ่มนี้ดูได้จากตาราง 3-10

ตารางที่ 3-10 ตัวประกอบใช้งานสำหรับแรงกระทำสม่ำเสมอ

โซ่โรลเลอร์แบบ B				โซ่โรลเลอร์แบบ A			
จำนวน ฟันบน พินเนียน	อุปกรณ์ขับ *			จำนวน ฟันบน พินเนียน	อุปกรณ์ขับ **		
	สม่ำเสมอ	กระตุก ปานกลาง	กระตุก มาก		ประเภท I	ประเภท II	ประเภท III
ใช้กับแผนภูมิรูป 3.11				ใช้กับแผนภูมิรูป 3.12			
11	1.72	2.16	2.59	11	1.41	1.41	1.69
12	1.59	1.98	2.38	12	1.28	1.28	1.54
13	1.47	1.84	2.21	13	1.19	1.19	1.43
14	1.35	1.69	2.03	14	1.10	1.10	1.32
15	1.27	1.58	1.90	15	1.00	1.00	1.20
16	1.19	1.49	1.79	16	0.93	0.93	1.11
17	1.12	1.40	1.69	17	0.86	0.86	1.03
18	1.05	1.32	1.58	18	0.81	0.81	0.98
19	1.00	1.25	1.50	ใช้กับแผนภูมิรูป 3.13			
20	0.95	1.19	1.43	19	1.00	1.00	1.20
21	0.91	1.14	1.36	20	0.93	0.93	1.12
22	0.86	1.08	1.29	21	0.88	0.88	1.06
23	0.83	1.03	1.24	22	0.84	0.84	1.01
24	0.79	0.99	1.19	23	0.80	0.80	0.96
25	0.76	0.95	1.14	24	0.75	0.78	0.93
				25	0.75	0.75	0.90

* สม่ำเสมอ : มอเตอร์ไฟฟ้า

กระตุกมาก : เครื่องยนต์หนึ่งสูบ

**ประเภท I : เครื่องยนต์ต่อผ่านไฮดรอลิคคัปปลิง

ประเภท III : เครื่องยนต์ต่อผ่านอุปกรณ์ทางกล

กระตุกปานกลาง : เครื่องยนต์หลายสูบ

ประเภท II : มอเตอร์ไฟฟ้าหรือกังหัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มที่ 2 แรงกระทำที่มีการกระตุ้นกลาง เช่น

เครื่องกวาดและเครื่องผสมของเหลวกับของแข็ง หรือของผสมที่มีความหนาแน่นเปลี่ยนแปลง

เครื่องเป่าแบบหอยโข่งความดันสูง พัดลมในงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

เครื่องมือ้วนสายเคเบิล (cable reels)

เครื่องผสมซีเมนต์

เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ที่มีลูกสูบตั้งแต่สามลูกสูบขึ้นไป

อุปกรณ์ลำเลียง และลิฟท์ ที่มีอัตราการลำเลียงไม่สม่ำเสมอ

ปั้นจั่น และรอกขนาดใหญ่

เครื่องจักรในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดัด เช่น เครื่องผสมแป้ง เครื่องบด

เครื่องหั่น

เครื่องชักผ้า

เครื่องมือกล เช่น เครื่องรีด เครื่องกลึง และเครื่องกัด

เครื่องอัด เครื่องตัด

กวน

เครื่องจักรที่ใช้ผลิตกระดาษ เช่น เครื่องผสมเยื่อกระดาษ เครื่องรีดกระดาษ

เครื่องสูบลูกสูบแบบลูกสูบ ที่มีลูกสูบตั้งแต่สามลูกสูบขึ้นไป

เตาเผาแบบหมุน (rotary kiln)

เครื่องรีดโลหะ

เครื่องทอผ้า

เครื่องจักรกลงานไม้ เช่น เครื่องเลื่อยไม้

ตัวประกอบใช้งานในกลุ่มนี้ดูได้จากตารางที่ 3-11

ตารางที่ 3-11 ตัวประกอบใช้งานสำหรับแรงกระทำที่มีการกระตุกปานกลาง

โซ่โรลเลอร์แบบ B				โซ่โรลเลอร์แบบ A			
จำนวน พินบน พินเนียน	อุปกรณ์จับ *			จำนวน พินบน พินเนียน	อุปกรณ์จับ **		
	สม้าเสมอ	กระตุก ปานกลาง	กระตุก มาก		ประเภท I	ประเภท II	ประเภท III
ใช้กับแผนภูมิรูป 3.11				ใช้กับแผนภูมิรูป 3.12			
11	2.16	2.59	3.02	11	1.69	1.83	1.97
12	1.95	2.38	2.78	12	1.54	1.67	1.79
13	1.84	2.21	2.57	13	1.43	1.55	1.67
14	1.69	2.03	2.36	14	1.32	1.43	1.54
15	1.58	1.90	2.22	15	1.20	1.30	1.40
16	1.49	1.79	2.08	16	1.11	1.20	1.30
17	1.40	1.69	1.97	17	1.03	1.12	1.21
18	1.32	1.58	1.84	18	0.98	1.06	1.14
19	1.25	1.50	1.75	ใช้กับแผนภูมิรูป 3.13			
20	1.19	1.43	1.67	19	1.20	1.30	1.40
21	1.14	1.36	1.59	20	1.12	1.21	1.31
22	1.08	1.29	1.51	21	1.06	1.15	1.24
23	1.03	1.24	1.45	22	1.01	1.09	1.18
24	0.99	1.19	1.39	23	0.96	1.04	1.12
25	0.95	1.14	1.33	24	0.93	1.01	1.09
				25	0.90	0.97	1.04

* และ ** มีความหมายเช่นเดียวกับในตาราง 3-11

กลุ่มที่ 3 แรงกระทำที่มีการกระตุกมาก เช่น

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่น เครื่องเชื่อมไฟฟ้า

เครื่องเป่าและพัดลมแบบ positive displacement

เครื่องผลิตก้อนอิฐ

เครื่องจักรกลในโรงงานน้ำตาล

เครื่องยกกรร และลากรร

เครื่องบดซีเมนต์

เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ที่มีลูกสูบหนึ่งหรือสองลูกสูบ

อุปกรณ์ลำเลียง ลิฟท์ แบบเลื่อนไปกลับ และแบบเขย่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องบดหิน
 เครื่องขุด และเครื่องตักดิน
 เครื่องมือกล เช่น เครื่องไถ
 เครื่องจักรกลในเหมืองแร่
 เครื่องสูบน้ำมัน
 เครื่องผลิตกระดาษ เช่น เครื่องบด เชือกกระดาษ
 เครื่องบดถ่านหิน
 เครื่องรีดโลหะ

ตารางที่ 3-12 ตัวประกอบใช้งานสำหรับแรงกระทำที่มีการกระตุกมาก

โซ่โรลเลอร์แบบ B				โซ่โรลเลอร์แบบ A			
จำนวน ฟันบน พินเนียน	อุปกรณ์ขับ *			จำนวน ฟันบน พินเนียน	อุปกรณ์ขับ **		
	สม่ำเสมอ	กระตุก ปานกลาง	กระตุก มาก		ประเภท I	ประเภท II	ประเภท III
ใช้กับแผนภูมิรูป 3.11				ใช้กับแผนภูมิรูป 3.12			
11	3.02	3.45	3.88	11	1.97	2.11	2.39
12	2.78	3.17	3.57	12	1.79	1.92	2.18
13	2.57	2.94	3.31	13	1.67	1.79	2.02
14	2.36	2.70	3.04	14	1.54	1.65	1.87
15	2.22	2.53	2.85	15	1.40	1.50	1.70
16	2.08	2.38	2.68	16	1.30	1.39	1.57
17	1.97	2.25	2.53	17	1.21	1.29	1.47
18	1.84	2.11	2.37	18	1.14	1.22	1.38
19	1.75	2.00	2.25	ใช้กับแผนภูมิรูป 3-13			
20	1.67	1.90	2.14	19	1.40	1.50	1.70
21	1.59	1.82	2.05	20	1.31	1.40	1.59
22	1.51	1.72	1.94	21	1.24	1.33	1.50
23	1.45	1.65	1.86	22	1.18	1.26	1.43
24	1.39	1.59	1.79	23	1.12	1.20	1.36
25	1.33	1.52	1.70	24	1.09	1.16	1.32
				25	1.04	1.12	1.27

* และ ** มีความหมายเช่นเดียวกับในตาราง 3-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3.3 จำนวนอัตราทดที่ต้องการได้จาก

$$M_w = \frac{\text{ความเร็วรอบเพลารอบสูง}}{\text{ความเร็วรอบเพลารอบต่ำ}} = \frac{n_1}{n_2} \quad (3.18)$$

3.5.3.4 จำนวนฟันบนเฟืองโซ่

$$Z = Z_{\text{พินเนียน}}(M_w) \quad (3.19)$$

เลือกใช้เฟืองโซ่จากตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 3-13 จำนวนฟันของเฟืองโซ่

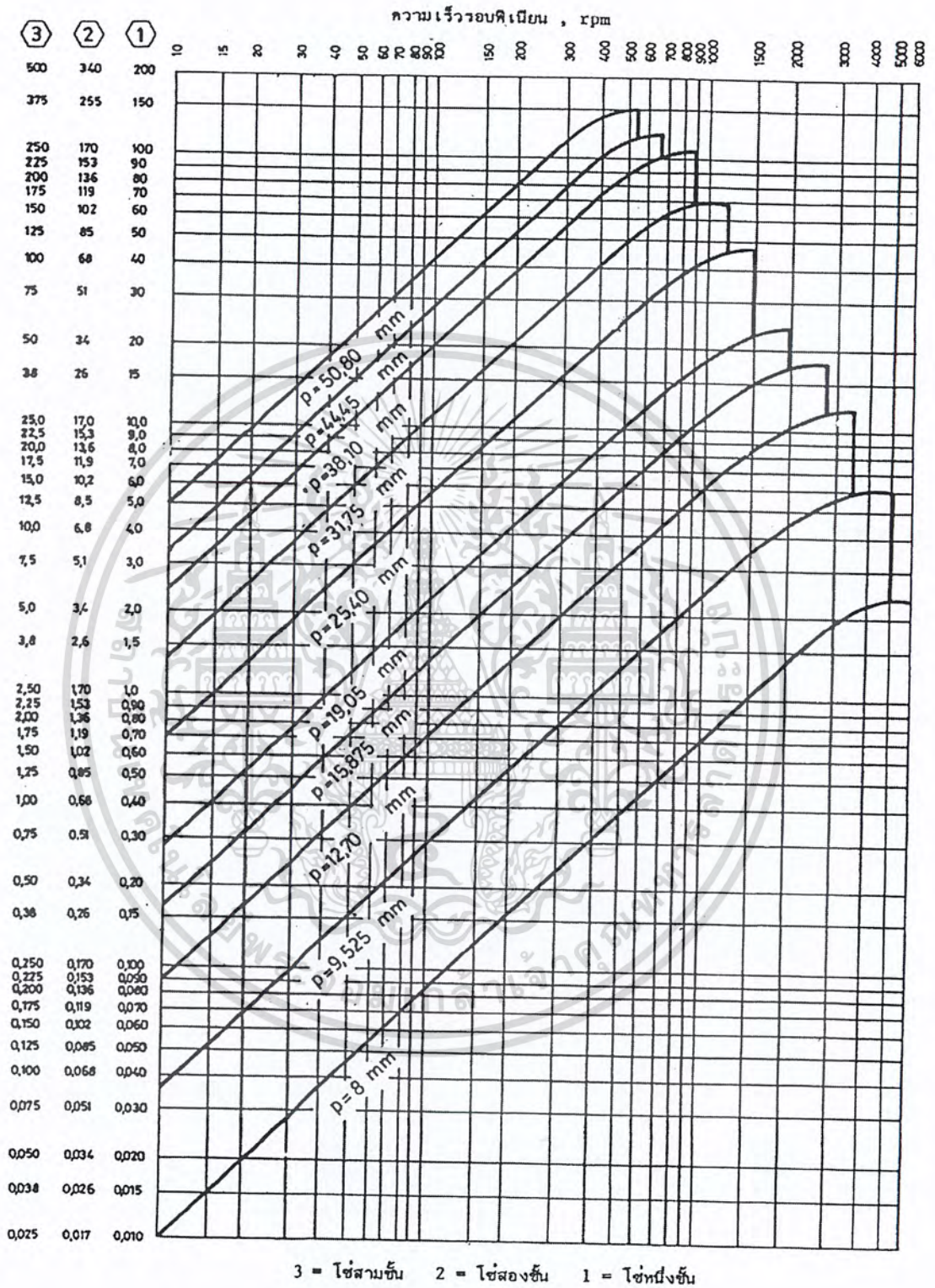
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	23
25	27	30	38	57	76	95	114	150			

3.5.3.5 กำลังที่เลือกใช้โซ่

$$P = W_p \cdot N_s \quad (3.20)$$

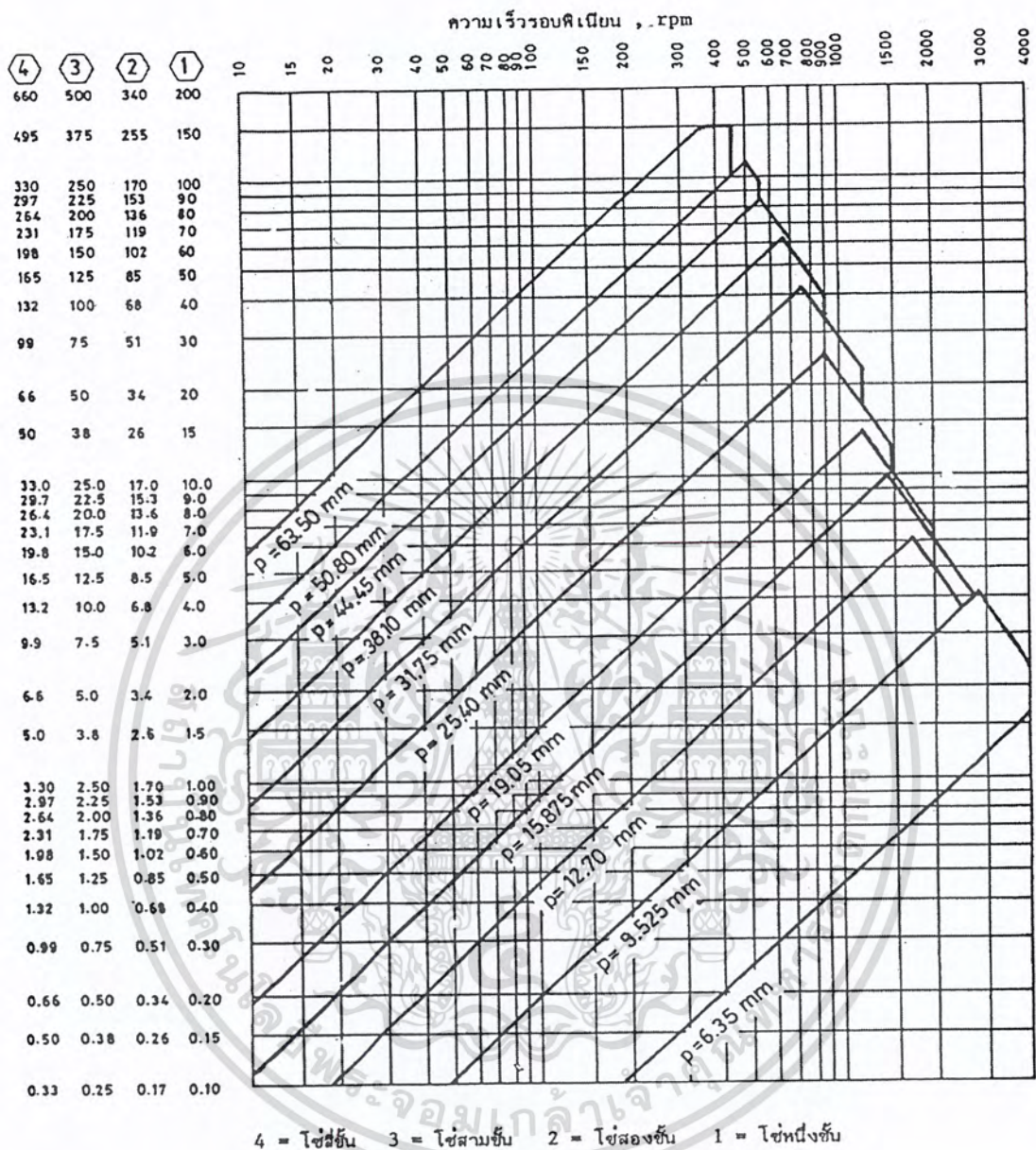
3.5.3.6 เลือกขนาดโซ่โดยพิจารณาจากค่า n พินเนียน และ p โดยดูจากแผนภูมิต่อไปนี้





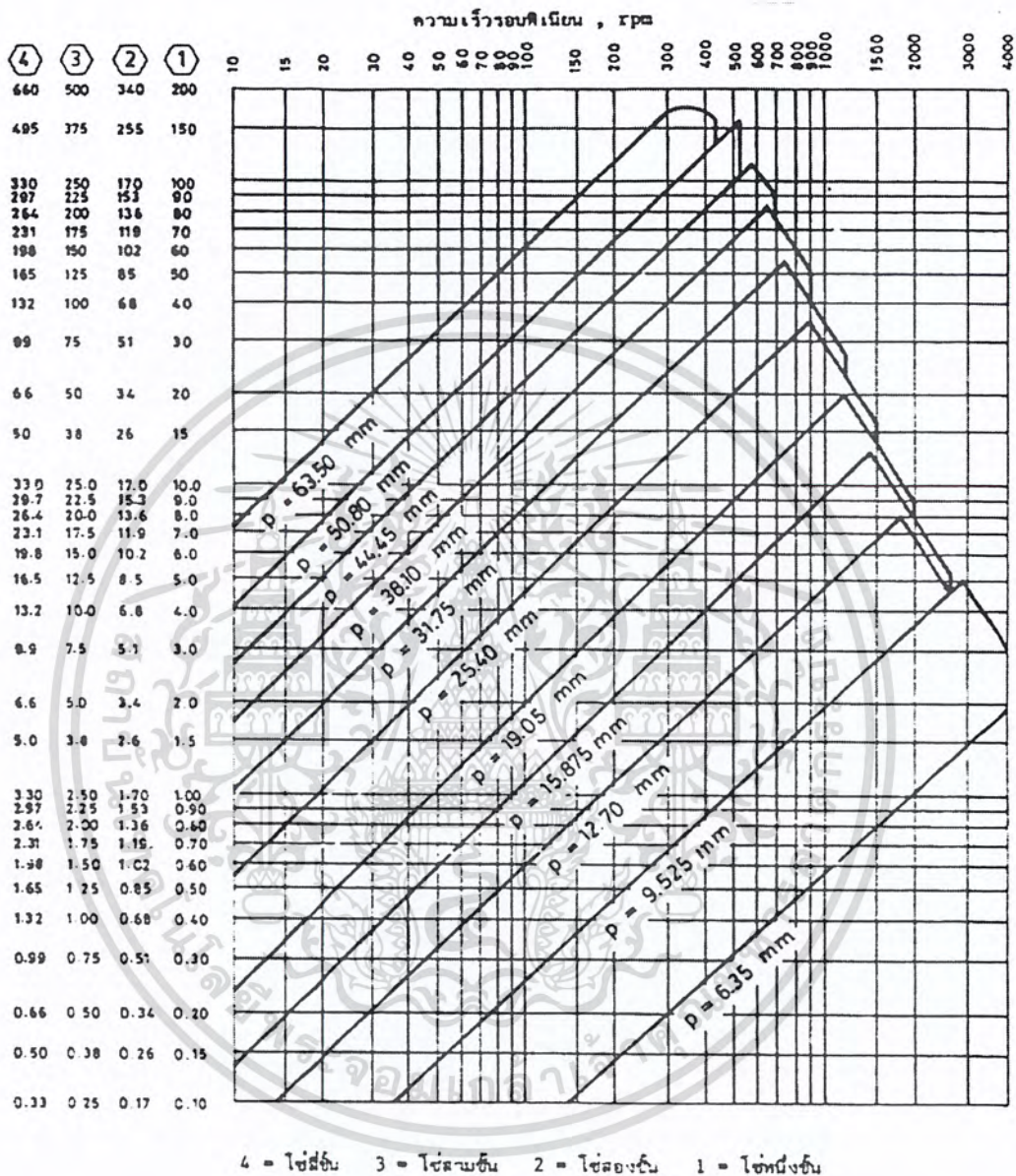
รูปที่ 3-11 แผนภูมิที่ใช้เลือกไซโรลเลอร์แบบ B (สำหรับพินเนียน 19 พิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-12 แผนภูมิที่ใช้เลือกโซ่โรลเลอร์แบบ A (สำหรับพินเนียน 15 ฟัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-13 แผนภูมิที่ใช้เลือกโซโรลเลอร์แบบ A (สำหรับพิเนียน 19 ฟัน)

เมื่อเลือกโซ่ที่มีระยะพิตช์ ตามที่ต้องการได้แล้ว นำระยะพิตช์มาหาซื้อตามมาตรฐานและแรงแตกหักได้จากตารางข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-14 โซโรลเลอร์ตามมาตรฐาน ISO/R 606 – 1976 (E)

ขนาดเป็น mm

โซ่ ISO	พิตช์ p	d ₁ max	d ₁ min	d ₂ max	d ₂ min	แรงแตกหัก kN		
						หนึ่งชั้น	สองชั้น	สามชั้น
05B	8.00	5.00	3.00	2.31	4.90	4.51	7.85	11.18
06B	9.525	6.35	5.72	3.28	8.66	8.93	16.97	24.92
08A	12.70	7.95	7.95	3.96	11.31	13.83	27.66	41.50
08B	12.70	8.51	7.75	4.45	11.43	17.85	31.20	44.54
10A	15.875	10.16	9.53	5.08	13.97	21.78	43.56	65.33
10B	15.875	10.16	9.65	5.08	13.41	22.27	44.54	66.81
12A	19.05	11.91	12.70	5.94	17.88	31.20	62.39	93.59
12B	19.05	12.07	11.68	5.72	15.75	28.94	57.88	86.82
16A	25.40	15.88	15.88	7.92	22.74	55.62	111.25	1662.87
16B	25.40	15.88	17.02	8.28	25.58	42.28	84.56	126.84
20A	31.75	19.05	19.05	9.53	27.59	56.82	173.64	260.46
20B	31.75	19.05	19.56	10.19	29.14	64.55	129.10	193.65
24A	38.10	22.23	25.40	11.10	35.59	124.59	249.17	373.76
24B	38.10	25.40	25.40	14.63	38.05	97.90	195.81	293.71
28A	44.45	25.40	25.40	42.70	37.32	169.12	338.25	507.37
28B	44.45	27.94	30.99	15.90	46.71	129.10	258.20	387.30
32A	50.80	28.58	31.75	14.27	45.34	222.49	444.98	667.47
32B	50.80	29.21	30.99	17.81	45.70	169.12	338.25	507.37
40A	63.50	39.68	38.10	19.84	55.02	347.08	694.16	1041.23
40B	63.50	39.37	38.10	22.89	55.88	262.61	525.23	787.84
48A	76.20	47.63	47.63	23.80	67.95	500.60	1001.21	1501.81
48B	76.20	48.26	45.72	29.24	70.69	400.54	800.99	1201.43
56B	88.90	53.98	53.34	34.32	81.46	542.89	1085.77	-
64B	101.60	63.50	60.69	39.40	92.15	712.01	1423.92	-
72B	114.30	72.39	68.58	44.48	103.94	898.89	1797.78	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงของโซ่

$$\text{ความเร็วโซ่} \quad V = pzn \quad (3.21)$$

จากสมการแรงในแนวสัมผัสได้

$$F_t = W_p \quad (3.22)$$

จากสมการแรงหนีศูนย์กลางในแนวรัศมี

$$F_{ct} = \frac{W}{9} V^2 \quad (3.23)$$

โดยค่า $\frac{W}{9}$ ดูได้จากตารางด้านล่างนี้

ตารางที่ 3-15 มวลของโซ่โรลเลอร์ต่อความยาว

โซ่ ISO	มวลของโซ่ , kg/m			โซ่ ISO	มวลของโซ่ , kg/m			
	หนึ่งชั้น	สองชั้น	สามชั้น		หนึ่งชั้น	สองชั้น	สามชั้น	สี่ชั้น
06B	0.39	0.74	1.10	06A	0.33	0.65	0.98	
08B	0.68	1.34	1.99	08A	0.61	1.22	1.83	2.44
10B	0.85	1.70	2.55	10A	0.98	1.96	2.95	3.93
12B	1.16	2.31	3.45	12A	1.59	3.05	4.54	6.10
16B	2.70	5.42	8.13	16A	2.50	5.00	7.50	10.00
20B	3.70	7.40	11.10	20A	3.68	7.35	11.03	14.70
24B	6.70	13.75	20.75	24A	5.54	11.07	16.61	22.14
28B	8.25	16.80	25.40	28A	7.52	15.00	22.60	30.10
32B	9.22	18.45	27.67	32A	9.67	19.34	29.02	38.69
40B	15.48	31.55	47.62	40A	15.48	30.95	46.43	61.90
48B	24.71	50.00	75.45	48A				
56B	33.20	67.60		56A				
64B	44.64	89.29		64A				
72B	59.50			72A				

$$\text{แรงดึงในโซ่} \quad F_o = F_t + F_{ct} \quad (3.24)$$

3.5.3.7 สมการค่าความปลอดภัย

$$N_b = \frac{F_b}{F} \quad (3.25)$$

F_b = แรงดักหักงอที่สุดของโซ่ (จากตารางโซ่โรลเลอร์มาตรฐาน)

N_b = ค่าความปลอดภัย (ควรมีค่าระหว่าง 7 ถึง 15)

3.5.3.8 หาจำนวนข้อโซ่ จากสมการ

$$x = \frac{2C}{p} + \frac{Z+z}{2} + \left(\frac{Z-z}{2\pi} \right)^2 \frac{P}{C} \quad (3.26)$$

โดยที่

x = จำนวนข้อโซ่หรือจำนวนพิตช์ของโซ่ (ต้องเป็นเลขคู่)

C = ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเฟืองโซ่

p = ระยะพิตช์ของโซ่

z = จำนวนฟันบนพินเนียน

Z = จำนวนฟันบนเฟืองโซ่

โดยดูค่าจาก ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเฟืองโซ่จากตารางข้างล่าง

ตารางที่ 3-16 ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเฟืองโซ่, C

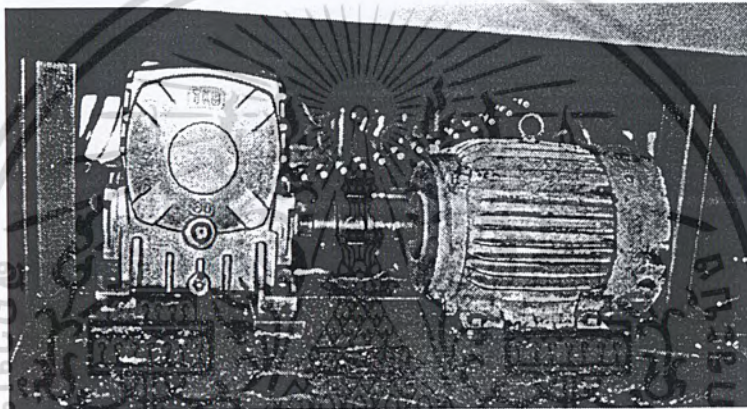
ระยะพิตช์ mm	ระยะห่างระหว่าง ศูนย์กลาง, mm	ระยะพิตช์ mm	ระยะห่างระหว่าง ศูนย์กลาง, mm
9.525	450	38.10	1350
12.70	600	44.45	1500
15.875	750	50.80	1700
19.05	900	63.50	1800
25.40	1000	76.20	2000
31.75	1200		

เมื่อได้จำนวนข้อโซ่แล้ว (ควรทำให้เป็นเลขคู่) นำจำนวนข้อโซ่ที่ได้มาคำนวณหาระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเฟืองโซ่ C ที่แท้จริงจากสมการ

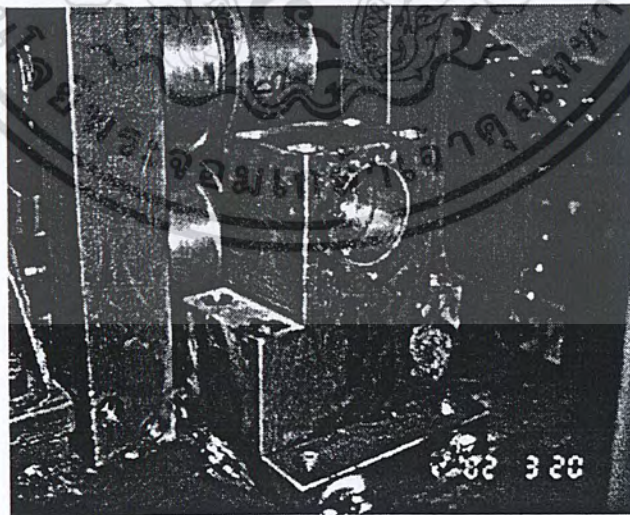
$$C = \frac{P}{C} \left(x - \frac{Z-z}{2} + \sqrt{\left\{ x - \frac{Z-z}{2} \right\}^2 - 2 \left\{ \frac{Z-z}{\pi} \right\}^2} \right) \quad (3.27)$$

3.6 มอเตอร์และชุดทด

เราเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า (2.238 กิโลวัตต์) มีความเร็วรอบ 1450 rpm เป็นตัวต้นกำเนิดกำลังงานและใช้ชุดทดเฟืองหนอนที่มีอัตราทด 1:60 ในการลดความเร็วรอบที่มาจากมอเตอร์ให้มีความเร็วรอบที่ลดลง

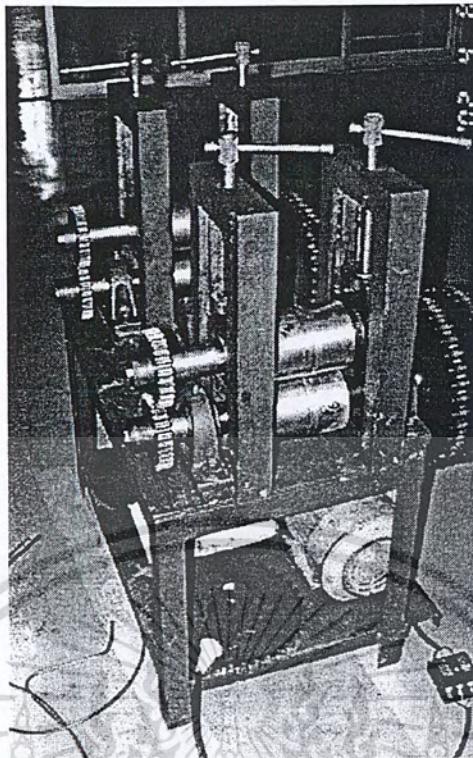


รูปที่ 3-14 มอเตอร์และชุดทด

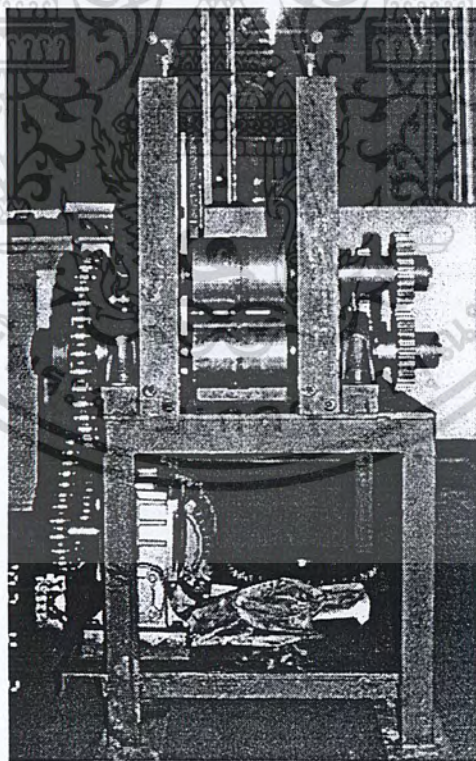


รูปที่ 3-15 แสดงชุดลดขนาดเหล็กเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

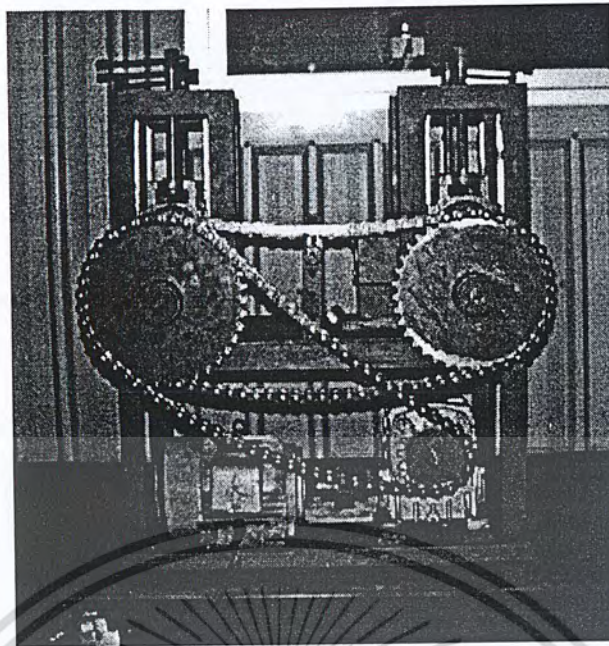


รูปที่ 3-16 เครื่องดึงลดขนาดเหล็กเส้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (ด้านทางเข้าเหล็ก)

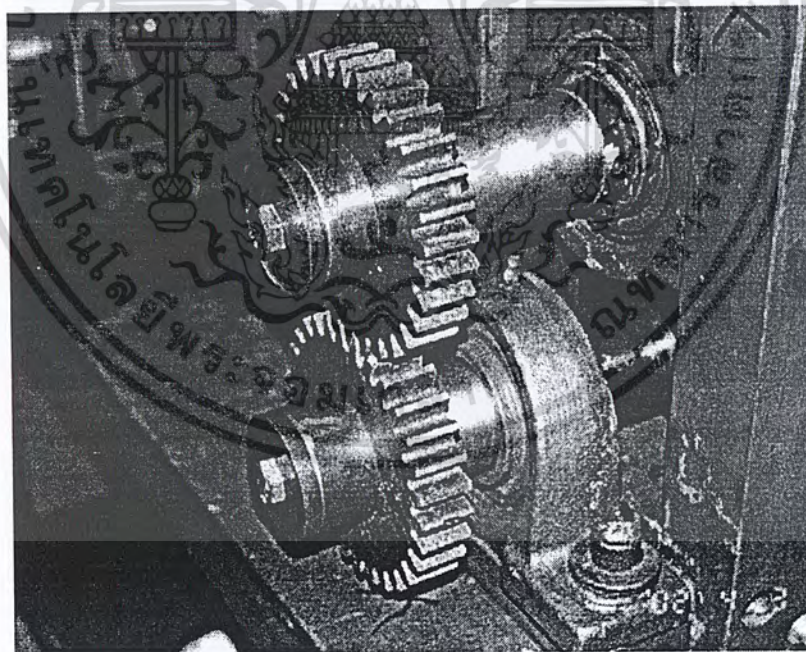


รูปที่ 3-17 เครื่องดึงลดขนาดเหล็กเส้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (ด้านทางออกเหล็ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-18 การส่งกำลังด้วยโซ่และเฟืองโซ่



รูปที่ 3-19 แสดงเฟืองที่ทำให้ โรตเตอร์ตัวบนและตัวล่างขับไปด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง

4.1 วิธีการทดลอง

4.1.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเหล็กที่เปลี่ยนไประหว่างความเร็วการป้อนเหล็กกับค่าความ
เกิน

4.1.1.1 นำชิ้นงานทดสอบมาดัดจนขนาดพื้นที่หน้าตัด โดยดึงผ่านคายที่มีความเร็วต่างๆ

4.1.1.2 นำชิ้นงานที่ผ่านการดัดจนขนาดมาทดสอบหาค่าคุณสมบัติที่เปลี่ยนไปโดยใช้
เครื่อง Universal Testing Machine (UTM)

4.1.1.3 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ

4.1.1.4 เปลี่ยนขนาดคายแล้วทำตามขั้นตอนเดิม

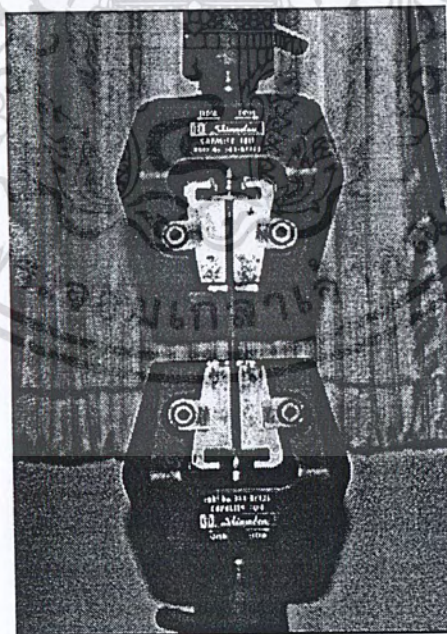
4.1.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเหล็กเมื่อเหล็กถูกดัดที่ขนาดต่างๆกับค่าความเกิน

4.1.2.1 นำชิ้นงานทดสอบมาดัดจนขนาดพื้นที่หน้าตัด โดยใช้คายขนาดต่างๆ

4.1.2.2 นำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบมาหาค่าคุณสมบัติที่เปลี่ยนไปโดยใช้เครื่อง UTM

4.1.2.3 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ

4.1.2.4 เปลี่ยนขนาดคายแล้วทำตามขั้นตอนเดิม



รูปที่ 4-1 แสดงการจับชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบ

4.2 ผลการทดลอง

Test : Diameter 5.9 mm.

Test Type : Tensile

Test Speed : 001.00 mm/min

Sample Length : 020.0 mm

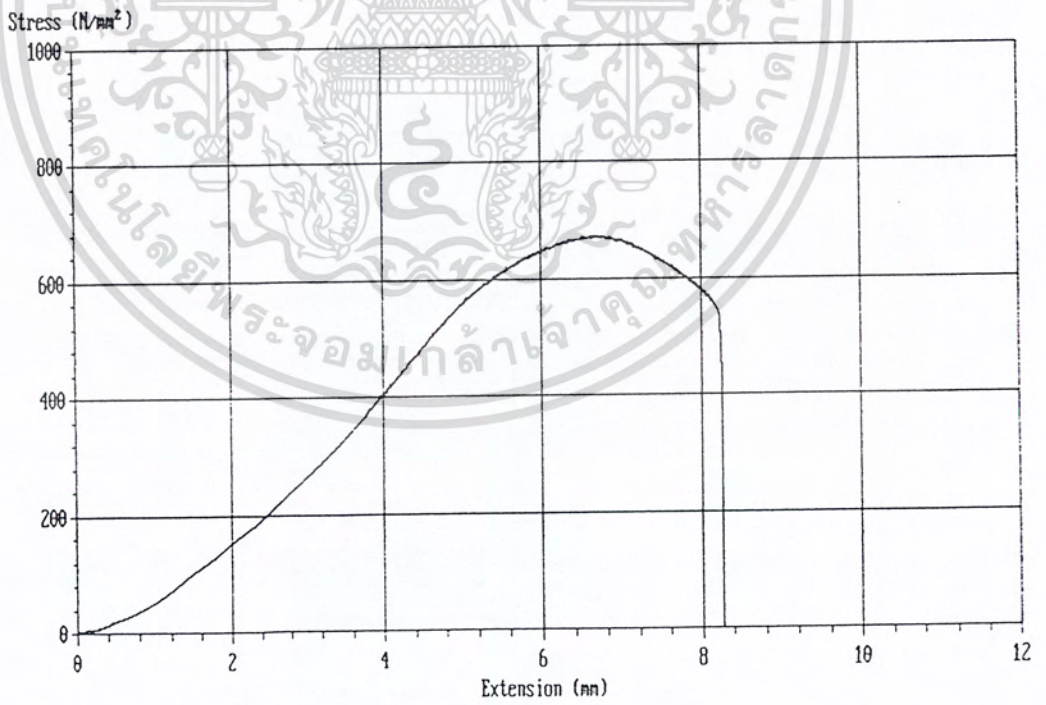
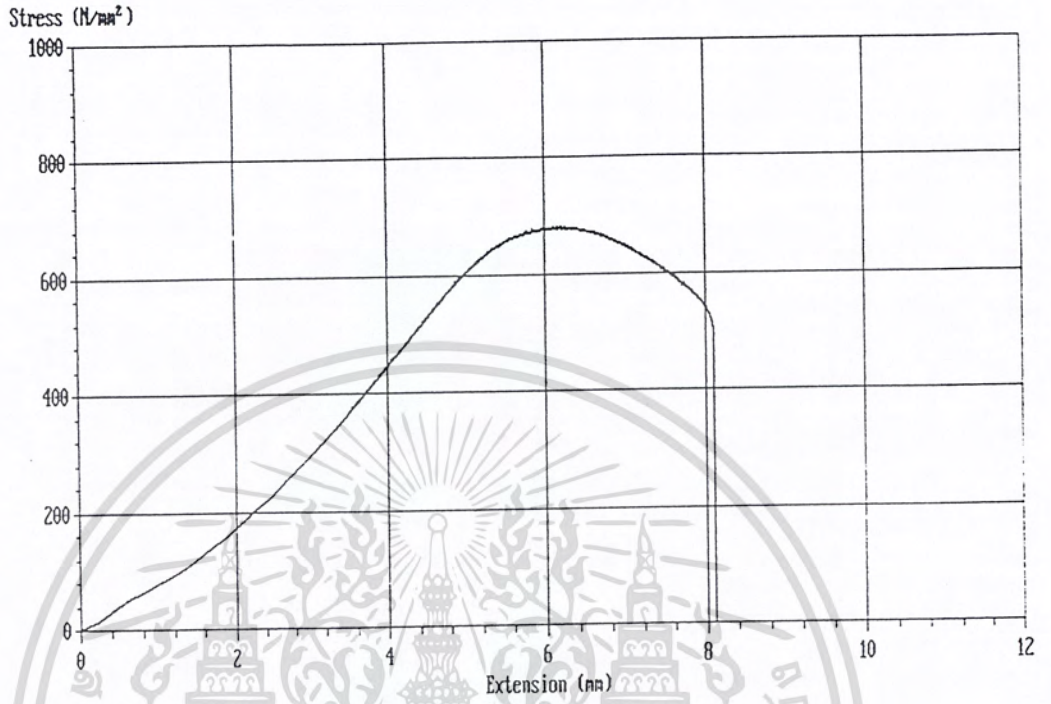
Sample Type : CIRCULAR

ตารางที่ 4-1 แสดงผลการทดลองที่ Die ขนาด 5.9 มิลลิเมตร

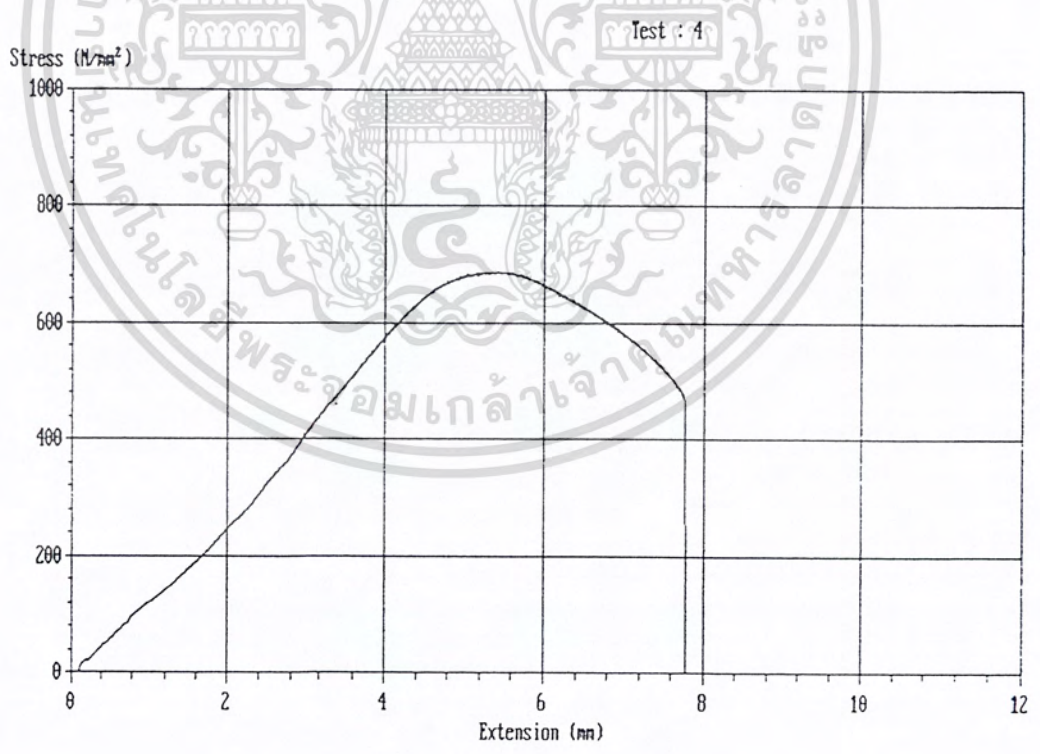
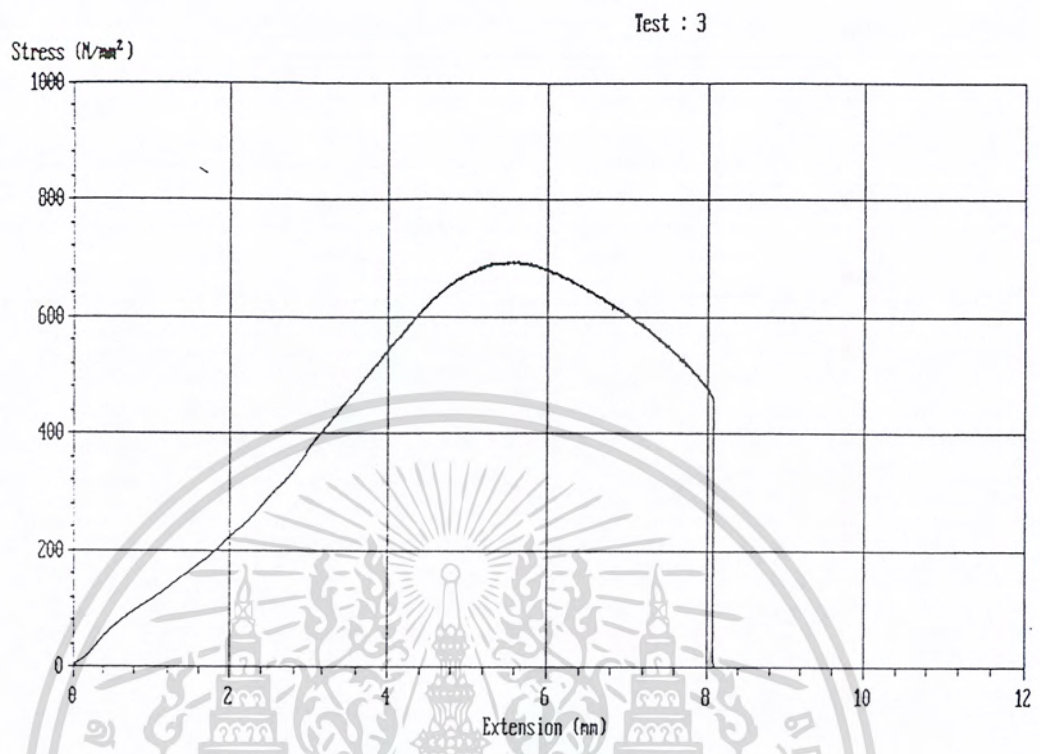
Test No.	V (mm/min)	Load Peak (kN)	Elong Peak (mm)	Stress Peak (N/mm ²)	Strain Peak (%)	Load Yield (kN)	Elong Yield (mm)	Stress Yield (N/mm ²)	Strain Yield (%)
1	10	18.67	6.193	682.89	30.965	3.85	1.708	140.82	8.54
2	20	18.41	6.837	673.38	34.185	3.793	1.878	138.74	9.39
3	30	18.99	5.57	694.59	27.85	3.848	1.262	140.75	6.31
4	40	18.85	5.431	689.47	27.155	3.917	1.232	143.27	6.16
5	50	19.05	4.941	696.79	24.705	4.018	1.093	146.97	5.465
6	60	19.37	5.182	708.49	25.91	3.89	1.148	142.28	5.74
7	70	19.68	4.558	719.83	22.79	4.739	1.168	173.34	5.84
8	80	19.72	5.442	721.3	27.21	4.476	1.543	163.72	7.715
9	90	19	5.09	694.96	25.45	4.359	1.192	159.44	5.96
10	100	18.75	5.014	685.82	25.07	3.787	1.141	138.52	5.705

รูปที่ 4-2 แสดงกราฟที่ได้จากการทดลองทั้งหมดที่ Die ขนาด 5.9 มม.

Test : 1

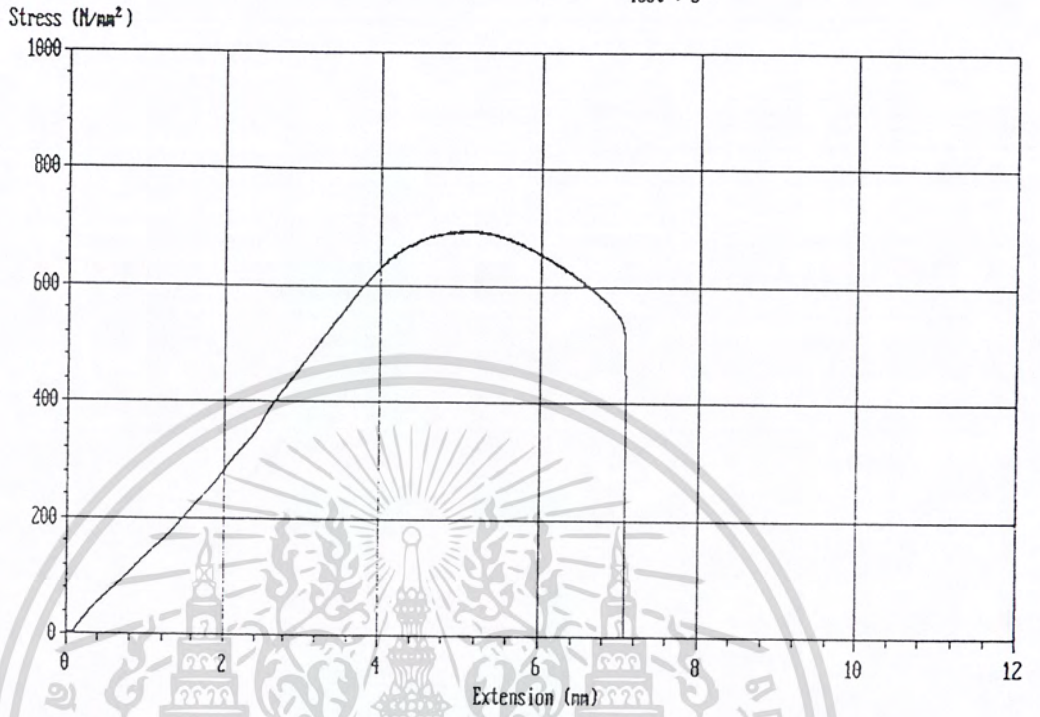


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

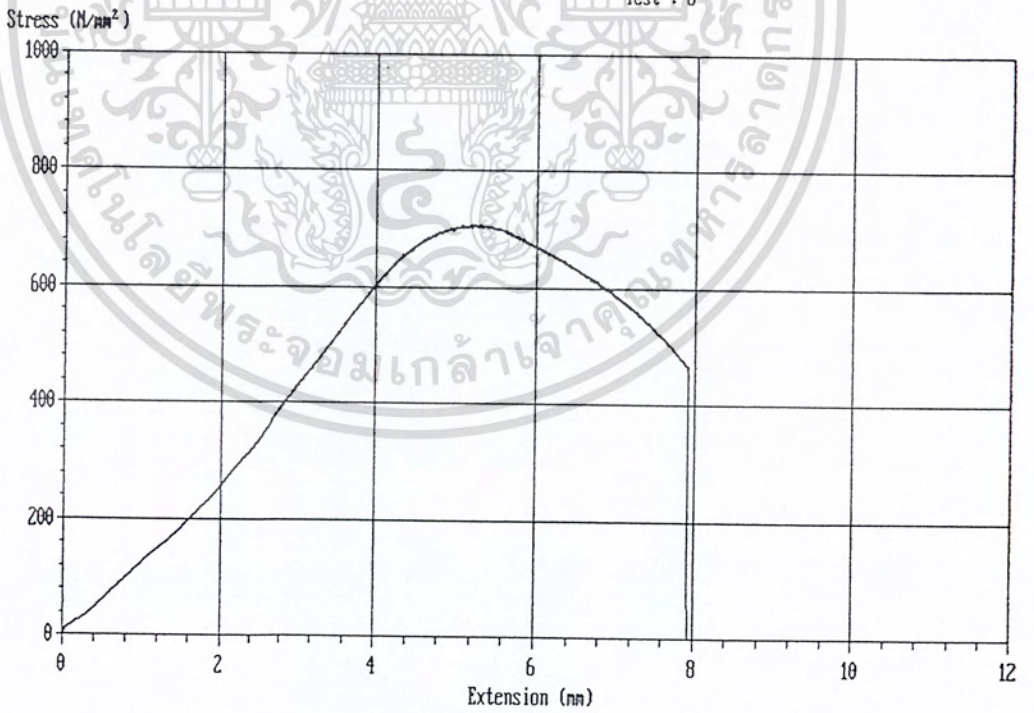


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test : 5

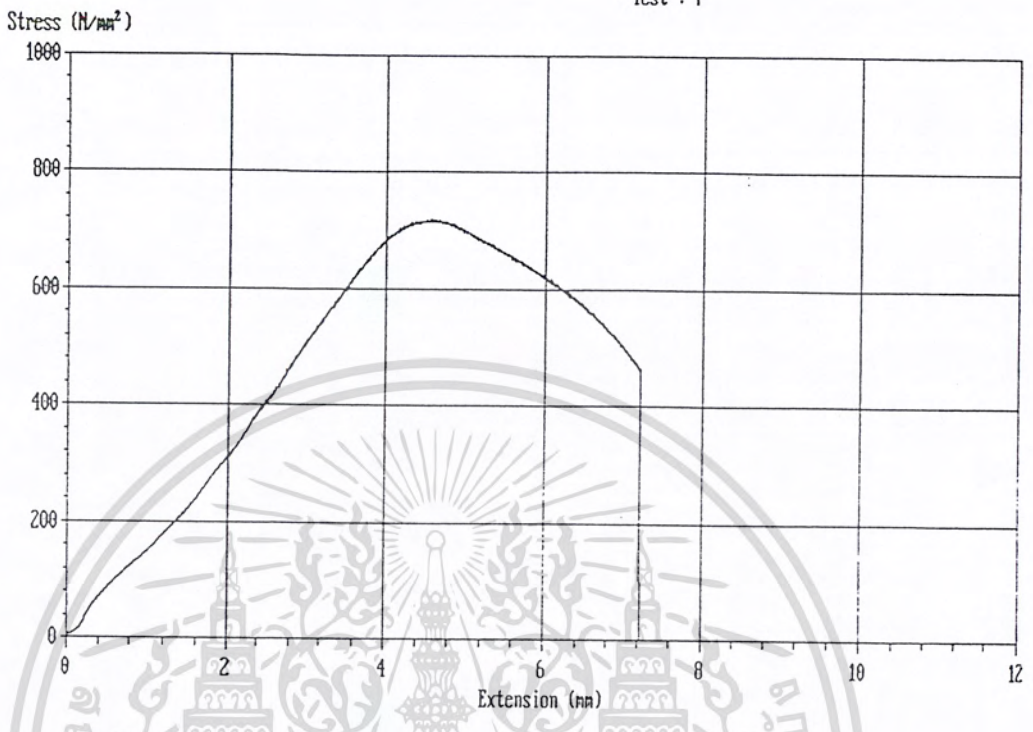


Test : 6

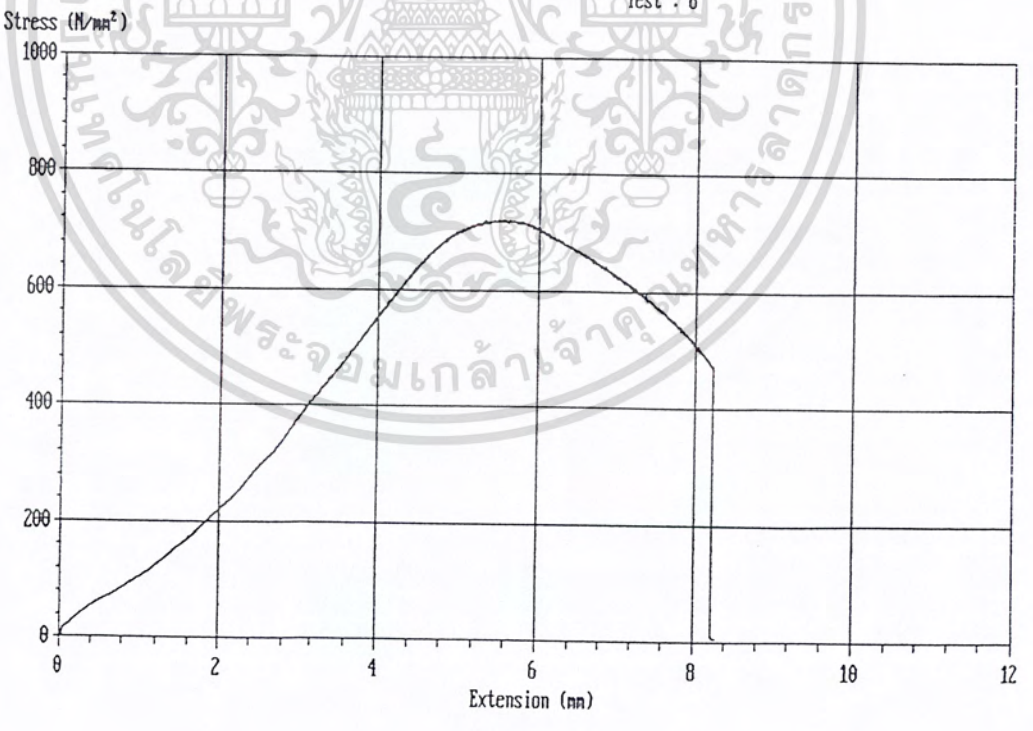


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test : 7

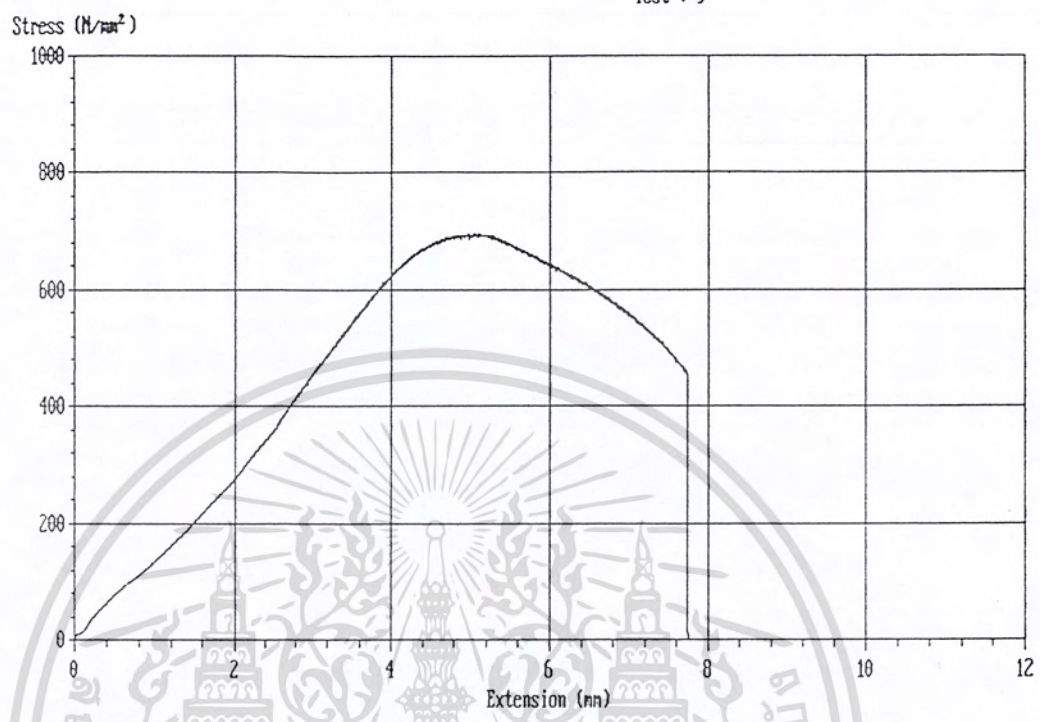


Test : 8

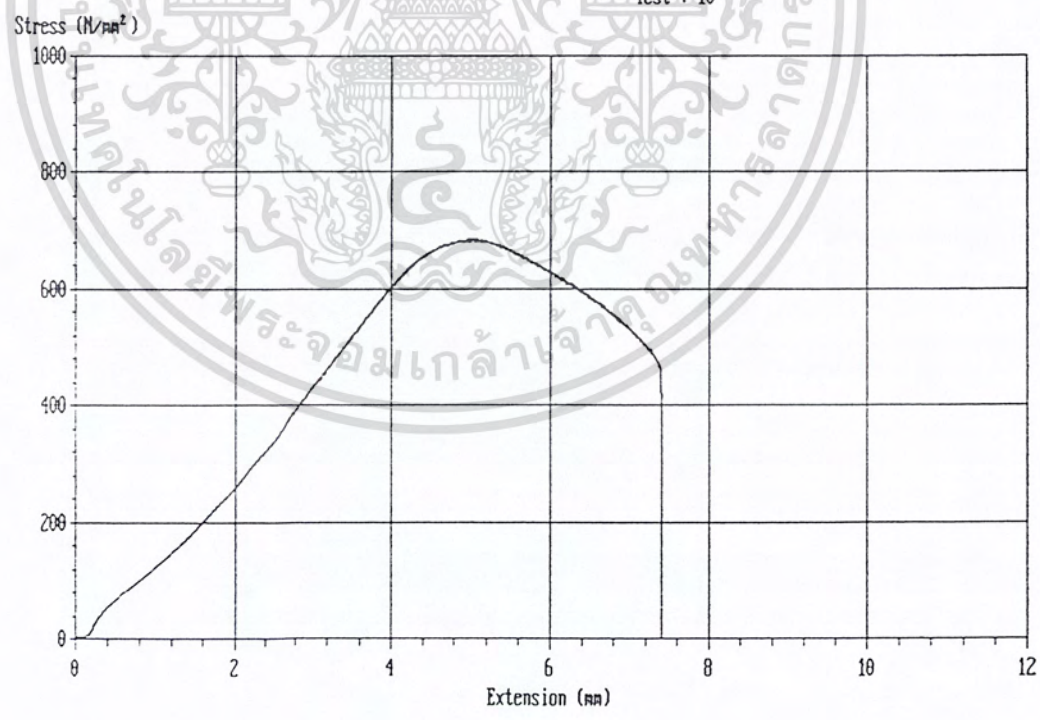


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test : 9



Test : 10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test : Diameter 5.7 mm.

Test Type : Tensile

Test Speed : 001.00 mm/min

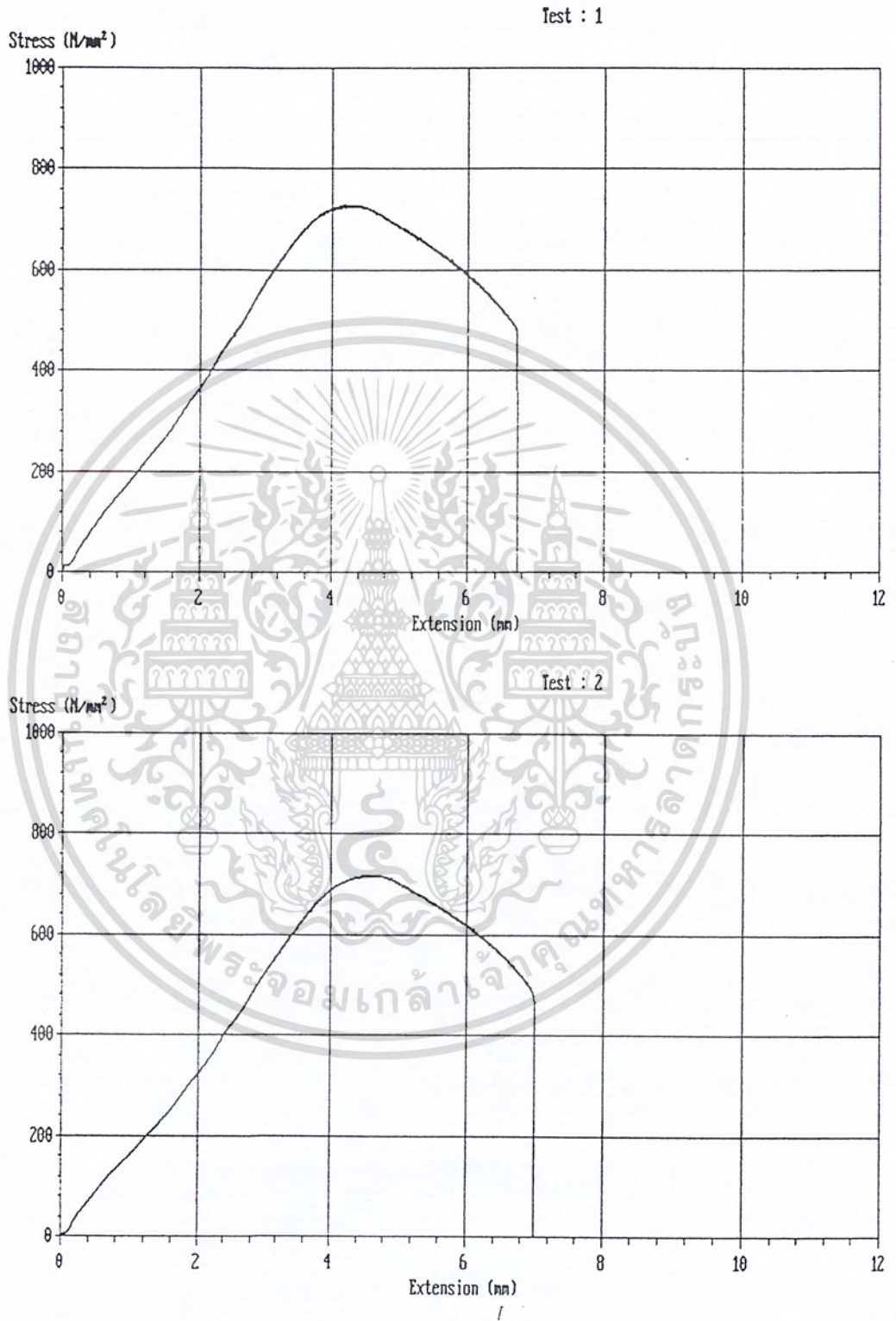
Sample Length : 020.0 mm

Sample Type : CIRCULAR

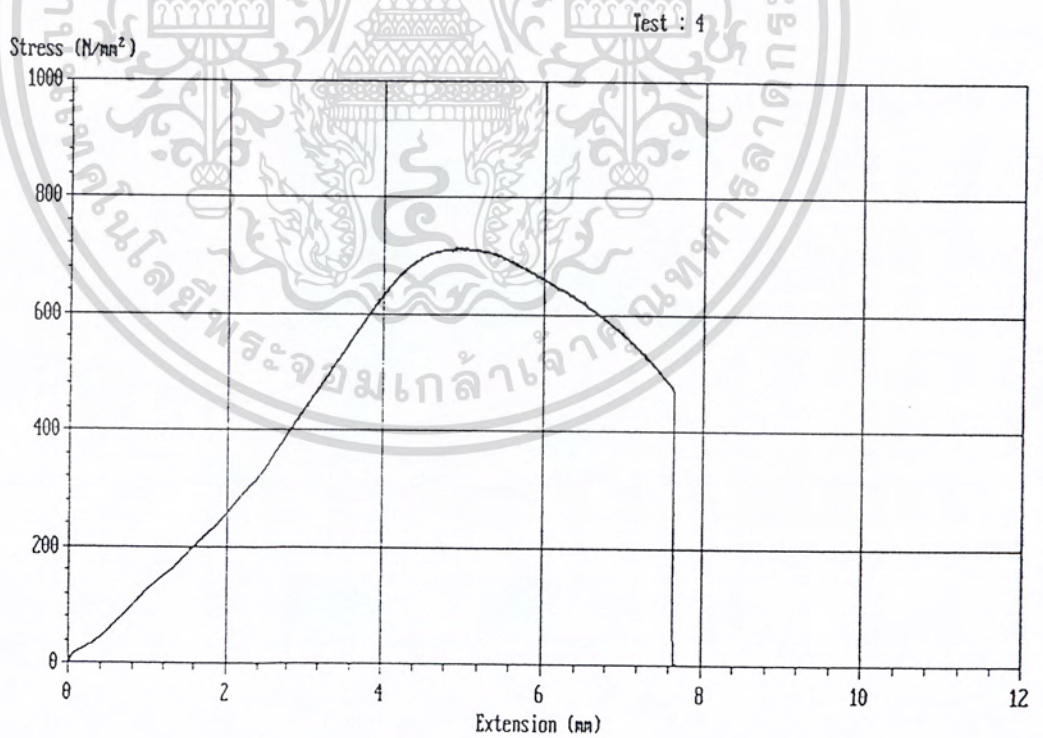
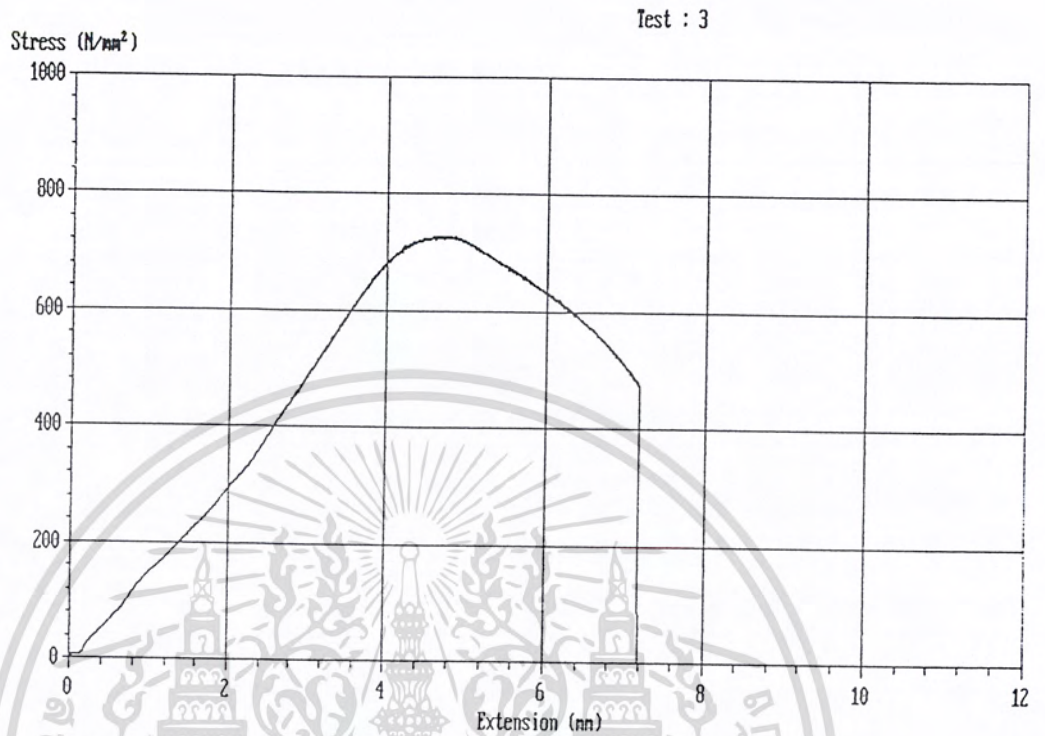
ตารางที่ 4-2 แสดงผลการทดลองที่ Die ขนาด 5.7 มิลลิเมตร

Test No.	V (mm/min)	Load Peak (kN)	Elong Peak (mm)	Stress Peak (N/mm ²)	Strain Peak (%)	Load Yield (kN)	Elong Yield (mm)	Stress Yield (N/mm ²)	Strain Yield (%)
1	10	18.63	4.158	730.08	20.79	4.296	0.906	168.35	4.53
2	20	18.32	4.556	717.94	22.78	3.73	0.883	146.17	4.415
3	30	18.58	4.732	728.13	23.66	4.264	1.139	167.1	5.695
4	40	18.21	4.952	713.63	24.76	3.669	1.142	143.78	5.71
5	50	18.18	4.629	712.45	23.145	4.154	1.132	162.79	5.66
6	60	18.64	4.569	730.48	22.845	3.804	0.915	149.07	4.575
7	70	18.36	4.378	719.5	21.89	3.825	0.97	149.9	4.85
8	80	18.56	4.405	727.34	22.025	3.811	0.977	149.35	4.885
9	90	18.42	4.801	721.86	24.005	4.269	1.187	167.3	5.935
10	100	18.47	5.373	723.81	26.865	3.708	1.187	145.31	5.935

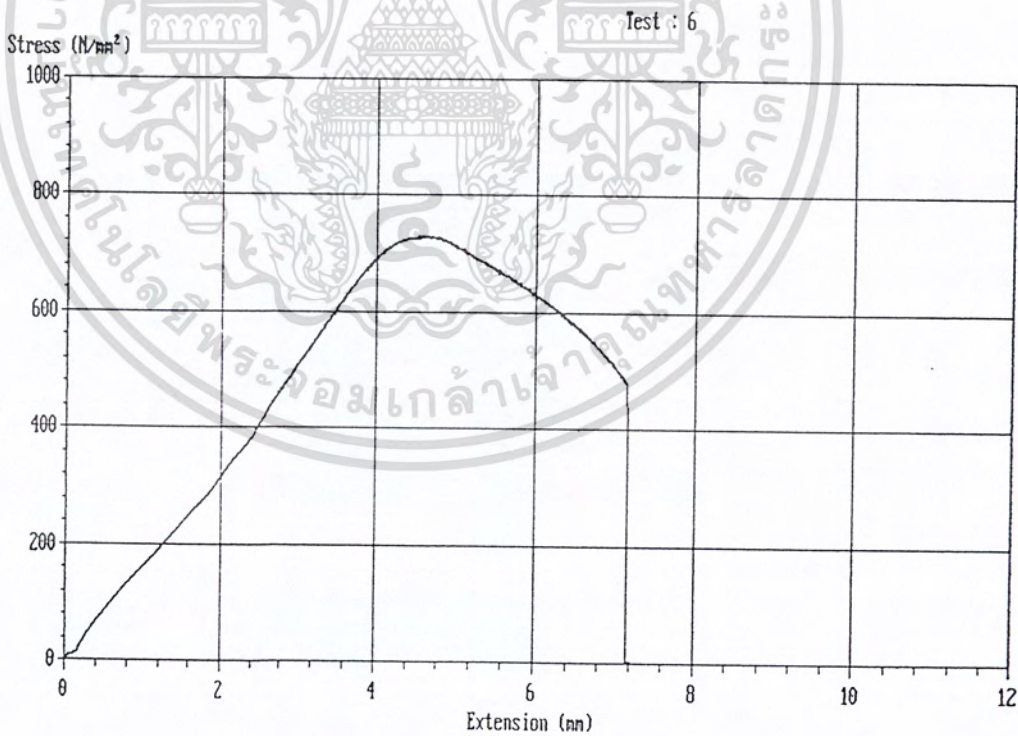
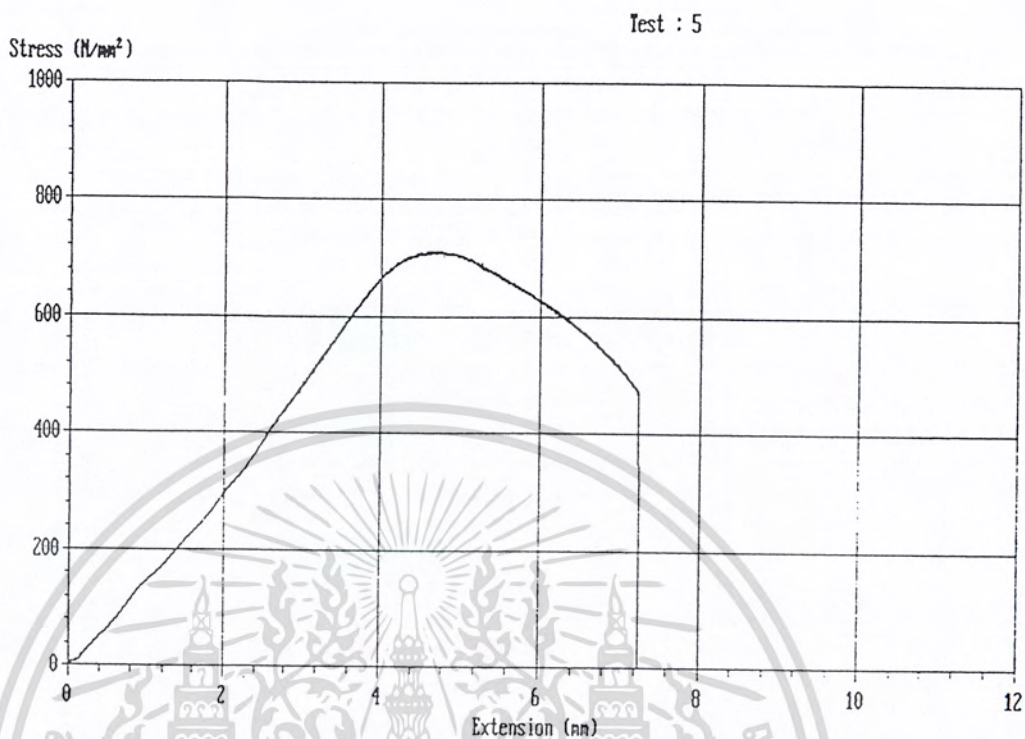
รูปที่ 4-3 แสดงกราฟที่ได้จากการทดลองทั้งหมดที่ Die ขนาด 5.7 มม.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

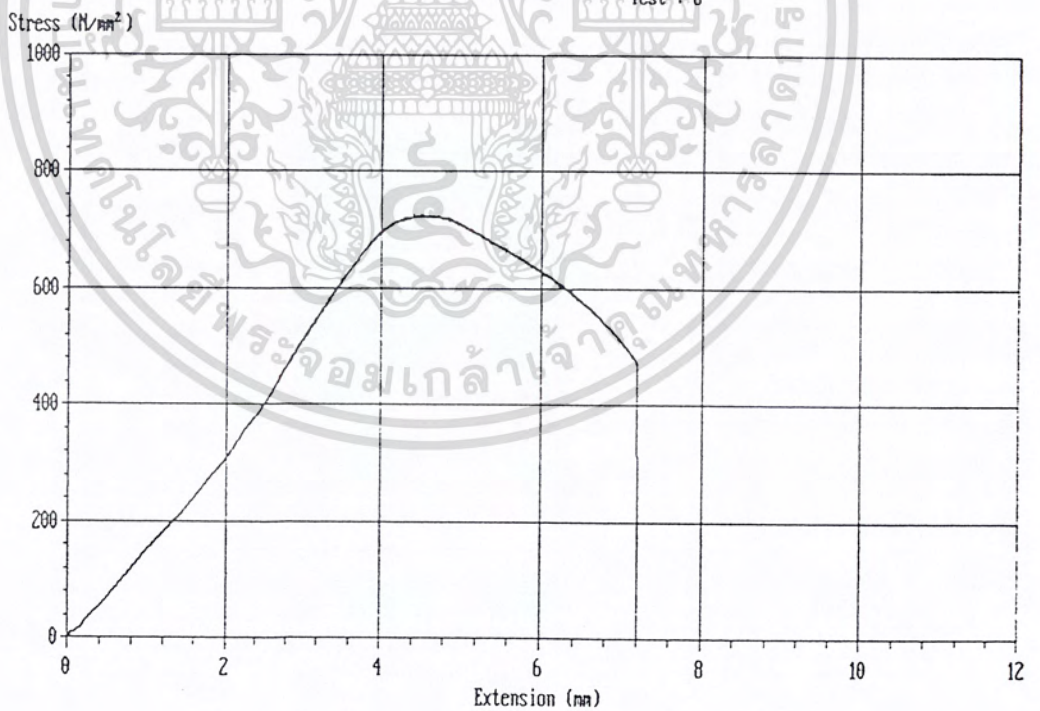
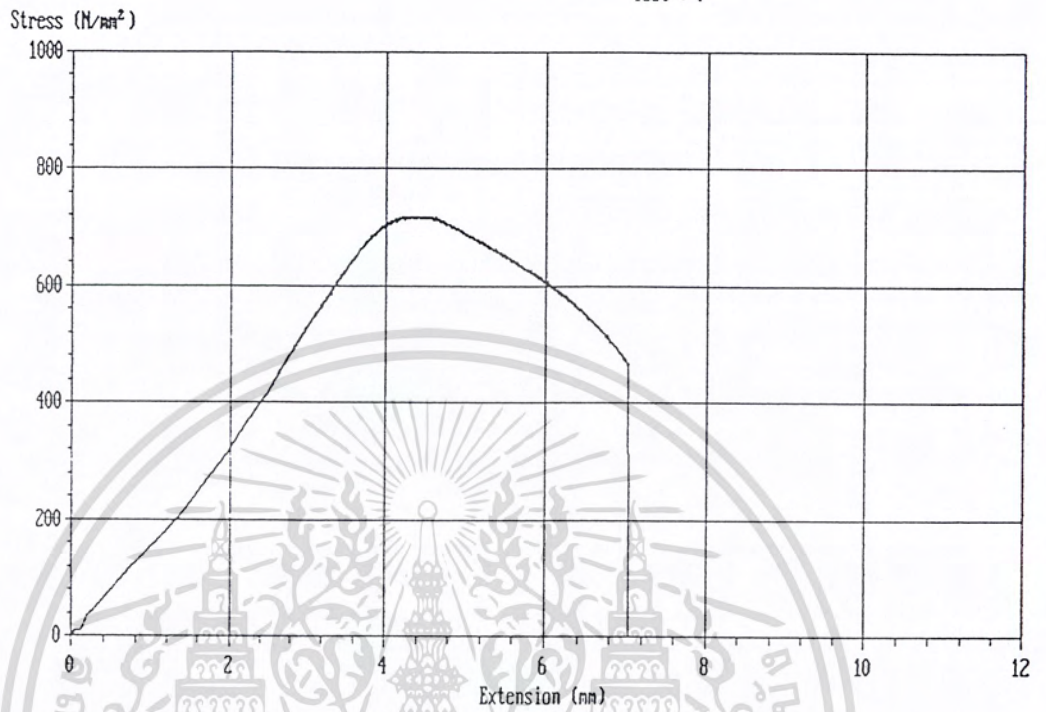


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

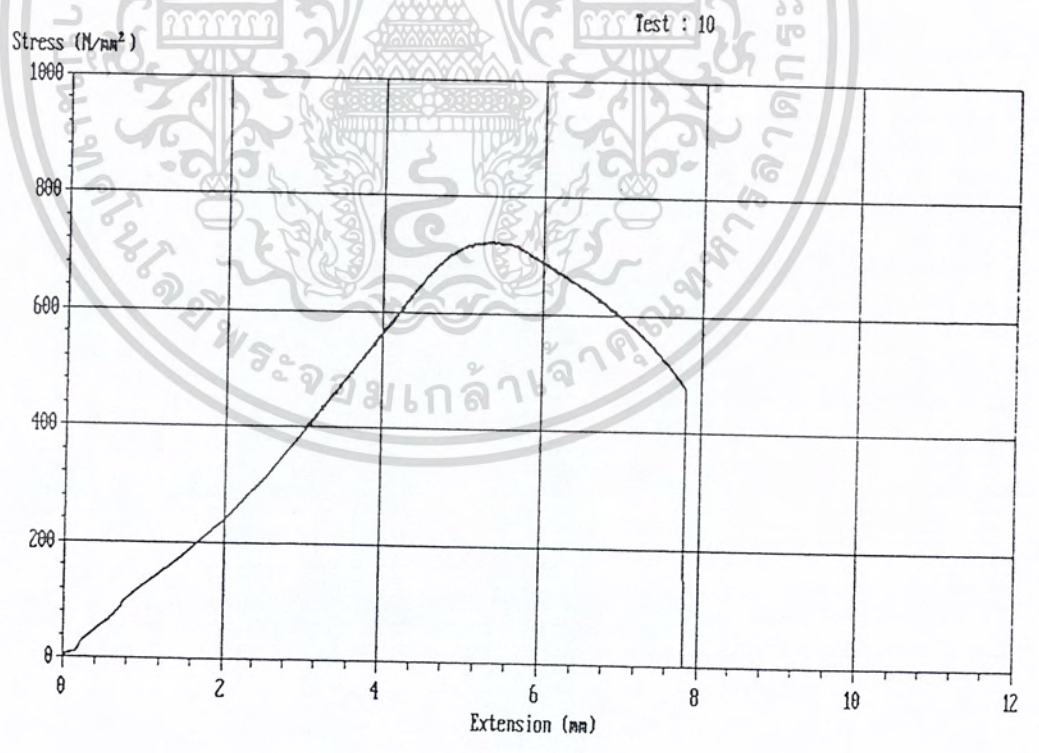
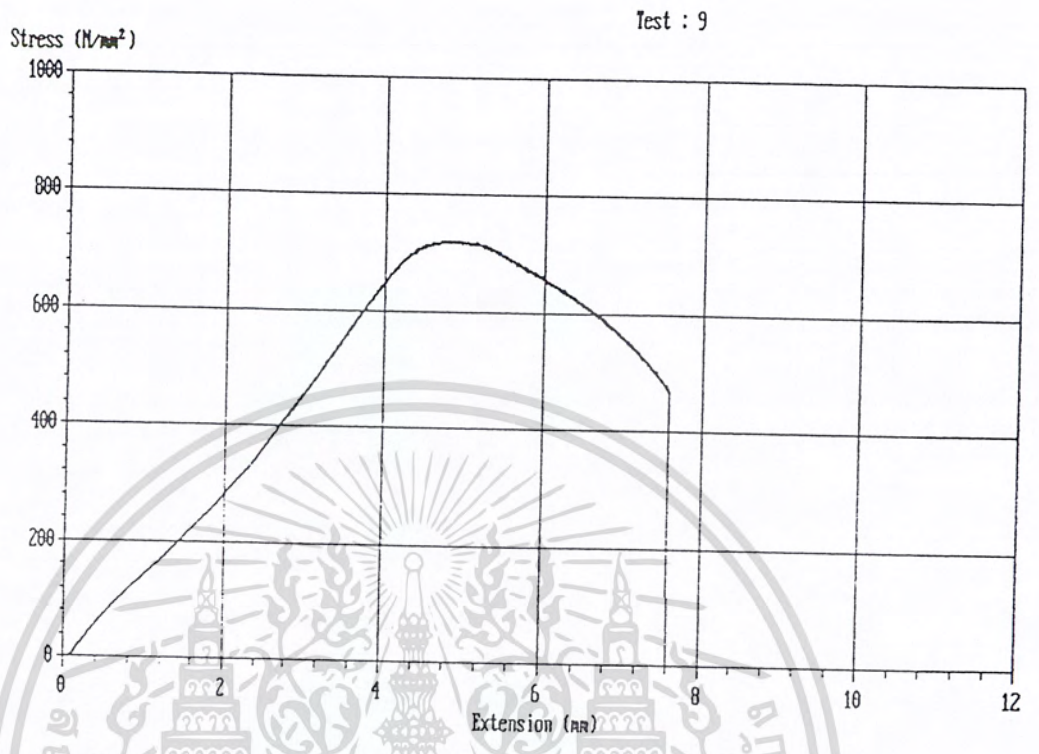


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test : 7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test : Diameter 5.5 mm.

Test Type : Tensile

Test Speed : 001.00 mm/min

Sample Length : 020.0 mm

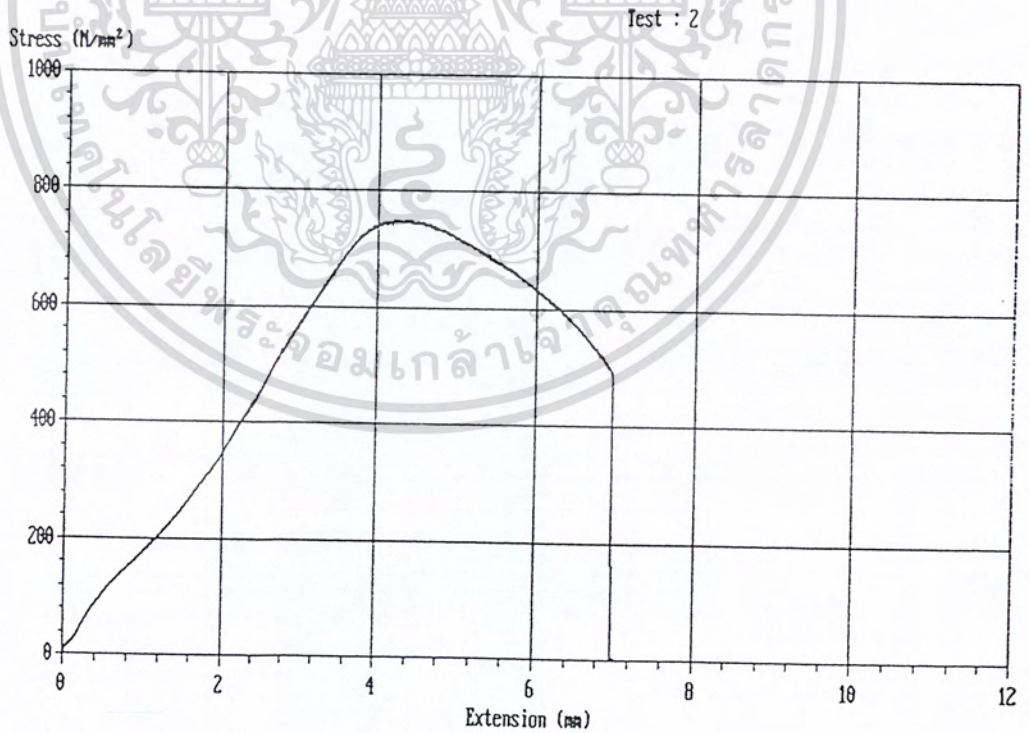
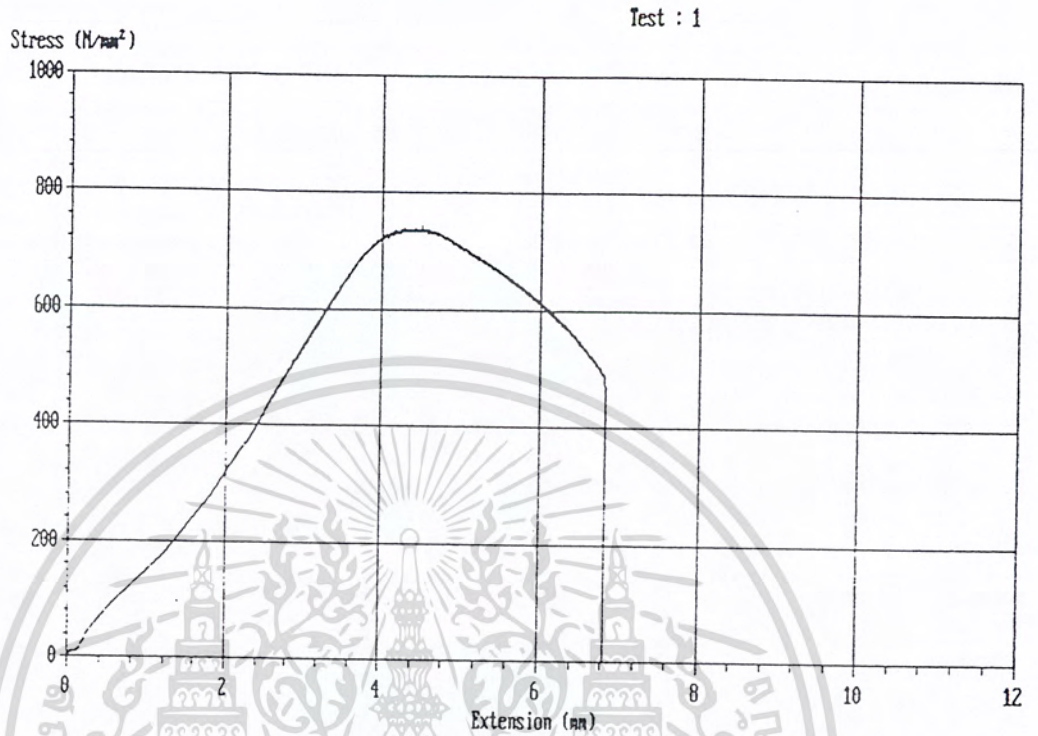
Sample Type : CIRCULAR

ตารางที่ 4-3 แสดงผลการทดลองที่ Die ขนาด 5.5 มิลลิเมตร

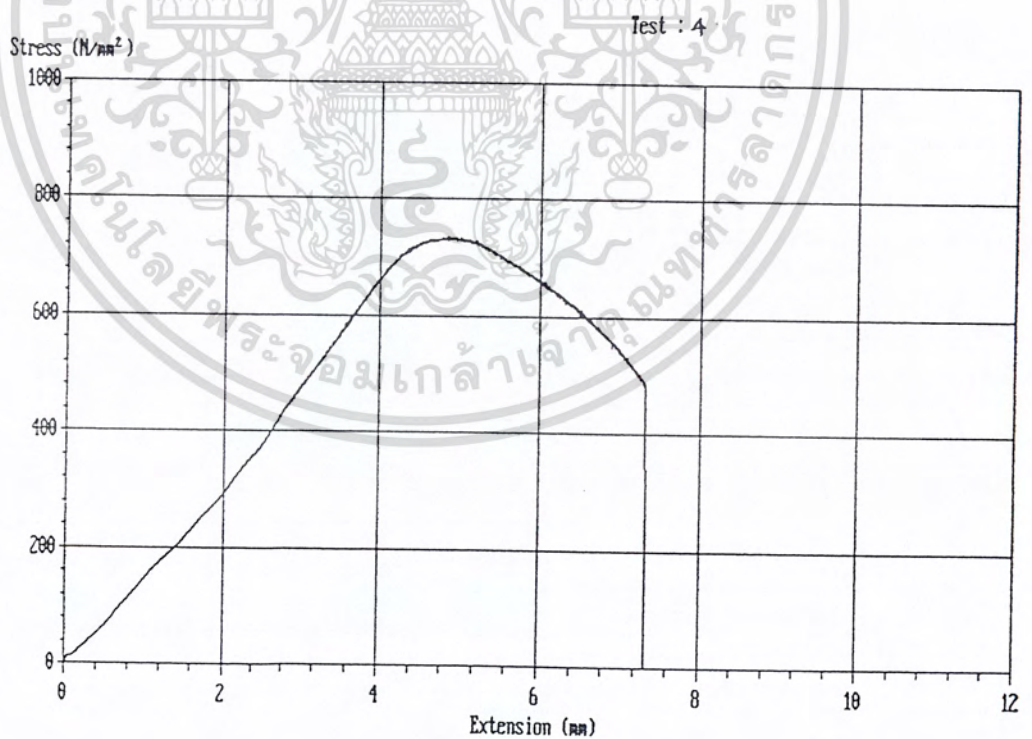
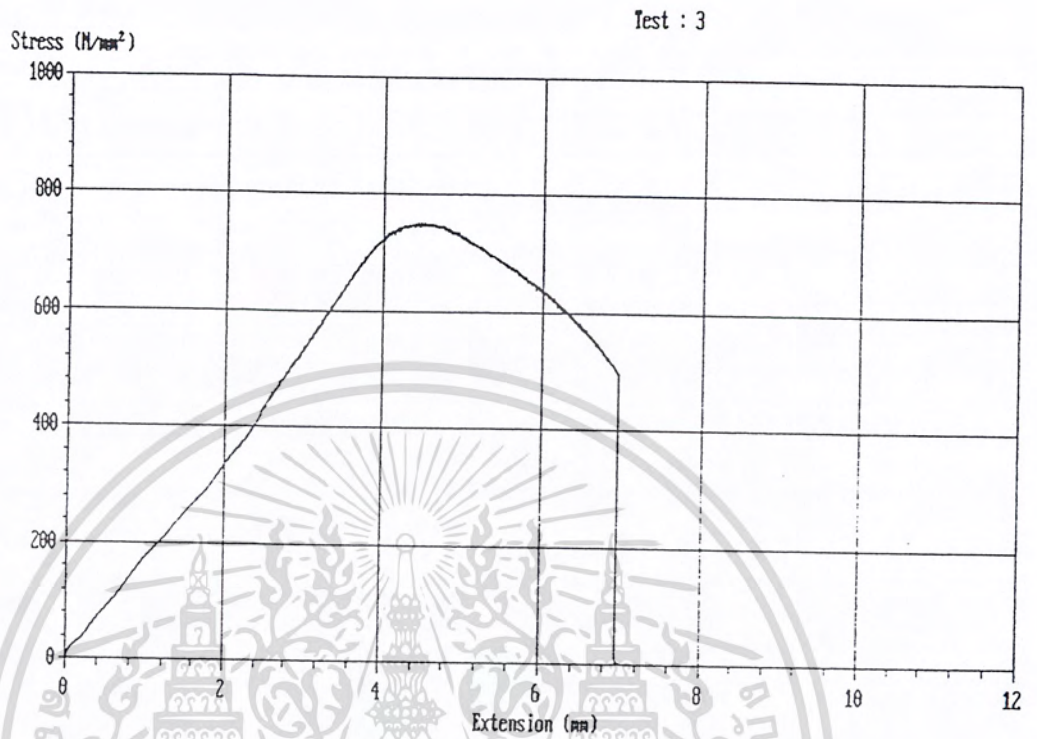
Test No.	V (mm/min)	Load Peak (kN)	Elong Peak (mm)	Stress Peak (N/mm ²)	Strain Peak (%)	Load Yield (kN)	Elong Yield (mm)	Stress Yield (N/mm ²)	Strain Yield (%)
1	10	17.63	4.503	742.06	22.515	3.579	1.01	150.64	5.05
2	20	17.81	4.195	749.63	20.975	4.378	1.055	184.27	5.275
3	30	17.87	4.478	752.16	22.39	3.64	0.868	153.21	4.34
4	40	17.49	4.848	736.16	24.24	3.55	1.024	149.42	5.12
5	50	17.62	4.383	741.64	21.915	4.766	1.23	200.6	6.15
6	60	17.48	4.638	735.74	23.19	3.553	0.862	149.55	4.31
7	70	17.46	6.572	734.9	32.86	3.517	1.646	148.03	8.23
8	80	17.62	4.988	741.64	24.94	3.734	1.098	157.17	5.49
9	90	17.54	5.006	738.27	25.03	4.283	1.174	180.27	5.87
10	100	17.65	4.964	742.9	24.82	4.015	1.249	168.99	6.245

รูปที่ 4-4 แสดงกราฟที่ได้จากการทดลองทั้งหมดที่ Die ขนาด 5.5 มม.

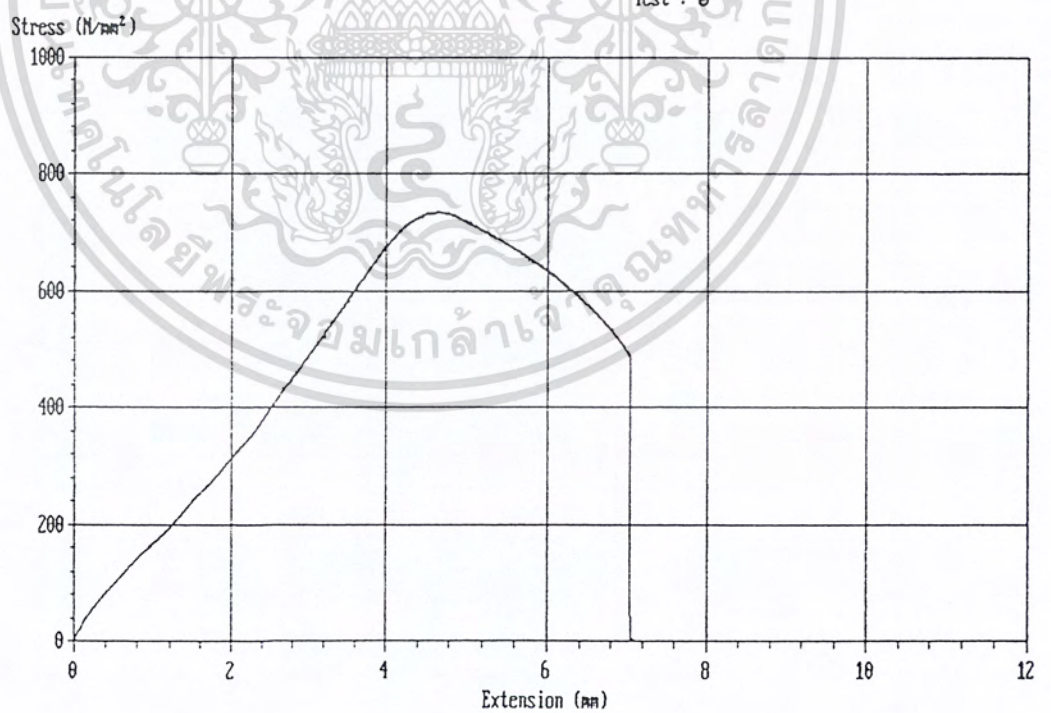
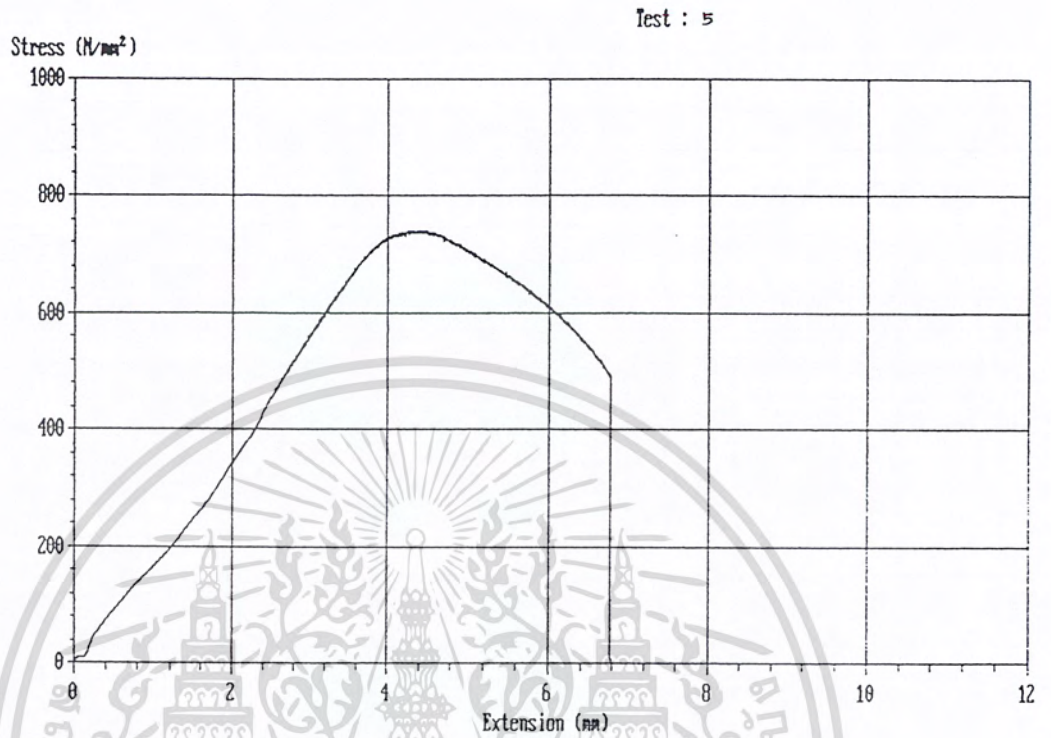
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



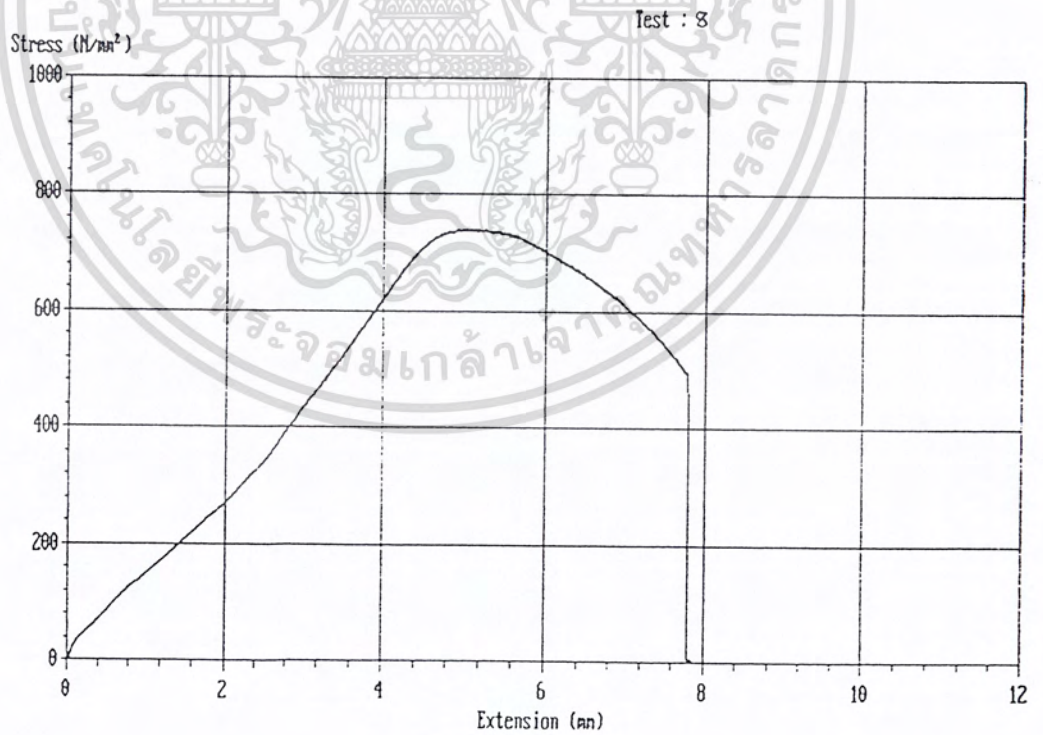
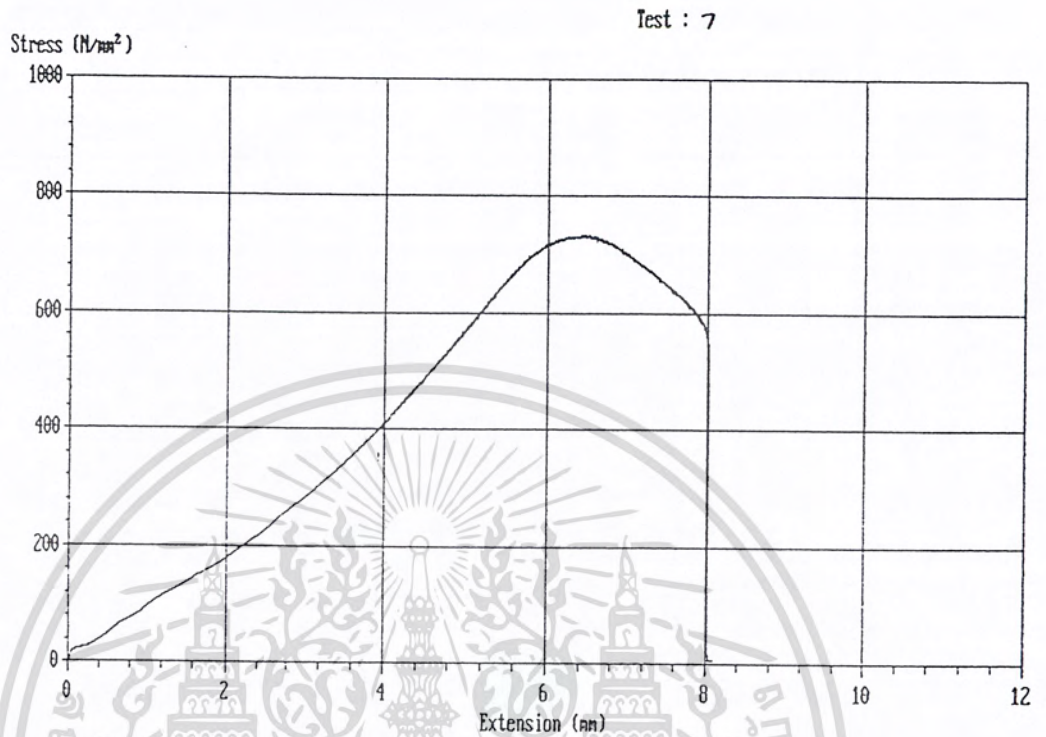
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



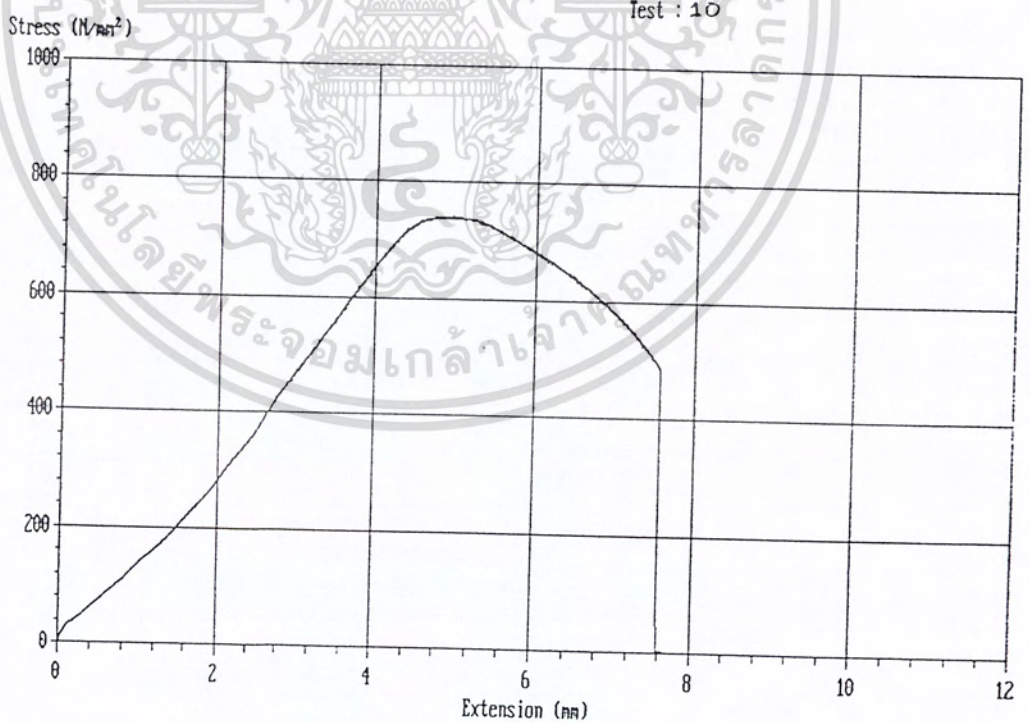
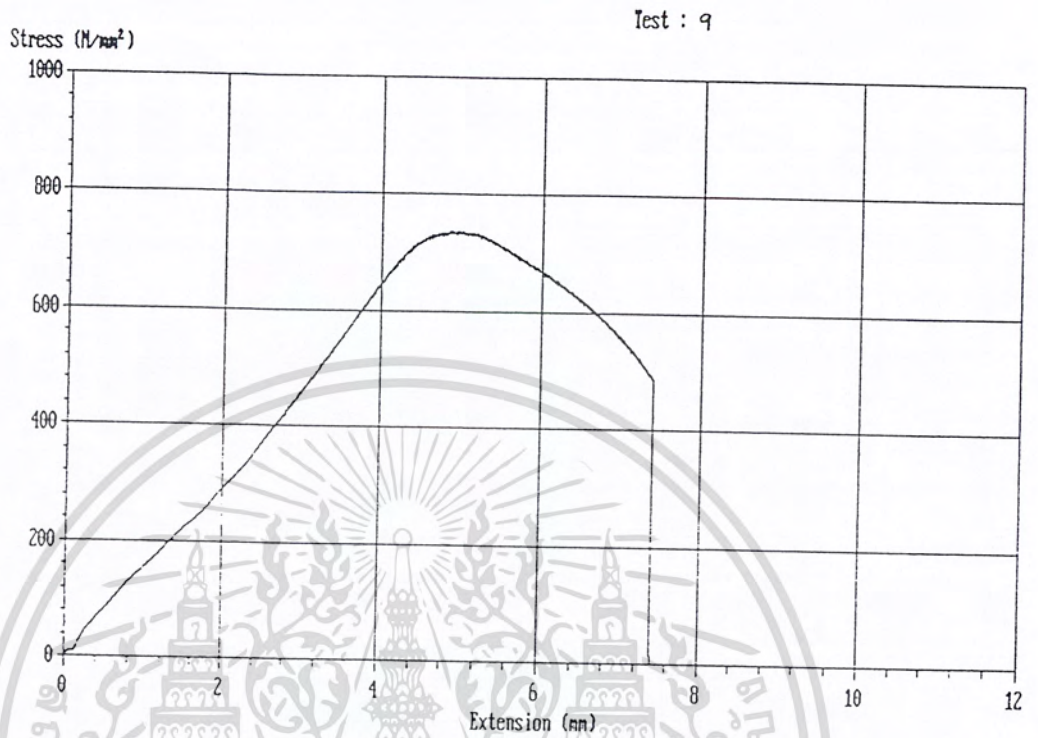
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



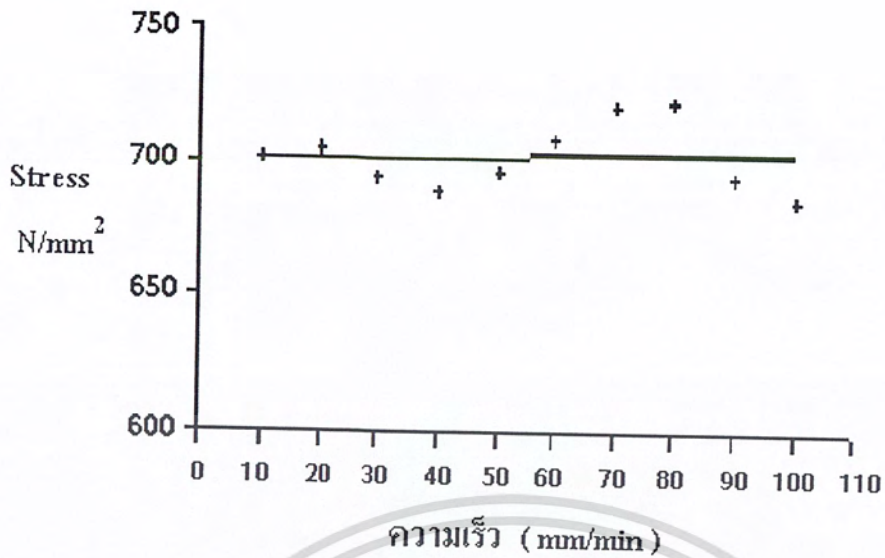
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



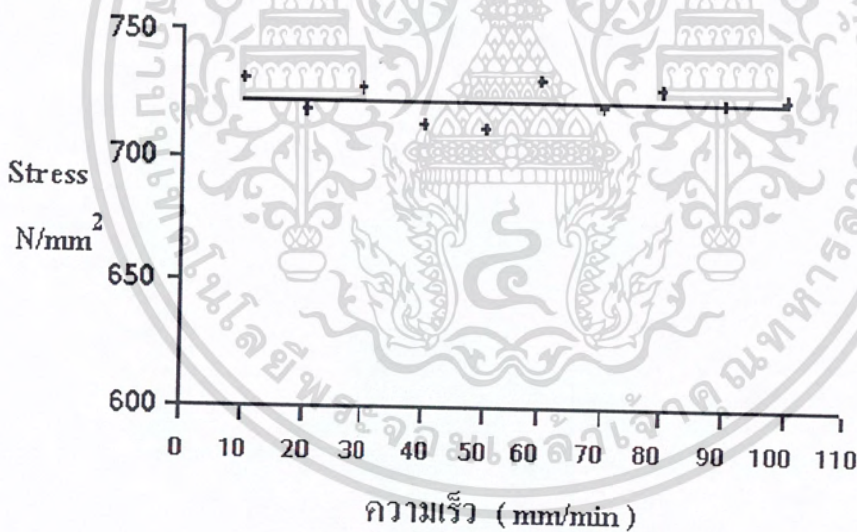
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



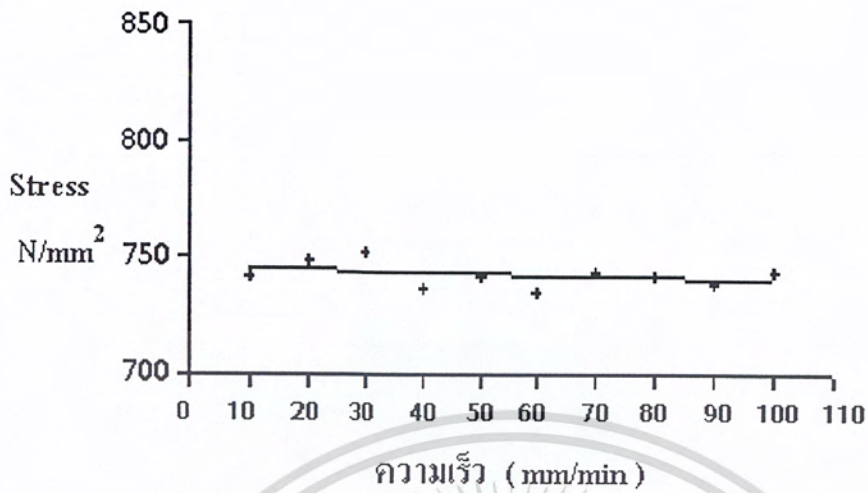
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



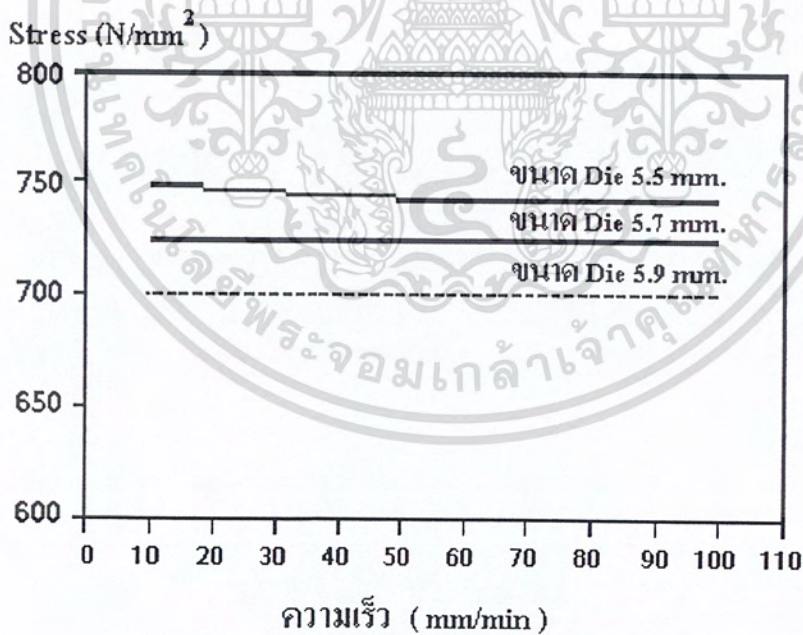
รูปที่ 4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการ Feed กับ Stress ที่ด้ายขนาด 5.9 mm.



รูปที่ 4-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการ Feed กับ Stress ที่ด้ายขนาด 5.7 mm.



รูปที่ 4-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการ Feed กับ Stress ที่ตายขนาด 5.5 mm.



รูปที่ 4-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับ ขนาดของ Die

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

5.1 วิจารณ์และสรุปผลงานวิจัย

หลังจากได้ทำการศึกษาถึงทฤษฎีต่างๆที่จำเป็นสำหรับการสร้างเครื่องดัดขนาดเหล็กเส้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่แล้ว ทางคณะผู้สร้างก็ได้ลงมือทำการสร้างเครื่องนี้ขึ้นมา ผลปรากฏว่าเครื่องนี้สามารถดัดขนาดเหล็กเส้นได้จริง (ตามขนาดDieที่มีอยู่) ตามที่ได้ตั้งขอบเขตการวิจัยไว้และเมื่อนำเหล็กที่ผ่านเครื่องดัดขนาดเหล็กเส้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่แล้วมาทำการหาคุณสมบัติภายในโดยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) แล้วเมื่อวิเคราะห์ผลที่ออกมาสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ความเร็วการ feed มีผลน้อยมากกับค่า Stress ในช่วงความเร็วการ feed 10-100 mm/min

5.1.2 เมื่อลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเส้นให้เล็กลง จะทำให้ค่า Stress เพิ่มขึ้น

5.1.3 เหล็กที่ผ่านการลดขนาดจะมีคุณสมบัติของผิวดีขึ้นกว่าเดิม

การที่ผลความเร็วการ feed มีผลน้อยมากกับค่า Stress ในช่วงความเร็วนี้ ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไปควรที่จะเพิ่มช่วงความเร็วในการทดลองให้กว้างขึ้น และควรทำการทดลองซ้ำกันมากกว่า 2 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย และในขณะที่ลดขนาดเหล็กด้วยเครื่องนั้นแรงที่กดโดยสกรูแต่ละครั้งไม่เท่ากัน ดังนั้นควรทำอุปกรณ์ช่วยเพื่อให้แรงที่กดลงบนเหล็กมีค่าใกล้เคียงกัน

5.2 ปัญหาที่พบ

5.2.1 ในการลดขนาดเหล็กเส้นให้เล็กลงโดยการดัดผ่าน Die จำเป็นต้องใช้แรงในการกด Roller มากทำให้ชิ้นงานที่ออกมามีลักษณะ โค้งงอ และผิวชิ้นงานจะมีริ้วรอย

5.2.2 เหล็กเส้นที่นำมาลดขนาดมีการบิดเบี้ยวหรือมีการหักมุมมาก ในการผ่านชุด Die จะเกิดการติดขัดขึ้น จำเป็นต้องเพิ่มแรงกดโดยการหมุนสกรูกดลงมากขึ้น

5.2.3 ในการขันสกรูลง บางครั้งร่องของ Roller ตัวบนและตัวล่างไม่ตรงกัน จำเป็นต้องพิจารณาทุกครั้งที่ขันชุดสกรูลง

5.2.4 เหล็กเส้นที่ถูกขับออกมาจะไม่ตรงมาก อันเนื่องมาจากใช้ Roller ขับดันออกเพียงแก่ชุดเดียว

5.2.5 ในการใช้งานหลายๆครั้งจะพบว่าโซ่มีความตึงลดลง จำเป็นต้องติดตั้งตัวปรับความตึงของโซ่ไว้

5.2.6 ในการใช้งานไประยะหนึ่งจะพบว่าที่ร่องของชุด Roller ที่ใช้ในการขับเคลื่อนเหล็กเส้นจะมีสนิม , เศษโลหะ และริ้วรอย ติดอยู่ จำเป็นต้องใช้ตะไบขัดร่องเพื่อไม่ให้เหล็กเส้นที่ออกมามีคุณภาพผิวที่ไม่ดี

5.2.7 บริเวณร่องของ Roller จะมีการรับแรงมากจำเป็นต้องทำการชุบแข็ง เพื่อไม่ให้ผิวของร่องเกิดการเสียหาย

5.2.8 หลังจากเครื่องทำการลดขนาดเหล็กเส้น ในจังหวะสุดท้ายที่เหล็กกำลังออกจาก Roller ตัว

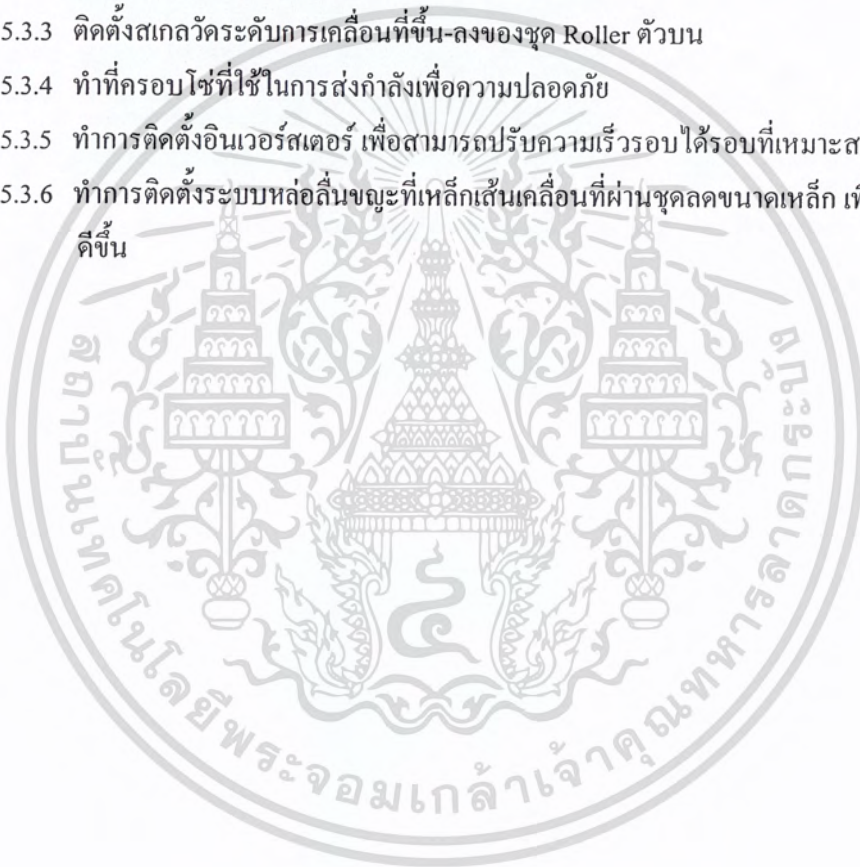
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้ายจนหมด ตัว Roller ด้านบนกับด้านล่างที่ชุดดึงออกจะเกิดการกระแทกกัน จึงจำเป็นต้องปิดเครื่องก่อน

- 5.2.9 ถ้าบริเวณปลายของเหล็กเส้นที่ใส่เข้าไปมีการโค้งงอมาก เหล็กเส้นจะไม่สามารถเข้า Die ได้และจะเกิดการโค้งงอขึ้นแทน ดังนั้นบริเวณปลายเหล็กที่ใส่บริเวณทางเข้าควรจะตรง

5.3 แนวทางการพัฒนา

- 5.3.1 ต้องการทำให้เหล็กเส้นมีความตรงมากขึ้น โดยอาจจะใช้หัวจับเป็นตัวจับแล้วดึงเหล็กออกมาหรือมีการเพิ่มชุด Roller เข้าไปในแนวตั้งฉากกัน ซึ่งจะช่วยให้เหล็กมีความตรงมากขึ้นกว่าเดิม
- 5.3.2 ทำการติดตั้งตัวปรับความตึงของโซ่ที่โซ่ส่งกำลังระหว่างชุดทดความเร็วรอบกับ Roller ใช้ขับเคลื่อนเหล็กเข้าสู่ชุดลดขนาด
- 5.3.3 ติดตั้งสเกิลว์ระดับการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของชุด Roller ตัวบน
- 5.3.4 ทำที่ครอบโซ่ที่ใช้ในการส่งกำลังเพื่อความปลอดภัย
- 5.3.5 ทำการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ เพื่อสามารถปรับความเร็วรอบได้รอบที่เหมาะสม
- 5.3.6 ทำการติดตั้งระบบหล่อลื่นขณะที่เหล็กเส้นเคลื่อนที่ผ่านชุดลดขนาดเหล็ก เพื่อคุณภาพผิวที่ดีขึ้น



บรรณานุกรม

- [1] รศ. สมชัย นรเศรษฐ์โสภณ, “กลศาสตร์ของแข็ง เล่ม 1“, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] ดร. วรวิทย์ อังการกรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน, “การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1,2 “, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด
- [3] รศ. ทวี เทศเจริญ, ” กรรมวิธีการผลิต ”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [4] ผศ. พรศักดิ์ อรรถวานิช, ” Material Science ”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [5] สุระเชษฐ รุ่งวัฒนพงษ์, ” การออกแบบเครื่องจักรกล ”, คณะวิศวกรรมเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา
- [6] ขวลิต เขียงกุล, ” โลหะวิทยา”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [7] ทักษิณ เทพชาตรี, ”พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก”, สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
- [8] รศ.มนัส สติรจินดา, ”วิศวกรรมอบชุบเหล็ก”, วิศวกรรมแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
- [9] William F. Smith, ”Principle of Materials Science and Engineering”, Mc Graw Hill
- [10] Edward M. Mielnik, “ Metal working science and Engineering “, McGraw-Hill, Inc
- [11] Kazuzri Yoshida and Hirosi Tanaka, “ The drawability of Ni-Ti shape-memory alloy wires”