บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

การออกแบบชิ้นส่วนของแขนกลได้ อาศัยหลักการและสมการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบแขนกล

3.1.1 ส่วนประกอบของแขนกล

แขนกลนั้นประกอบไปด้วยหลายส่วนด้วยกันคือ

- แขน
- สลัก
- สกรู
- มือจับ
- สายพาน
- แบริ่ง

3.1.2 การคำนวณส่วนต่าง ๆ ของแขนกล

3.1.2.1 แขน

พิจารณาแรงที่ทำให้เกิดความเสียหายต่าง ๆ

3.1.2.1.1 ความเสียหายที่สกรู

จากตารางที่ ข:2 AISI 1020 A

จะได้ $\sigma_y = 52\,\text{Ksi}$

$$= 57 \times 6.895$$
$$= 358\,\text{N/mm}^2$$

$$\tau = 0.6 \times \sigma_y$$

$$= 0.6 \times 358$$
$$= 215\,\text{N/mm}^2$$

เมื่อสกรูที่ใช้มีขนาด 4 mm และใช้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 3

ความเค้นเฉือนใช้งาน

$$\tau_d = \frac{215}{3}$$

$$= 71.67 \text{ N/mm}^2$$

ความเค้นอัดใช้งาน

$$\sigma_c = \frac{358}{3}$$

$$= 119.33 \text{ N/mm}^2$$

ถ้าสกรูขาดด้วยแรงเฉือน

จาก $\tau_d = \frac{F}{A}$

$$F = 71.67 \times \frac{\pi \times 4^2}{4}$$

$$= 900.63 \text{ N}$$

$\therefore$ สกรูแต่ละตัวรับแรงเฉือนได้สูงสุดเท่ากับ900.63 N

ถ้าสกรูเสียหายด้วยแรงอัด

จาก $\sigma_t = \frac{F}{A}$

$$F = 119.33 \times 4 \times 7$$

$$= 3{,}341.2 \text{ N}$$

สกรูแต่ละตัวรับแรงอัดได้สูงสุดเท่ากับ 3341.24 N

3.1.2.1.2 ความเสียหายที่อลูมิเนียม

จากตารางที่ ข.7 ของ Al – 6063-0

จะได้ $\sigma_y = 7$ ksi

$$= 7 \times 6.895$$

$$= 48.27 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_y = 0.6 \times \sigma_y$$

$$= 0.6 \times 48.27$$

$$= 28.96 \text{ N/mm}^2$$

เลือกใช้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 3

ความเค้นเฉือนใช้งาน

$$\tau_d = \frac{28.96}{3}$$

$$= 9.65\ \text{N/mm}^2$$

จาก $\tau_d = \frac{F}{A}$

แรงเฉือน $F_1 = 9.65 \times 2 \times 1.7$

$$= 32.81\ \text{N}$$

แรงเฉือน $F_2 = 9.65 \times 2 \times 2.9$

$$= 55.97\ \text{N}$$

ที่ตาราง ข.1 ของ ASTM class 20

$$\sigma_c = 95\ \text{ksi}$$

$$= 95 \times 6.895$$

$$= 655\ \text{N/mm}^2$$

$$\tau = 32\ \text{ksi}$$

$$= 32 \times 6.895$$

$$= 20.69\ \text{N/mm}^2$$

ใช้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 3

ความเค้นเฉือนใช้งาน

$$\tau_d = \frac{20.69}{3}$$

$$= 6.89\ \text{N/mm}^2$$

ความเค้นอัดใช้งาน

$$\sigma_{cd} = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{655}{3}$$

$$= 218.33\ \text{N/mm}^2$$

จาก $\sigma_{cd} = \frac{F}{A}$

$$F = 218.33 \times 10 \times 5$$

$$= 10{,}916.5\ \text{N}$$

∴ สลักสามารถที่จะรับแรงอัด ได้เท่ากับ 10,916.5 N

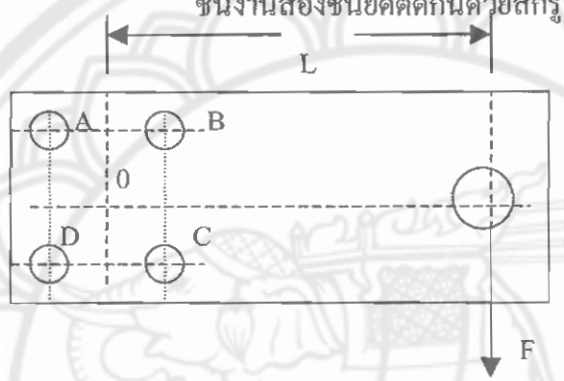
จาก $\tau_d = \frac{F}{A}$

$$F = 6.89 \times \pi \times \frac{10^2}{4}$$

$$= 541.14 \text{ N}$$

สลักสามารถรับแรงเฉือนได้ เท่ากับ 541.14 N

ชิ้นงานสองชิ้นยึดติดกันด้วยสกรู จำนวน 4 ตัว



ระยะห่างระหว่างสกรูที่วัดได้

$AB = CD = 25$ mm.

$AD = BC = 30$ mm.

$AC = BD = 40$ mm

$L = 58$

แรง F=1624 N= 1.624 KN

พิจารณาแรงในรูปสกรู แรงเฉือนตรงคือ

$$F'_A = F'_B = F'_C = F'_D = \frac{F}{4}$$

$$= \frac{1.624}{4} = 0.406 \text{ KN}$$

$L_A = L_B = L_C = L_D$

$$= \frac{1}{2} \times \sqrt{\left(25^2 + 30^2\right)}$$

$$= 19.53 \text{ mm.}$$

เนื่องจากสกรูทั้งสี่ตัวอยู่ห่างจากจุดศูนย์ถ่วงเท่า ๆ กัน ดังนั้นแรงบิด

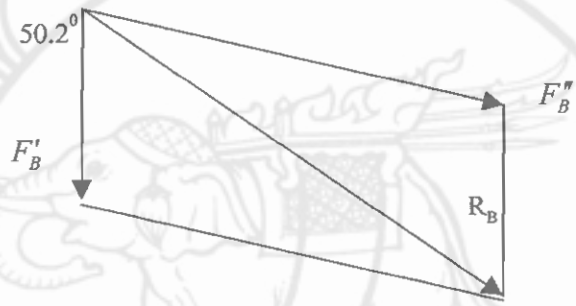
$$F''_A = F''_B = F''_C = F''_D$$

รวมโมเมนต์รอบจุด 0

$$FL = 4F''_A L_A$$

$$1.624 \times 58 = 4 \times F''_A \times 19.53$$

$$F''_A = 1.206 KN$$



รวมแรงเฉือนตรงและแรงบิดโดยวิธีเวกเตอร์ จะได้

$$R_B = \sqrt{\left[(F'_B)^2 + (F''_B)^2 + 2F'_B F''_B \cos\theta\right]}$$

$$= \sqrt{\left[(0.406)^2 + (1.206)^2 + 2 \times 0.406 \times 1.206 \times \cos 50.2\right]}$$

$$= 1.5 \quad \text{KN}$$

ใช้สกรูทำจากเหล็ก AISI C 1080

ใช้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 2

จากตารางเหล็ก AISI C 1080

$$\sigma_y = \frac{(142 + 70)}{2} = 106 \quad \text{ksi}$$

$$= 106 \times 6.895 = 730.87 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_y = 0.6 \times \sigma_y$$

$$= 0.6 \times 730.87$$

$$= 438.522 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_d = \frac{\tau_y}{N}$$
$$= \frac{438.522}{2}$$
$$= 219.26 \text{N/mm}^2$$

แรงเฉือน $R_B = \tau_d A$

$$1500 = 219.26 \times \frac{\pi}{4} \times d^2$$

$$d = 2.95 \text{ mm}$$

ดังนั้น เลือกใช้เกลียว แบบเกลียวธรรมดาชนิด M3

3.1.2.2 มือจับ

ให้มอเตอร์มีขนาด 3 W

จุดต่อสายดึงห่างจากจุดหมุนของมอเตอร์เป็น $= 2cm = 0.02m.$

$$W_p = \frac{2\pi nFr}{60}$$
$$F = \frac{W_p \times 60}{2\pi nr}$$
$$= \frac{3 \times 60}{2\pi \times 600 \times 0.02}$$
$$= 2.387N$$

แรงที่ใช้ดึงชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่มือจับเท่ากับ 2.387 N

โลหะที่ใช้ทำมือจับเป็นอลูมิเนียมชนิด Al-6061-0 จาก

ตารางที่ ข.7

$$\sigma_y = 8 \text{ ksi}$$
$$= 8 \times 6.895 = 55.16 \text{ N/mm}^2$$
$$\tau_y = 0.6 \times \sigma_y$$
$$= 0.6 \times 55.16$$
$$= 33.10 \text{ N/mm}^2$$

ใช้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 3

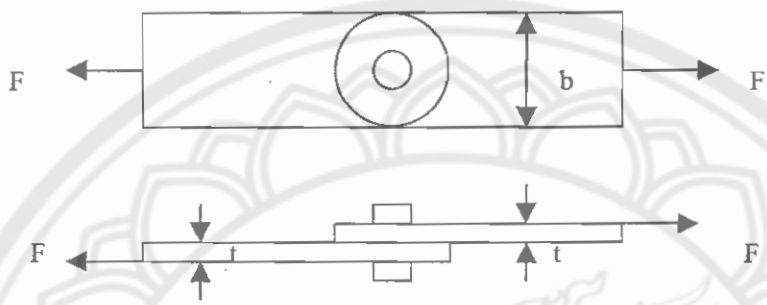
ความเค้นดึงใช้งาน $\sigma_{td} = \frac{55.16}{3} = 18.39$ N/mm.^{2}

ความเค้นกดใช้งาน $\sigma_{cd} = \frac{55.16}{3} = 18.39$ N/mm.^{2}

ความเค้นเฉือนใช้งาน $\tau_d = \frac{33.10}{3} = 11.03$ N/mm.^{2}

พิจารณาส่วนที่มือจับ

รอยต่อเกย ประกอบด้วยสกรูขนาด 3 mm. แผ่นอลูมิเนียมหนา 1 mm. ความกว้าง b=11 mm.



คิดแรงที่ทำให้เกิดความเสียหายวิธีต่างๆดังต่อไปนี้

แรงเฉือนสกรูขาด

$$F = \sigma_d \times \frac{\pi}{4} \times d^2$$

$$= 11.03 \times \frac{\pi}{4} \times 3^2$$

$$= 77.97N$$

แรงอัดสกรูกับแผ่นอลูมิเนียม

$$F = \sigma_{cd} \times d \times t$$

$$= 18.39 \times 3 \times 1$$

$$= 55.17N$$

แรงดึงแผ่นอลูมิเนียมแผ่นล่างขาดตรงสกรู

$$F = \sigma_{td} \times (b - d) \times t$$

$$= 18.39 \times (11 - 3) \times 1$$

$$= 147.12N$$

ถ้าแผ่นอลูมิเนียมไม่มีรูสกรูอยู่ จะสามารถรับแรงดึงได้

$$F = \sigma_{td} \times b \times t$$

$$= 18.39 \times 11 \times 1$$

$$= 202.29N$$

จากการพิจารณาการเสียหายในแต่ละกรณี จะเห็นได้ว่าแรงอัดสกรูกับ แผ่นอลูมิเนียมนั้น สามารถรับแรงได้น้อยที่สุด ดังนั้น

ประสิทธิภาพของรอยต่อคือ

$$\eta = \frac{\text{ความต้านแรงต่ำสุดของรอยต่อ}}{\text{ความต้านแรงของแผ่นโลหะ}}$$

$$= \frac{55.17}{202.29} \times 100$$

$$= 27.27\ \%$$

∴ ประสิทธิภาพของรอยต่อด้วยสกรู มีค่าเท่ากับ 27.27 เปอร์เซ็นต์

3.1.2.3 สายพาน

มอเตอร์ขนาด 3 w ความเร็วรอบ 600 rpm

ล้อสายพานเล็กมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 65 mm

ล้อสายพานใหญ่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 95 mm

ระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง 125 mm

สมมติให้ทำงาน 8 ชม./วัน

และให้การขับเป็นแบบโอเพนไดรว์ และไม่ใช้ล้อช่วย

กำลังที่ต้องการส่ง W_p = 30 KW

ผลต่างของเส้นผ่าศูนย์กลางของล้อสายพาน= 95-65 =30 mm

อ้างอิงจาก บรรณานุกรมเล่มที่ 3

จากตาราง 10.13 ตัวประกอบแก้ไขส่วนโค้งสัมผัส N_a = 0.98

จากตาราง 10.15 ตัวประกอบใช้งาน N_a = 1.3

จากสมการ กำลังงานที่แก้ไข

$$P = W_p \times N_s \times \frac{1}{N_a}$$

$$= 3 \times 1.3 \times \frac{1}{0.98} = 3.98W = 0.00398KW$$

เลือกใช้สายพาน 3 ชั้น จากตาราง 10.12

ส่งกำลังได้ P_0 = 0.29 KW/25 mm

จากสมการ

$$b = \frac{25P}{P_0}$$

$$= \frac{25 \times 0.00398}{0.29} = 0.343mm.$$

แต่สายพานที่เราใช้มีขนาดความกว้าง 2 mm ดังนั้น จึงมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

จากสมการ

$$\alpha_1 = \pi - 2\sin^{-1}\left(\frac{D-d}{2C}\right)$$

$$= \pi - 2\sin^{-1}\left(\frac{95-65}{2\times 125}\right) = -10.64 \text{ rad}$$

จากสมการ

$$\alpha_2 = \pi + 2\sin^{-1}\left(\frac{D-d}{2C}\right)$$

$$= \pi + 2\sin^{-1}\left(\frac{95-65}{2\times 125}\right) \text{rad}$$

จากสมการ

$$L = \sqrt{\left(4C^2 - (D-d)^2\right)} + \frac{1}{2} \times \left(D\alpha_1 + d\alpha_2\right)$$

$$L = \sqrt{\left(4\times 125^2 - (95-65)^2\right)} + \frac{1}{2} \times \left[95 \times (-10.64) + 65 \times 16.93\right]$$

= 300

ดังนั้น เลือกใช้สายพานยาว 300 mm.

3.1.2.4 แบริ่ง (Bearing)

การคำนวณหาอายุใช้งานของแบริ่ง

ขนาดของเพลาที่ได้มีค่าเท่ากับ 10 mm

อ้างอิงจาก บรรณานุกรมเล่มที่ 3 เนื่องจากใช้ Ball Bearing

จะได้ D = 30 mm, C_B = 1.96, C = 3.58,

F_a = Mg = 4.9 x 9.81 = 48.069 N

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

เพลาใช้เหล็ก AISI C 1050

ใช้ค่าความปลอดภัย N = 3

จากตารางเหล็ก AISI C1050

$$\sigma_y = \frac{(108+1)}{2} = 84.5 \text{ ksi}$$

$$= 84.5 \times 6.895 = 582.63 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_y = 0.6 \times \sigma_y = 0.6 \times 582.63 = 349.58 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_d = \frac{\tau_y}{N} = \frac{349.58}{3} = 116.526 \text{ N/mm}^2$$

แทนค่าใน T

$$T = \frac{\pi \times 116.526 \times 0.01^3}{16 \times 10^{-6}}$$

$$= 22.88 \text{ Nm}$$

$$F_r = \frac{2T}{D} = \frac{2 \times 22.88}{30} = 1.25 \text{ KN}$$

จาก $\frac{iF_a}{C_0} = \frac{1 \times 0.048}{1.96} = 0.0245$

จาก $\frac{F_a}{VF_r} = \frac{0.048}{1 \times 1.525} = 0.0315$

จากตาราง 7.5 จะได้

$$e = 0.2125$$

จะเห็นได้ว่า $\frac{F_a}{VF_r} \le e$

จะได้ $X = 1.0$

$$Y = 0$$

จากสมการ

$$P = XVF_r + YF_a$$

$$= 1 \times 1 \times 1.525 = 1.525 KN$$

คำนวณหาอายุใช้งานของแบริ่ง

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^K$$

$$= \left(\frac{3.58}{1.525}\right)^3 = 12.94 mr$$

∴ อายุการใช้งานของแบริ่ง คือ 12.94 ล้านรอบ

3.2 การทดสอบแขนกล

3.2.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบแขนกล

เพื่อต้องการหาความเร็วการหมุนที่ให้ความแม่นยำสูงสุด

3.2.2 ขั้นตอนการทดสอบแขนกล

1. วัดค่ามุมแต่ในแต่ละแกนเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง โดยกำหนดให้การหมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกามีค่าเป็น บวก และ ในทิศตามเข็มนาฬิกามีค่า เป็น ลบ
2. บันทึกค่ามุมซ้ำที่ความเร็วการหมุนในทุก ๆ แกนที่ค่าเดิม 15 ค่า
3. ที่ความเร็วเดิมแต่เปลี่ยนค่ามุมที่แกนที่ 1 แกนที่2 และแกนที่ 4 เป็น 60 องศา แต่ที่แกนที่ 3 เป็น 18 องศา
4. บันทึกค่ามุมในขั้นที่ 3 ที่ความเร็วเดิม 15 ค่า
5. ทำการทดลองซ้ำเหมือนขั้นตอนแรก แต่ เปลี่ยนค่าความเร็วการหมุน ที่ ความเร็วการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ เป็น 25 , 75 , 100 , มิลลิวินาที ตามลำดับ
(***หมายเหตุ ที่แกนที่ 3 ค่ามุมที่ทำได้อยู่ระหว่าง +18 ถึง –18 องศา โดยค่านี้ได้มาจากการวัดจากแขนกลโดยตรง)

3.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

1. หาค่าเฉลี่ยค่ามุมที่แกนต่าง ๆ ที่ความเร็วต่างกัน
2. แทนค่าพารามิเตอร์ และค่ามุมที่ได้จากทดสอบลงในสมการ direct kinematic
3. แทนค่าพารามิเตอร์ และค่ามุมที่ต้องการลงในสมการ directkinematic
เปรียบเทียบค่าตำแหน่งปลายมือที่ได้จากสมการ direct kinematic ระหว่าง ค่าที่ได้จากการทดสอบ กับ ค่าที่ต้องการที่ความเร็วเดียวกัน