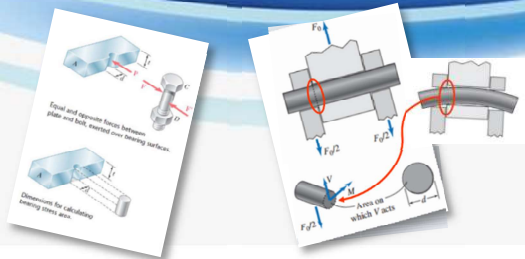


เอกสารประกอบการเรียน

กลศาสตร์โครงสร้างเบื้องต้น

รหัสวิชา 20121-2010

หน่วยที่ 6 ความเค้น (Stress)



หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562

สาขาวิชาโยธา ประเภทวิชาช่างอุตสาหกรรม

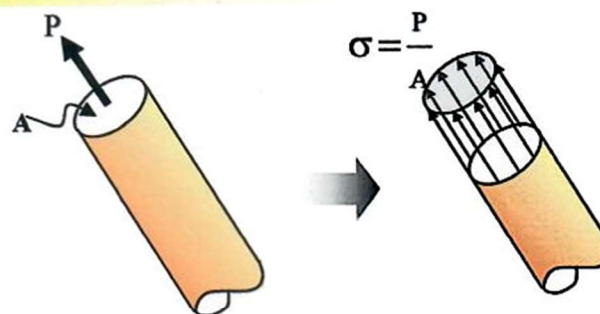
บทนำ (Introduction)

การศึกษาเกี่ยวกับกำลังของวัสดุ นับว่าเป็นเรื่องสำคัญต่อการออกแบบโครงสร้างต่างๆ เนื่องจากผู้ออกแบบต้องทราบเกี่ยวกับกำลังของวัสดุที่จะนำมาประกอบเป็นโครงสร้างนั้นว่าแข็งแรงเพียงพอต่อน้ำหนักที่กระทำหรือไม่ โดยกำลังของวัสดุนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มของแรง (Intensity of Force) และความเค้นภายใน (Internal Stress)

ในวิชากลศาสตร์มีหลายสาขาโดยเฉพาะทางสถิตยศาสตร์ ถือว่าชิ้นส่วน (Member) ของโครงสร้างนั้นเป็นวัตถุแข็งแรง (Rigid Body) แต่ในความเป็นจริงแล้ว เมื่อวัตถุใดๆ มีแรงมากระทำแล้ว จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างถ้าหากแรงกระทำนั้นมีขนาดมากพอ

การศึกษาเกี่ยวกับกำลังวัสดุจึงเปรียบเสมือนการศึกษาสถิตยศาสตร์ของวัตถุที่มีการเปลี่ยนรูปหรือมีการยืดหยุ่น (Static of Deformable or Elastic Body) จึงจำเป็นต้องมีพื้นฐานเกี่ยวกับหน่วยแรง (Force Unit) ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป

1 ความหมายของความเค้น



รูปที่ 6.1 การกระจายของความเค้น

ในการวิเคราะห์ค่าความเค้นที่เกิดกับชิ้นงานที่ตำแหน่งใดๆจะต้องมีการพิจารณาแรงภายในที่ตำแหน่งนั้นๆ โดยเมื่อมีแรงกระทำชิ้นงาน แรงจะกระจายทั่วทั้งหน้าตัดของชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 6.1 แรง P กระทำบนพื้นที่หน้าตัด A (Cross section) ของแท่งวัสดุ ค่าแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ หรือความหนาแน่นของแรงที่กระจายอยู่บนหน้าตัด เราเรียกว่า “ความเค้นตั้งฉาก (normal stress)” สามารถเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ σ ซึ่งเป็นภาษากรีกตัวเล็ก อ่านว่า ซิกมา (Sigma) โดยมีแรง P กระทำบนพื้นที่หน้าตัด A ซึ่งสามารถหาค่าความเค้นได้จากสมการ

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (6.1)$$

เมื่อ

 σ = ความเค้น P = แรงภายนอกที่มากระทำกับวัตถุ A = พื้นที่หน้าตัดของท่อนวัตถุนั้น

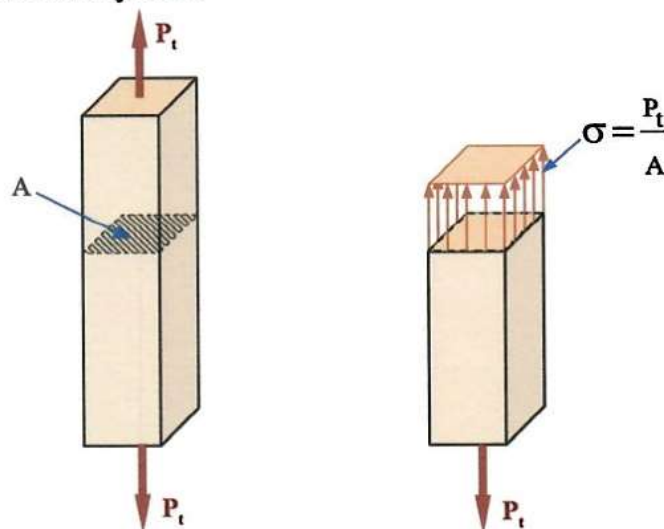
2 ประเภทของความเค้น

1. ความเค้นตั้งฉาก (Normal Stresses)

หมายถึง ความเค้นที่มีทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่ที่เกิดความเค้น แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1.1 ความเค้นดึง (Tensile Stress) ใช้สัญลักษณ์ σ_t เป็นอักษรกรีกตัวเล็ก อ่านว่า ซิกมา (Sigma)

ความเค้นดึง คือความเค้นที่เกิดจากแรงภายนอกมากระทำกับวัตถุ ในลักษณะพยายามดึงวัตถุให้แยกออกจากกัน ดังแสดงในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 ลักษณะการเกิดความเค้นดึง

ความเค้นดึงสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

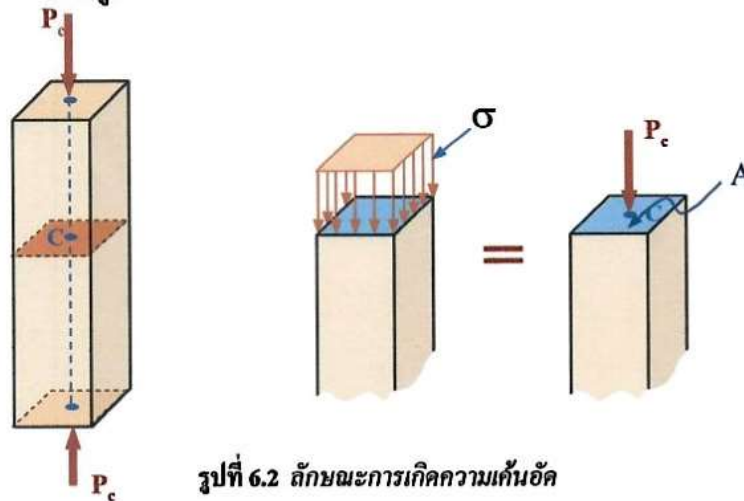
$$\sigma_t = \frac{P_t}{A} \quad (6.2)$$

เมื่อ σ_t = ความเค้นดึง
 P_t = แรงภายนอกที่พยายามดึงวัตถุออกจากกัน
 A = พื้นที่หน้าตัด

จากภาพประกอบ สังเกตได้ว่า พื้นที่หน้าตัด A ตั้งฉากกับแนวแรง P

1.2 ความเค้นอัด (Compressive Stress) ใช้สัญลักษณ์ σ_c

ความเค้นอัด คือความเค้นที่เกิดจากแรงภายนอกมากระทำกับวัตถุ ในลักษณะพยายามอัดวัตถุให้ยุบตัวเข้าหากัน ดังแสดงในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 ลักษณะการเกิดความเค้นอัด

ความเค้นอัดสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

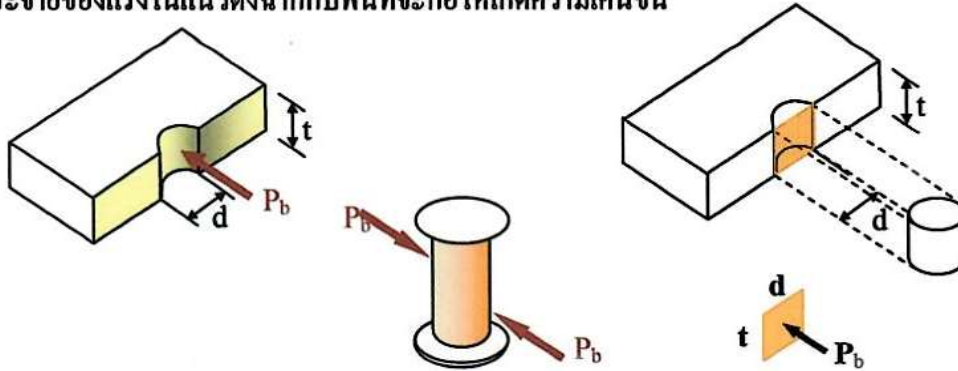
$$\sigma_c = \frac{P_c}{A} \quad (6.3)$$

เมื่อ σ_c = ความเค้นอัด
 P_c = แรงภายนอกที่พยายามอัดวัตถุให้ยุบตัวเข้าหากัน
 A = พื้นที่หน้าตัด

จากภาพประกอบ สังเกตได้ว่า พื้นที่หน้าตัด A ตั้งฉากกับแนวแรง P

1.3 ความเค้นกดอัด (Bearing Stress) ใช้สัญลักษณ์ σ_b

สลักเกลียวหมุดย้ำจะเกิดความเค้นเนื่องจากแรงที่จุดต่อ แรง P ที่กระทำจะแสดงถึงผลรวมของแรงที่กระทำต่อครึ่งหนึ่งของทรงกระบอก ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง (d) และมีความหนาของแผ่นเหล็ก (t) ดังนั้นการกระจายของแรงในแนวตั้งฉากกับพื้นที่ที่จะก่อให้เกิดความเค้นขึ้น



รูปที่ 6.3 แรงกระทำแบบกดอัด

$$\sigma_b = \frac{P}{A} = \frac{P}{td}$$

(6.4)

- เมื่อ σ_b = ความเค้นกดอัด
 P_b = แรงภายนอกที่พยายามอัดวัตถุให้ยุบเข้าหากัน
 A = พื้นที่หน้าตัด
 t = ความหนาของแผ่นวัสดุ
 d = เส้นผ่าศูนย์กลางของหมุดย้ำ หรือสลักเกลียว



ตัวอย่างที่ 1

ลดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร นำมาใช้แขวนวัตถุมวล 80 กิโลกรัม จงหาความเค้นดึงในเส้นลวด

วิธีทำ

จากสูตร $\sigma_t = \frac{P}{A}$

เมื่อ $P = 80 \times 9.81 = 784.8 \text{ N}$ และ

$$A = \frac{\pi}{4} (2)^2 = 3.1416 \text{ mm}^2$$

แทนค่า $\sigma_t = \frac{784.8}{3.1416} = 249.809 \text{ N/mm}^2$

\therefore ความเค้นดึงในลวดเท่ากับ 249.809 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

ตอบ



ตัวอย่างที่ 2

คนๆหนึ่งมวล 75 กิโลกรัม นั่งอยู่บนเก้าอี้ สมมติว่าขาเก้าอี้ทั้งสองข้างรับแรงกดเท่ากัน ถ้าพื้นที่หน้าตัดของขาแต่ละขา 650 ตารางมิลลิเมตร จงหาความเค้นอัดในขาเก้าอี้

วิธีทำ

$$\text{แรงกดที่ขาเก้าอี้แต่ละขา} = \frac{75}{4} \times 9.81 = 183.8 \text{ N}$$

$$\text{ความเค้นอัด } \sigma_c = \frac{183.8}{650}$$

$$= 0.283 \text{ N/mm}^2 \text{ หรือ } \text{MN/m}^2$$

ตอบ

แบบฝึกหัดกิจกรรมที่ 1

จงหาความเค้นดึงในเส้นลวดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร อยู่ภายใต้แรงดึง 150 นิวตัน

วิธีทำ

$$\text{จากสูตร} \quad \sigma_t = \frac{P}{A}$$

$$\text{เมื่อ } P = 150 \text{ N และ } A = \frac{\pi}{4} (2)^2 = 3.1416 \text{ mm}^2$$

$$\text{แทนค่า} \quad \sigma_t = \frac{150}{3.1416} = 47.746 \text{ N/mm}^2$$

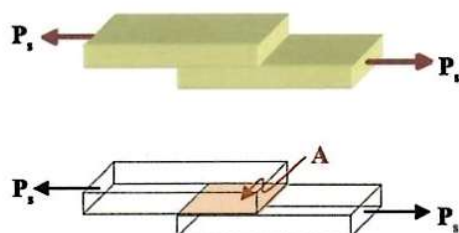
∴ ความเค้นดึงในลวดเท่ากับ 47.746 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

ตอบ

2 ความเค้นระนาบ (Plane Stresses)

ความเค้นระนาบ หมายถึง ความเค้นที่มีทิศทางไปตามระนาบที่เกิดความเค้นนั้น หรืออีกนัยหนึ่ง คือ ความเค้นที่มีทิศทางขนานกับพื้นที่ที่เกิดความเค้น ได้แก่ ความเค้นเฉือน (Shearing stress) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

2.1 ความเค้นเฉือนระนาบเดียว (Single shearing stress) ใช้สัญลักษณ์ τ เป็นอักษรกรีกตัวเล็ก อ่านว่า เทา (Tau) โดยพื้นที่รับแรงเฉือนจะขนานกับแนวแรงกระทำ



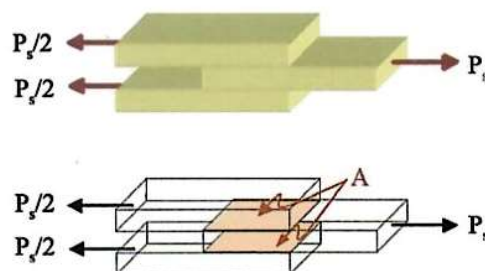
รูปที่ 6.4 ลักษณะการเกิดความเค้นเฉือนระนาบเดียว

ความเค้นเฉือนสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$\tau = \frac{P_s}{A} \quad (6.5)$$

เมื่อ τ = ความเค้นเฉือน
 P_s = แรงเฉือนที่มากระทำ
 A = พื้นที่หน้าตัดรับแรงเฉือน

2.2 ความเค้นเฉือนสองระนาบ (Double shearing stress) ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 6.5 โดยพื้นที่รับแรงเฉือนจะขนานกับแนวแรงกระทำ แต่พื้นที่รับแรงเฉือนจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นพื้นที่คู่กัน



รูปที่ 6.5 ลักษณะการเกิดความเค้นเฉือนสองระนาบ

ความเค้นเฉือนสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$\tau = \frac{P_s}{2A} \quad (6.6)$$

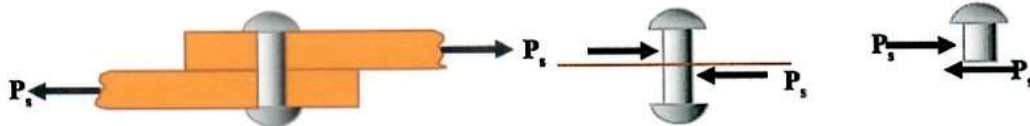
เมื่อ τ = ความเค้นเฉือน

P_s = แรงภายนอกที่พยายามเฉือนให้วัตถุขาดออกจากกัน

A = พื้นที่หน้าตัดรับแรงเฉือน

จากภาพประกอบ สังเกตได้ว่า พื้นที่หน้าตัด A ขนานกับแนวแรง P

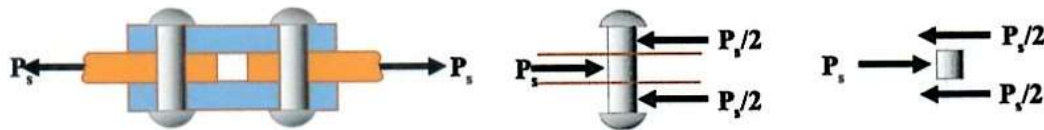
ความเค้นเฉือนมักจะเกิดในสลักเกลียว หมุดย้ำที่ใช้ในการยึดต่อชิ้นส่วนของโครงสร้างหรือส่วนประกอบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ดังรูปที่ 6.6



$$\tau = \frac{P_s}{2A} = \frac{P_s}{\pi d^2/4} \quad (6.7)$$

รูปที่ 6.6 แรงที่กระทำกับหมุดย้ำ

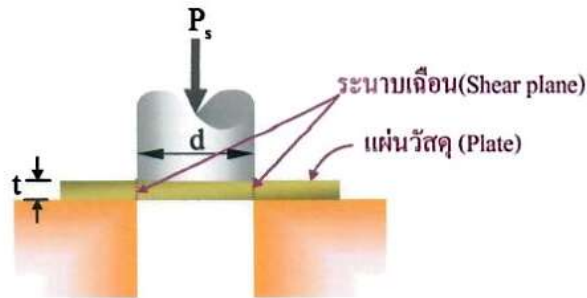
ในกรณีที่ใช้แผ่นเหล็กยึดต่อสองแผ่น จะแสดงดังรูปที่ 6.7



$$\tau = \frac{P_s}{2A} = \frac{P_s}{\pi d^2/2} \quad (6.8)$$

รูปที่ 6.7 แรงกระทำหมุดย้ำกรณีมีแผ่นประกบ

2.3 ความเค้นเฉือนเฉาะ (Punching Shearing Stress) เกิดจากแรงที่พยายามจะเฉือนเฉาะแผ่นวัสดุให้ขาดตามรอยเฉาะ ดังแสดงในรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 ความเค้นเฉือนเฉาะ (Punching Shearing Stress)

$$\tau_{ps} = \frac{P_s}{A_s} = \frac{P_s}{\pi dt}$$

———— (6.9)

เมื่อ

P_s = แรงเฉือน

A_s = พื้นที่รับแรงเฉือน

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของรูเฉาะ

t = ความหนาของแผ่นวัสดุ

การคิดเครื่องหมาย (Sign Convention)

1. แรงดึง (Tension) และความเค้นดึง (Tensile stress) มีเครื่องหมายเป็นบวก
2. แรงอัด (Compression) และความเค้นอัด (Compressive stress) มีเครื่องหมายลบ

3

หน่วยของความเค้น (Stress)

หน่วย FPS ปอนด์/นิ้ว² หรือ psi

หน่วย MKS กก/ม²

หน่วย SI นิวตัน/ม² (N/m²) แต่เป็นหน่วยเล็ก บางครั้งจึงใช้ MN/m² หรือ GN/m²

1 MN/m² (เมกะนิวตัน/ม²) = 10⁶ นิวตัน/ม²

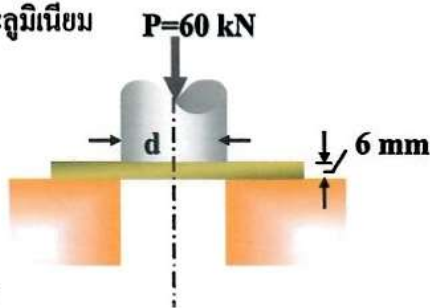
1 GN/m² (จิกะนิวตัน/ม²) = 10⁹ นิวตัน/ม²

นิวตัน / ม² บางครั้งเรียกว่าพาสคาล (Pascal) เขียนย่อว่า Pa



ตัวอย่างที่ 3

ถ้าวัตถุชิ้นหนึ่งมีแรง P กระทำดังรูปมีค่า 60 กิโลนิวตัน ซึ่งใช้การเจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร จงหาค่าความเค้นเฉือนในแผ่นอะลูมิเนียม



วิธีทำ

จากสูตร $\tau = \frac{P}{A}$

เมื่อ $P = 120 \times 10^3 \text{ N}$ และ $A = \pi dt = \pi \times 25 \times 6 = 471.2388 \text{ mm}^2$

แทนค่า $\tau = \frac{60 \times 10^3}{471.2388} = 127.324 \text{ N/mm}^2$

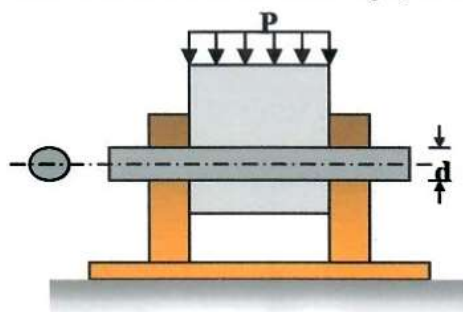
\therefore ความเค้นเฉือนในแผ่นอะลูมิเนียมเท่ากับ 127.324 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

ตอบ



ตัวอย่างที่ 4

ในรูปแสดงถึงเครื่องมือชนิดหนึ่ง ซึ่งใช้สำหรับหาความแข็งแรงในการรับแรงเฉือนของโลหะ โดยการออกแรง P จนกระทั่งเหล็กตัวอย่างขาดออกโดยแรงเฉือน ถ้า d เท่ากับ 15 มิลลิเมตร และแรง P เท่ากับ 120 กิโลนิวตัน ทำให้เหล็กตัวอย่างขาด ความเค้นเฉือนสูงสุดของเหล็กตัวอย่งนั้นมีค่าเท่าใด



วิธีทำ

จากสูตร $\tau = \frac{P}{2A}$ (double shear)

เมื่อ $P = 120 \times 10^3 \text{ N}$ และ $A = \frac{\pi}{4}(15)^2 = 176.714 \text{ mm}^2$

แทนค่า $\tau = \frac{120 \times 10^3}{2 \times 176.714} = 339.531 \text{ N/mm}^2$

\therefore ความเค้นเฉือนสูงสุดเท่ากับ 339.531 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

ตอบ

4 สรุปเนื้อหาบทเรียนความเค้น

1. ความเค้นหมายถึงขนาดของแรงที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยของพื้นที่
2. ความเค้นได้จากแรงหารด้วยพื้นที่หน้าตัด ดังนั้นความเค้นจึงมีหน่วย แรง/พื้นที่ เช่น กก./ซม.²
3. ชนิดของความเค้นแบ่งตามลักษณะของแรงที่กระทำ ได้แก่ความเค้น คือความเค้นอัด ความเค้นดึง ความเค้นเฉือน
4. ความเค้น = แรงกระทำ / พื้นที่รับแรง

แบบฝึกกิจกรรมที่ 2

1. หมุดย้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร อยู่ภายใต้แรงเฉือนระนาบเดียว 1,000 นิวตัน จงหาความเค้นเฉือนในหมุดย้ำ

วิธีทำ พื้นที่ที่โดนเฉือน $= \frac{\pi}{4} \times 10^2 \text{ mm}^2$

ความเค้นเฉือน $\tau = \frac{1000}{\frac{\pi}{4} \times 10^2}$
 $= 12.72 \text{ N/mm}^2 \text{ หรือ } \text{MN/m}^2$

ตอบ

2. จงหาแรงตัดเจาะของแผ่นโลหะหนา 18 มิลลิเมตร จะต้องเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ถ้า shear strength ของวัสดุ = 300 N/mm^2

วิธีทำ

ในการตัดเจาะแผ่นโลหะจะโดนเฉือน

พื้นที่เฉือน = เส้นรอบวงของรูเจาะ \times ความหนาของแผ่นโลหะ

$$A = \pi \times 12 \times 18 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{P}{A}$$

$$P = 300 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) \times \pi \times 12 \times 18 (\text{mm}^2)$$

$$= 203,600 \text{ N}$$

\therefore แรงเฉือนที่ใช้ในการตัดเจาะ เท่ากับ 203,600 N หรือ 203.6 kN

ตอบ