



ฟิสิกส์

ของแข็งและของไหล

ม.6



แนะนำ
ร้านผู้ขายของดี
๑๐๐ พล. สุชาติ สุภาพ
ในแอปฯ ลาซาด้า และ TIKTOK
ใช้คูปอง QR โค้ด ๑๐1๖1



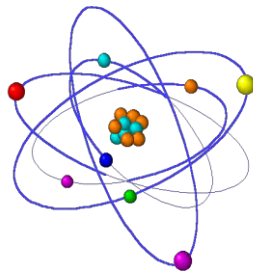
SHOPEE



Lazada

ราคา
99
บาท

เรียบเรียงโดย : ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุชาติ สุภาพ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



ฟิสิกส์ ม. ปลาช
ของแข็งและของไหล

ผศ.สุชาติ สุภาพ

พิมพ์และจัดจำหน่ายโดย

สุชาติ สุภาพ

133/471 หมู่ 2 (ติดกับ สนง. ที่ดินบางบัวทอง) ต.พิมลราช อ.บางบัวทอง
จ.นนทบุรี 11110

E - mail suchart11111@hotmail.com

พิมพ์ที่ หจก. SPS 1999 ม.เพชรอนันต์ เขตคันนายาว กรุงเทพฯ 10230

คำนำ

ถ้าวรอบตัวเรามีหลากหลายรูปแบบ ตั้งแต่ของแจึงที่แจึงแรงทนทาน ไปจนถึงของไหลที่สามารถเปลี่ยนรูปร่างและเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ ความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมของของแจึงและของไหล จึงเป็นกุญแจสำคัญในการอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในธรรมชาติ รวมถึงการพัฒนาเทคโนโลยีและการออกแบบวิศวกรรมในโลกปัจจุบัน หนังสือเล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อให้ นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ได้เรียนรู้และเข้าใจเนื้อหาเกี่ยวกับคุณสมบัติของของแจึง เช่น ความเค้น ความเครียด และความยืดหยุ่น ตลอดจนคุณสมบัติของของไหล เช่น ความหนาแน่น ความดัน ความหนืด การไหลแบบลามินาร์และปั่นป่วน ไปจนถึงการประยุกต์ใช้หลักของแบร์นูลลีและอาร์คิมิดีสในชีวิตจริง เนื้อหาถูกเรียบเรียงอย่างเป็นระบบ พร้อมภาพประกอบ ตัวอย่างโจทย์ และแบบฝึกหัด เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้แบบเข้าใจง่าย และกระตุ้นให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงทฤษฎีกับสถานการณ์ในชีวิตประจำวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้จะช่วยเสริมสร้างพื้นฐานทางพิสิทธ์ที่มั่นคง และเป็นแรงบันดาลใจให้กับนักเรียนในการเรียนรู้ วิจัย และต่อยอดความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในระดับที่สูงขึ้นต่อไป

ถ้าท่านสนใจหนังสือในรูปแบบ E-BOOK ก็มีจำหน่ายที่เว็บไซต์ ร้านนายอินทร์ , MEB , อุกปิ , ซีเอ็ด , hystexts , ศูนย์หนังสือจุฬาฯ และ DDebook

สำหรับท่านที่สนใจหนังสือของกระผมแต่หาซื้อตามร้านหนังสือทั่วไป ไม่ได้ สามารถซื้อออนไลน์ที่แอปต่าง ๆ โดยสแกน QR โค้ดข้างล่างนี้ (ที่ช้อปปีมีหนังสือมากที่สุด)



สุชาติ สุภาพ

มือถือ ๐๘๓-๑๒๐-๓๘๒๕

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 17 ของแข็งและของไหล	4
17.1 สมบัติความยืดหยุ่นของของแข็ง	4
17.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด	10
17.3 ของไหล	18
17.4 ความหนาแน่น	19
17.5 ความดันในของไหล	20
17.5.1 ความดันในของเหลวขึ้นอยู่กับความลึก	21
17.5.2 เครื่องวัดความดัน	33
17.5.3 ความดันกับชีวิตประจำวัน	34
17.6 กฎของพาสคัล	39
17.7 แรงพุงและหลักของอาร์คิมิดีส	44
17.8 ความตึงผิว	65
17.9 ความหนืด	80
17.10 พลศาสตร์ของของไหล	90
17.10.1 ของไหลอุดมคติ	90
17.10.2 การไหลของของไหลอุดมคติ	92
17.10.3 สมการความต่อเนื่อง	95
17.10.4 สมการแบร์นูลลี	101
17.10.5 การประยุกต์ของสมการแบร์นูลลี	116

%%%%%%%%%

บทที่ 17

ของแข็งและของไหล

ในโลกของสสารรอบตัวเรา ไม่ว่าจะเป็นน้ำดื่มในขวด ไต้ที่ใช้นั่งทำงาน หรืออากาศที่หายใจเข้า ล้วนประกอบขึ้นจากสสารที่อยู่ในรูปแบบต่าง ๆ โดยเฉพาะสองสถานะสำคัญที่เราพบเห็นบ่อยที่สุดคือ ของแข็ง และ ของไหล ของแข็งมีรูปร่างแน่นอน โมเลกุลเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ และมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันสูง จึงทำให้วัตถุไม่เปลี่ยนรูปร่างง่ายในทางตรงกันข้าม ของไหล เช่น ของเหลวและแก๊ส ไม่มีรูปร่างแน่นอน สามารถไหลและเปลี่ยนรูปร่างไปตามภาชนะที่บรรจุได้ การศึกษาพฤติกรรมของของแข็ง และของไหล เช่น ความต้านทานต่อแรงกด แรงดันของของเหลว ความหนาแน่น และการไหลของของไหล ไม่เพียงแต่ช่วยให้เราเข้าใจธรรมชาติของสสาร แต่ยังเป็นพื้นฐานสำคัญในงานวิศวกรรม เทคโนโลยี การแพทย์ และการออกแบบเครื่องจักรต่าง ๆ อีกด้วย

17.1 สมบัติความยืดหยุ่นของของแข็ง

วัตถุเกือบทุกอย่างเมื่อได้รับแรงกระทำรูปร่างจะเปลี่ยนแปลงมากบ้างน้อยบ้างแล้วแต่ชนิดของวัตถุ วัตถุที่เปลี่ยนรูปร่างได้มาก ได้แก่สปริง ฟองน้ำ ลูกโป่ง ฯลฯ ดังรูป



วัตถุที่มีความยืดหยุ่นสูง

วัตถุทุกสิ่งทุกอย่างในโลกนี้ มีความยืดหยุ่นด้วยกันทั้งสิ้น บางอย่างมีความยืดหยุ่นมากบางอย่างมีความยืดหยุ่นน้อย ไม่มีอะไรเลยที่ไม่มีคามยืดหยุ่น โลหะทุกชนิดก็มีความยืดหยุ่น เช่น เหล็กก็มีความยืดหยุ่นมากกว่าอิฐหรือปูน ดังนั้นในการก่อสร้างอาคารต่าง ๆ จึงมักใช้เหล็กเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างอาคารเพื่อช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น อาคารสูงที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างจะสามารถแกว่งตัวได้มากโดยไม่เกิดความเสียหาย



๗

เหล็กเส้นช่วยเพิ่มความยึดหยุ่นให้กับพื้นและเสาคอนกรีต

ความเค้น (stress; σ)

ความเค้นหมายถึง แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากไม่สามารถวัดแรงต้านภายในได้ จึงใช้ขนาดของแรงภายนอกแทนเนื่องจากมีขนาดเท่ากันแต่ทิศตรงข้าม (ตามกฎข้อ 3 ของนิวตัน) หรือเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (17-1)$$

เมื่อ F คือแรงดึงหรือแรงอัด

A คือพื้นที่หน้าตัดมีหน่วยเป็นตารางเมตร

ความเค้น มีหลายชนิดในที่นี้จะกล่าวถึงเพียง ๒ ชนิด คือ

1) ความเค้นตามยาว

๒) ความเค้นเฉือน

1) ความเค้นตามยาว (longitudinal stress) แบ่งได้ ๒ ชนิด คือ

เมื่อวัสดุชิ้นหนึ่งถูกออกแรงดึงหรือแรงกดตามแนวแกนยาว เช่น แท่งโลหะที่ถูกดึงด้วยแรงสองด้าน หรือเสาเข็มที่ถูกกดลง จะเกิดสิ่งที่เรียกว่า “ความเค้นตามยาว” ขึ้นภายในวัสดุ

ความเค้นตามยาว แบ่งได้ ๒ ชนิด คือ

ก) ความเค้นอัด

ข) ความเค้นดึง



ความเค้นตามยาว

ก) ความเค้นอัด (compressive stress)

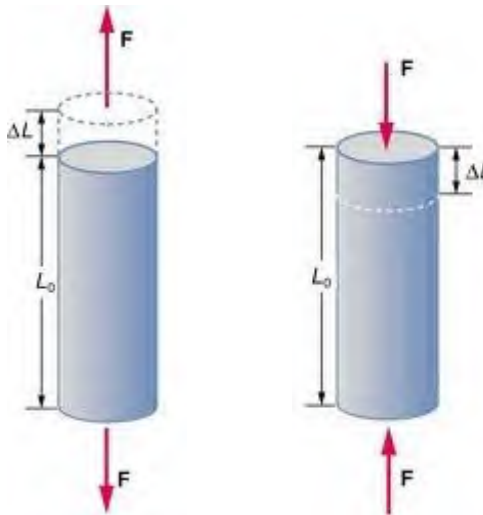
หมายถึงความเค้นที่เกิดจากแรงที่พยายามทำให้วัตถุหดสั้นลง ดังรูป



วัตถุที่ได้รับความเค้นอัด

ข) ความเค้นดึง (Tensile Stress)

ความเค้นดึง หมายถึงความเค้นที่เกิดจากการที่วัตถุได้รับแรงดึงที่ปลายทั้งสองของวัตถุ ความเค้นดึง เป็นความเค้นที่พยายามทำให้วัตถุยืดออก หรือเป็นความเค้นที่พยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน ดังรูป

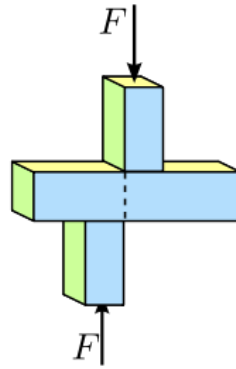


แท่งหลอดที่ถูกดึงจะมีความเค้นดึง

ความเค้นเฉือน (Shear Stress ; σ_s)

ก่อนจะกล่าวถึงความเค้นเฉือนขอกล่าวถึงแรงเฉือนก่อน ดังนี้

แรงเฉือนคือคู่ของแรง ๒ แรงที่ขนานกัน แต่ไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกัน และกระทำในทิศทางตรงข้ามกัน ดังรูป



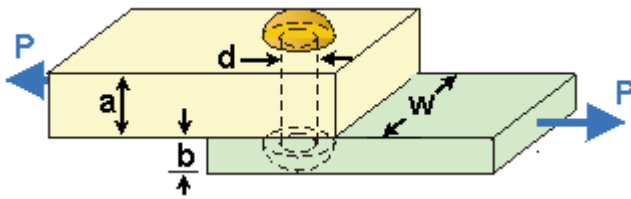
แรงฉีก

อัตราส่วนระหว่างแรงฉีกต่อพื้นที่เรียกว่า ความเค้นเฉือน (shear stress).

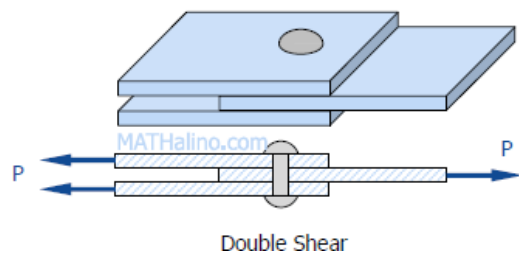
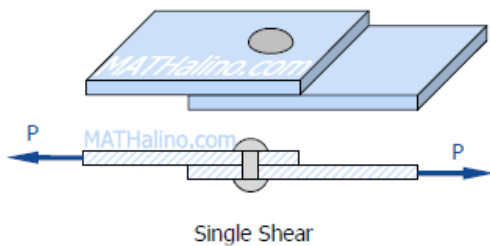
$$\sigma_s = \frac{F}{A}$$

เมื่อ F คือ แรงฉีก

A คือ พื้นที่ที่ทำงานกับแรงฉีก

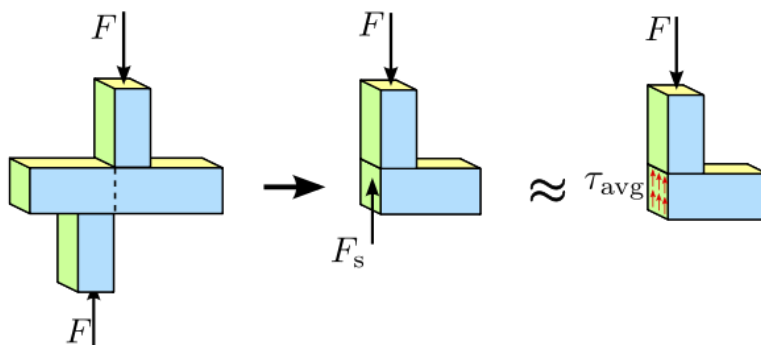


ความเค้นเฉือน



แรงฉีก

พื้นที่ที่ทำงานกับแรงฉีก คือพื้นที่บริเวณที่มีลูกศรทางด้านขวามือ ดังรูป



พื้นที่ที่ทนทานกับแรงเค้น

ความเครียด (*strain*; ε) หมายถึงค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างต่อหน่วยความยาว

ความเครียด มี 2 ชนิด คือ

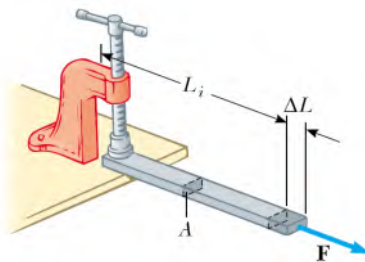
1) ความเครียดตามยาว

2) ความเครียดเฉือน

ความเครียดตามยาว หมายถึงอัตราส่วนระหว่างความยาวที่เปลี่ยนไป (ΔL) ต่อความยาวเดิม (L) ของวัตถุ หรือเขียนเป็นสมการได้ว่า

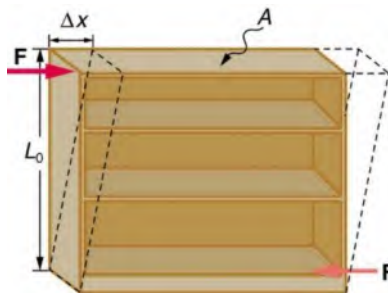
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (17-2)$$

เมื่อ ε คือความเครียด ΔL คือความยาวของวัตถุที่เปลี่ยนไป L คือความยาวเดิมของวัตถุ



รูปวัตถุที่ได้รับแรงดึงจะมีความเครียด

ความเครียดเฉือน (*shear strain*; γ) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงมุมของวัตถุ ดังรูป



วัตถุที่ได้รับความเครียดเฉือน

$$\text{ความเครียดเฉือน } (\gamma) = \frac{\Delta x}{L_0} \quad (17-3)$$

เมื่อ Δx คือระยะที่วัตถุเบนไปจากแนวเดิม

h คือความสูงของวัตถุ

ตัวอย่าง ถ้าลวดอลูมิเนียมสามารถทนความเค้น (s) ได้มากที่สุด $100 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ ถ้าลวดนี้ได้รับแรงดึง $50 \times 10^3 \text{ N}$ จงหาว่าต้องใช้ลวดอลูมิเนียมที่มีขนาดอย่างน้อยที่สุดเท่าใด จึงจะทนแรงดึงขนาดนี้ได้

วิธีทำ จาก

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

ดังนั้นลวดต้องมีพื้นที่หน้าตัด (A) อย่างน้อย = $500 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

$$A = \pi r^2$$

$$500 \times 10^{-6} \text{ m}^2 = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times 500 \times 10^{-6} \text{ m}^2} = 25.23 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

ลวดอลูมิเนียมต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 25.2 มิลลิเมตร

ตอบ

อัตราส่วนระหว่างความเค้นกับความเครียดเรียกว่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นหรือเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\text{modulus} = \frac{\text{stress}}{\text{strain}} \quad (17-4)$$

โมดูลัสของความยืดหยุ่นมี 3 ชนิด คือ

1) ยั่งโมดูลัส 2) เชียร์โมดูลัส 3) บัลล์โมดูลัส

1) ยั่งโมดูลัส (Young's modulus)

ยั่งโมดูลัสเป็นโมดูลัสตามยาว หมายถึงอัตราส่วนระหว่างความเค้นดึงหรืออัดกับความเครียดดึงหรืออัด หรือเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$Y = \frac{\text{stress}}{\text{strain}}$$

$$Y = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L_i}}$$

$$Y = \frac{FL_i}{A\Delta L} \quad (17-5)$$

สมการ (17-5) เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่ายังโมดูลัสของวัสดุต่าง ๆ

มอดูลัสของความยืดหยุ่น และขีดจำกัดของความยืดหยุ่นเป็นสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุ มีประโยชน์มากในด้านวิศวกรรม วัสดุที่มีค่ามอดูลัสมาก เป็นวัสดุที่สามารถทนต่อแรงภายนอกได้มาก และเปลี่ยนรูปร่างได้ยากและวัสดุแต่ละชนิดจะมีค่า โมดูลัสความยืดหยุ่น (*modulus of elasticity*) ต่างกัน

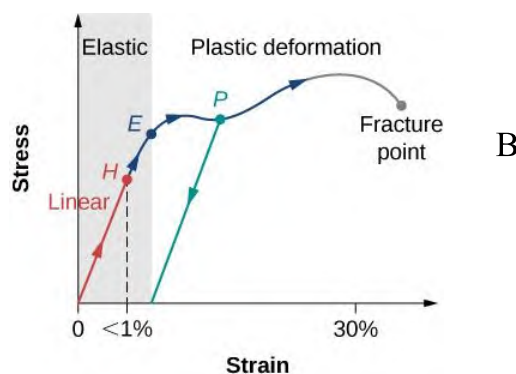


สิ่งที่มีความเค้นและความเครียดถึงตลอดเวลา

17.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

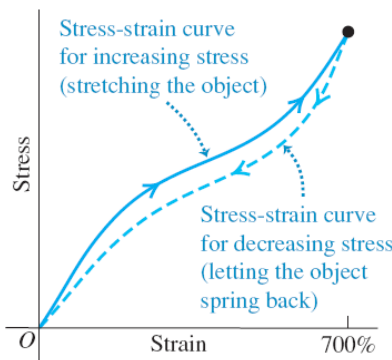
เมื่อเราดึงหรือบีบวัตถุ วัตถุนั้นจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างหรือขนาด ซึ่งปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้ด้วยแนวคิดพื้นฐานทางฟิสิกส์เรื่อง ความเค้น และ ความเครียด ในทางฟิสิกส์ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเป็นหัวใจสำคัญของการวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุภายใต้แรง โดยเฉพาะในช่วงที่วัตถุยังคงคุณสมบัติเชิงเส้น ซึ่งนำไปสู่กฎของฮุก ที่กล่าวว่า ความเค้นแปรผันตรงกับความเครียด การทำความเข้าใจความสัมพันธ์นี้จึงเป็นพื้นฐานสำคัญในการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ ฟิสิกส์วัสดุ และการออกแบบโครงสร้างต่าง ๆ ตั้งแต่เสาเข็มอาคารไปจนถึงปีกเครื่องบิน ในหัวข้อนี้เราจะได้เรียนรู้วิธีคำนวณและวิเคราะห์ค่าความเค้น ความเครียด และค่าคงตัวของวัสดุ เช่น มอดูลัสของยัง รวมถึงการแปลผลจากกราฟความเค้น-ความเครียด เพื่อเข้าใจพฤติกรรมของวัสดุอย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้น

ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (σ) กับความเครียด (ϵ) ทำได้โดยการนำลวดโลหะมาทดสอบแรงดึง แล้วเพิ่มแรงดึงทีละน้อยจนกระทั่งลวดขาด ถ้าเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด จะได้กราฟดังรูป



ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดถึง

ในช่วงแรก(ช่วง $O \rightarrow H$) กราฟจะเป็นเส้นตรง จุด H เรียกว่าขีดจำกัดการแปรผันตรง (proportional limit) ถ้าออกแรงดึงต่อไป เส้นกราฟจะเริ่มโค้งเล็กน้อย จุด E เรียกว่าขีดจำกัดของความยืดหยุ่นหรือยิลด์พอยท์ (elastic limit or yield point) ความเค้นที่จุดนี้จะเป็นความเค้นสูงสุดที่วัตถุยังไม่มี การเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร แต่ถ้าออกแรงถึงเกินจุด E เส้นลวดจะเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร เรียกสภาวะที่เส้นลวดได้รับถึงเกินจุด E ว่าสภาวะพลาสติก เส้นลวดจะไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้ และเมื่อค่อยๆลดแรงดึงลงจนเป็นศูนย์ แต่ถ้าออกแรงถึงเส้นลวดเกินจุด E ออกไปอีก ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดจะเป็นไปตามเส้นกราฟในช่วง $E \rightarrow B$ เมื่อเส้นกราฟไปถึงจุด B เส้นลวดจะขาด จุด B นี้เรียกว่าจุดแตกหัก (fracture point)



ความเค้นกับความเครียด ขณะออกแรงดึง และขณะลดแรงดึง

2) เชียร์โมดูลัส (shear modulus)

นอกจากวัตถุจะสามารถเปลี่ยนรูปร่างได้จากการดึงหรือกดในแนวตรงแล้ว ยังสามารถเปลี่ยนรูปร่างจากแรงที่กระทำในแนวเฉียงหรือขนานกับผิวหน้าของวัตถุได้ด้วย แรงลักษณะนี้เรียกว่า แรงเฉือน (Shearing force) ซึ่งทำให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนรูปที่เรียกว่า การเสีกรูปแบบเฉือน การวัดความสามารถของวัสดุในการต้านทานการเปลี่ยนรูปจากแรงเฉือน เราใช้ปริมาณที่เรียกว่า เชียร์โมดูลัส หรือ มอดูลัสเฉือน ซึ่งเป็นค่าที่บอกว่าวัสดุชนิดนั้นสามารถต้านทานการบิดเบี้ยวได้ดีเพียงใด ยิ่งค่ามอดูลัสเฉือนสูง วัสดุก็ยิ่งแข็งแรงต่อแรงเฉือน เช่น เหล็กและโลหะต่าง ๆ มักมีเชียร์โมดูลัสสูง ในขณะที่ยางหรือพลาสติกจะมีค่านี้นต่ำกว่า ความเข้าใจเกี่ยวกับเชียร์โมดูลัสมีความสำคัญอย่างมากในงานวิศวกรรม การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล การวิเคราะห์โครงสร้าง และวัสดุศาสตร์ เพราะแรงเฉือนพบได้บ่อยในโครงสร้างจริง ไม่ว่าจะเป็นการตัด การบิด หรือแรงที่เกิดในชิ้นส่วนที่กำลังรับน้ำหนัก

แรงที่กระทำต่อประตูดและบ้านเป็นแรงเฉือน คือแรงทั้งสองมีทิศตรงข้ามกันและแนวแรงขนานกัน ถ้าวัตถุได้รับแรงเฉือนในขนาดที่มากมาย รูปร่างของวัตถุจะเปลี่ยนไป อัตราส่วนระหว่างความเค้นเฉือนกับความเครียดเฉือนเรียกว่าเชียร์โมดูลัส (shear modulus) ใช้สัญลักษณ์ S เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$S = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta x}{h}}$$