

คุณสมบัติของโลหะเพื่อการแปรรูป

ยงยุทธ เสริมสุขธนวัฒน์ *

1. บทนำ

การแปรรูปโลหะ (metalworking) หมายถึงการใช้แรงหรือความดันทำให้โลหะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร ซึ่งในขณะที่โลหะถูกแปรรูปอาจมีการให้ความร้อนแก่โลหะหรือไม่ก็ได้ ปัจจุบันนี้มีการใช้กรรมวิธีแปรรูปโลหะกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เช่น การตี (forging) การรีด (rolling) การดึง (drawing) และการอัดขึ้นรูปก้อนโลหะ (extrusion) เป็นต้น กรรมวิธีการแปรรูปโลหะเหล่านี้ นับวันจะทวีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการผลิตโลหะรูปพรรณมากขึ้นทุกขณะ

แรงและความดันที่ใช้สำหรับแปรรูปโลหะมีอิทธิพลต่อการเลือกใช้เครื่องจักร การออกแบบแม่พิมพ์ ตลอดจนการกำหนดขั้นตอนของการแปรรูปโลหะ เรื่องเกี่ยวกับแรงสำหรับแปรรูปโลหะได้รับการวิเคราะห์ทางทฤษฎีมากกว่า 40 ปีแล้ว ในปัจจุบันยังไม่มีทฤษฎีทั่วไปที่สามารถคำนวณแรงสำหรับแปรรูปโลหะได้ถูกต้อง ทฤษฎีและวิธีการคำนวณที่มีอยู่ส่วนใหญ่ให้ค่าโดยประมาณเท่านั้น อย่างไรก็ตามทฤษฎีเหล่านี้ก็ช่วยให้การลองผิดลองถูกในทางปฏิบัติลดน้อยลง ซึ่งเป็นผลให้ประหยัดต้นทุนในการผลิต ดังนั้นวิธีการคำนวณแรงโดยประมาณจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง วิศวกรการผลิต ผู้ประกอบกิจการและผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการแปรรูปโลหะจึงควรให้ความสนใจเป็นพิเศษ

บทความนี้อธิบายถึงคุณสมบัติของโลหะเพื่อการแปรรูปที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนผลึก (recrystallization temperature) อันเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่สำคัญในการคำนวณแรงสำหรับแปรรูปโลหะ

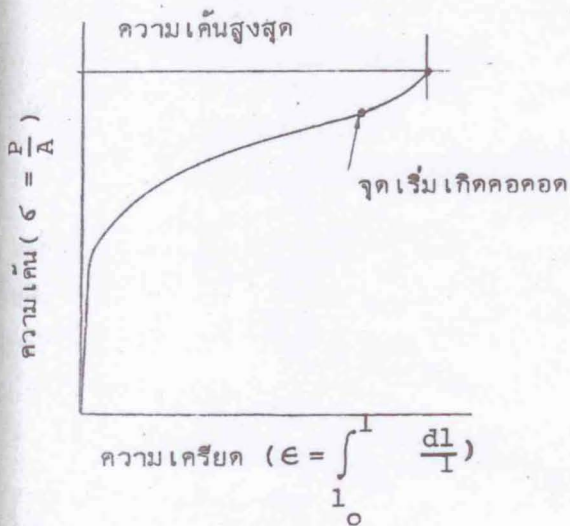
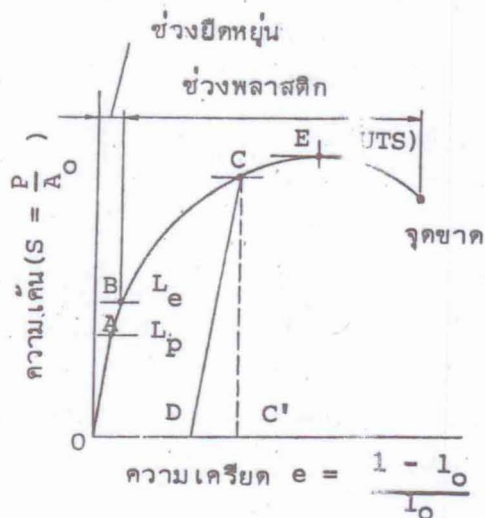
2. การเปลี่ยนรูปพลาสติกของโลหะ

การแปรรูปโลหะเป็นการทำให้โลหะเกิดการเปลี่ยนรูปพลาสติก (plastic deformation) โลหะจะเกิดการเปลี่ยนรูปพลาสติกเมื่อโลหะได้รับความเค้นสูงเท่ากับความเค้นคราก (yield stress) ความเป็นพลาสติกของโลหะสามารถศึกษาได้จาก engineering stress-strain curve ในรูป 1 - แสดง engineering stress-strain curve ของโลหะอบอ่อน (annealed metals) ซึ่งได้จากการทดสอบการดึง (tensile test)

ถ้าโลหะได้รับความเค้นจนเกิดความเค้นเท่ากับค่าแห่งจุด C (ในรูป 1) แล้วลดแรงเค้นจนเหลือศูนย์ ชิ้นงานทดสอบจะเกิดการเปลี่ยนรูปพลาสติกเท่ากับ OD ความยาว DC' คือส่วนที่เกิดการเปลี่ยนรูปยืดหยุ่น (elastic deformation) การเปลี่ยนรูปยืดหยุ่นเป็นสัดส่วนเพียงเล็กน้อยของการเปลี่ยนรูปทั้งหมด ด้วยเหตุนี้ในเรื่องของการแปรรูปโลหะจึงถือว่า การเปลี่ยนรูปจากก้อนโลหะเป็นชิ้นส่วนรูปพรรณเกิดจากการเปลี่ยนรูปพลาสติกอย่างเดียว

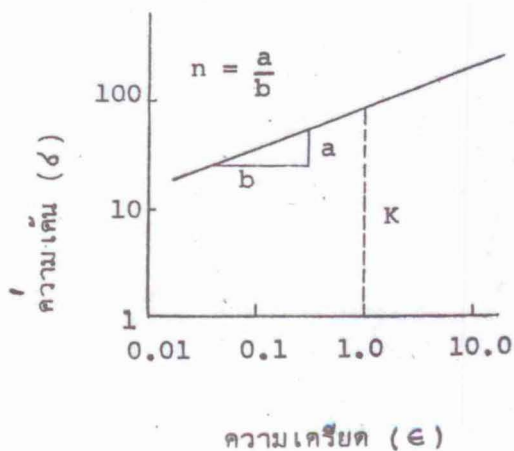
* อาจารย์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รูป 1 Engineering stress-strain curve จากการทดสอบการดึงโลหะอ่อน L_e = elastic limit L_p = proportional limit P = แรงดึง A_0 = พื้นที่หน้าตัดเดิมของชิ้นงานทดสอบ l = ความยาวของชิ้นงานทดสอบขณะได้รับแรง l_0 = ความยาวเดิมของชิ้นงานทดสอบ



รูป 2 true stress-strain curve หรือ เส้นความเค้นโตของโลหะอ่อนได้จากการทดสอบการดึง

รูป 3 แสดงวิธีการหาค่า K และ n



เมื่อเพิ่มแรงดึงให้กับชิ้นงานทดสอบต่อไปใหม่ ช่วงยืดหยุ่นประมาณได้ตามแนวเส้น CD ความเค้นครากจะมีค่าประมาณตำแหน่งจุด C นั่นคือความเค้นครากของโลหะเพิ่มขึ้นหลังจากที่โลหะเกิดการเปลี่ยนรูปพลาสติก ที่เป็นเช่นนี้เพราะโลหะเกิด strain hardening ถ้าหากว่าในการทดสอบมีการลดและเพิ่มแรงเช่นนี้หลาย ๆ ครั้ง โดยก่อนที่จะลดแรงแต่ละครั้งต้องทำให้ชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนรูปพลาสติก จุด C จะเปลี่ยนตำแหน่งไปตามเส้น BE เส้น BE จึงเป็นเส้นที่แสดงการเพิ่มขึ้นของความเค้นครากของโลหะที่ถูกแปรรูปมาก่อน จุด E เป็นจุดที่การเพิ่มขึ้นของความเค้นครากเนื่องจาก strain hardening สมดุลกับการเพิ่มขึ้นของความเค้นเนื่องจากการลดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานทดสอบ ที่จุด E นี้ชิ้นงานทดสอบเริ่มเกิดคอคอด (necking) หลังจากจุด E ไปแล้วความเครียดในบริเวณคอคอดไม่ขึ้นอยู่กับความเค้นเพียงอย่างเดียวแต่จะขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงานทดสอบด้วย ด้วยเหตุนี้เองค่าความยืด (elongation) ตรงจุดที่ชิ้นงานทดสอบขาดจึงไม่มีนัยสำคัญเกี่ยวกับคุณสมบัติของโลหะและการคำนวณแรงสำหรับแปรรูปโลหะ

3. คุณสมบัติของ โลหะเพื่อการแปรรูป

ถึงแม้ว่า engineering stress-strain curve จะแสดงความเป็นพลาสติกของ โลหะดังที่ได้กล่าวมาแล้วก็ตาม แต่ค่าความเค้นและความเครียดใน engineering stress-strain curve ไม่ใช่ค่าที่แท้จริง เพราะค่าความเค้นคำนวณจากพื้นที่หน้าตัดเดิมของชิ้นงานทดสอบและค่าความเครียดคำนวณจากความยาวเดิมของชิ้นงานทดสอบ โดยความเป็นจริงในขณะที่เกิดการเปลี่ยนรูปพลาสติก พื้นที่หน้าตัดและความยาวของชิ้นงานทดสอบเปลี่ยนแปลงไปอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นในทางการแปรรูปโลหะจึงใช้ true stress - strain curve แสดงคุณสมบัติของโลหะ และมักนิยมเรียก stress strain-curve ชนิดนี้ว่า "เส้นความเค้นไหล" (flow stress curve) รูป 2 แสดงลักษณะของเส้นความเค้นไหลของโลหะอบอ่อน ซึ่งเกิดจากการพลัดระหว่างค่าความเค้นจริง (σ) กับค่าความเครียดจริง (ϵ) โดยที่ความเค้นจริงคือแรงซึ่งกระทำกับชิ้นงานทดสอบหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงนั้น และความเครียดจริงคือผลรวมสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงความยาวของชิ้นงานทดสอบจากความยาวเดิมจนถึงความยาวใด ๆ ที่พิจารณา

4. การสร้างเส้นความเค้นไหลจาก engineering stress-strain curve

โดยใช้ข้อสมมุติฐานที่ว่าในการเปลี่ยนรูปพลาสติกปริมาตรของโลหะไม่เปลี่ยนแปลง จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของ engineering stress-strain curve กับของเส้นความเค้นไหลดังนี้

$$\sigma = S(e + 1)$$

$$\text{และ } \epsilon = \ln(e + 1)$$

สมการทั้งสอง มีประโยชน์ในการเปลี่ยน engineering stress-strain curve ให้เป็นเส้นความเค้นไหล

เส้นความเค้นไหลของโลหะอบอ่อนส่วนใหญ่สามารถเขียนในรูปของสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\sigma = K \cdot \epsilon^n$$

โดยที่ K คือค่าคงที่และ n คือตัวเลขยกกำลังซึ่งเรียกว่า strain hardening exponent

ค่า K และ n หาได้จากการพล็อตระหว่าง σ และ ϵ ในกระดาษกราฟล็อก-ล็อก (log-log paper) n คือค่าความลาดของเส้นกราฟและ K คือค่าความเค้นจริงที่ความเครียดจริงเท่ากับ 1 ดังแสดงไว้ในรูป 3

ความเครียดที่เกิดขึ้นในขบวนการแปรรูปโลหะส่วนใหญ่เป็นความเครียดอัด (compressive strain) และมีค่าสูงกว่าความเครียดที่เกิดขึ้นในชิ้นงานทดสอบการดึงมาก ความจริงการทดสอบโลหะเพื่อการแปรรูปควรใช้การทดสอบการอัด (compression test) มากกว่าการทดสอบการดึง แต่การทดสอบการอัดมีความยุ่งยากและเสียเวลาในการทดสอบมากกว่า ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงทดสอบโลหะด้วยการดึง แล้วปรับเส้นความเค้นไหลดึงที่ได้จากการทดสอบให้เหมาะกับการนำไปใช้ในด้านกาแปรรูปโลหะ โดยค่อยโยงเส้นความเค้นไหลดึงจากจุดเริ่มเกิดคอคอดไปจนถึงค่าความเครียดเท่ากับ 1 ซึ่งค่าความเครียดนี้สูงมากพอสำหรับงานแปรรูปโลหะทั่วไป

5. สรุป

เส้นความเค้นไหลดึงเป็นคุณสมบัติเบื้องต้นของโลหะที่มีความสำคัญต่อการคำนวณแรงสำหรับแปรรูปโลหะ การหาคุณสมบัติชนิดนี้ของโลหะทำได้ง่ายโดยใช้การทดสอบการดึง ผลจากการทดสอบ ในรูปของ engineering stress-strain curve สามารถเปลี่ยนให้เป็นเส้นความเค้นไหลดึง แรงหรือความดันสำหรับแปรรูปโลหะที่คำนวณจากเส้นความเค้นไหลดึงคือขนาดของแรงหรือความดันที่สูงเพียงพอที่จะทำให้โลหะเกิดการเปลี่ยนรูปพลาสติกอย่างสม่ำเสมอ (homogeneous deformation) เมื่อปรับค่าแรงที่คำนวณได้ให้สูงขึ้นโดยเพื่อการเสียทวนและเผื่องานสูญเปล่าอื่น ๆ (redundant work done) ซึ่งเกิดขึ้นตามเงื่อนไขและชนิดของขบวนการแปรรูปแล้ว ก็จะได้ค่าแรงหรือความดันซึ่งใกล้เคียงกับความเป็นจริงยิ่งขึ้น ค่าประมาณเหล่านี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการออกแบบอุปกรณ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการแปรรูปโลหะ การกำหนดขนาดของเครื่องจักรในการแปรรูป และการวางแผนการผลิต.

บรรณานุกรม

1. J.M. ALEXANDER, R.C. BREWER, Manufacturing Properties of Materials, Van Nostrand, 1963.
2. J.C. ANDERSON, et al., Materials Science, Nelson, ELBS 2nd Edn, 1977.
3. A.J. LISSAMAN, S.J. MARTIN, Principles of Engineering Production, The English Universities Press, 1964.
4. J.A. SCHEY, Introduction to Manufacturing Processes, McGraw-Hill, 1977.
5. G.E. DIETER, Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill, 2nd Edn, 1976.
6. G.W. ROWE, Elements of Metalworking Theory, Edward Arnold, 1979.
7. W. JOHNSON, P.B. MELLOR, Engineering Plasticity, Van Nostrand, 1975.