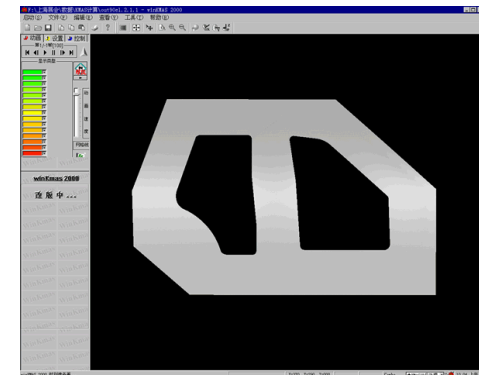
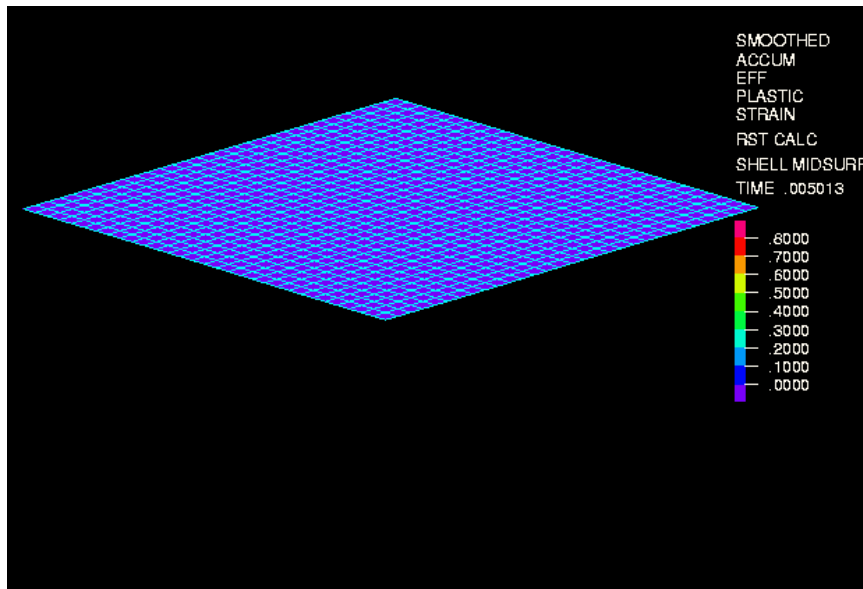
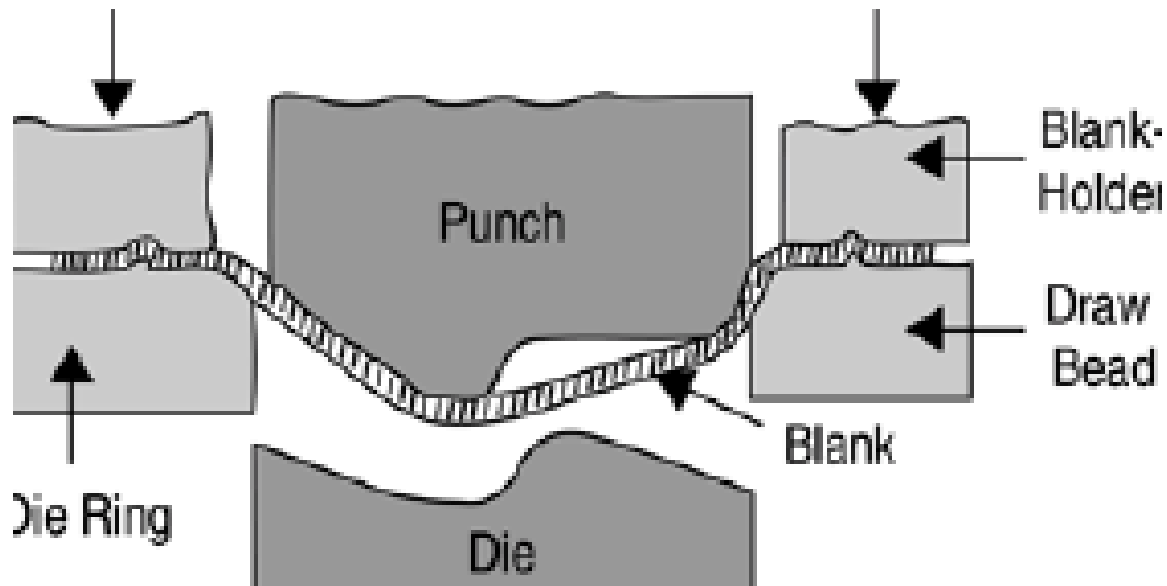
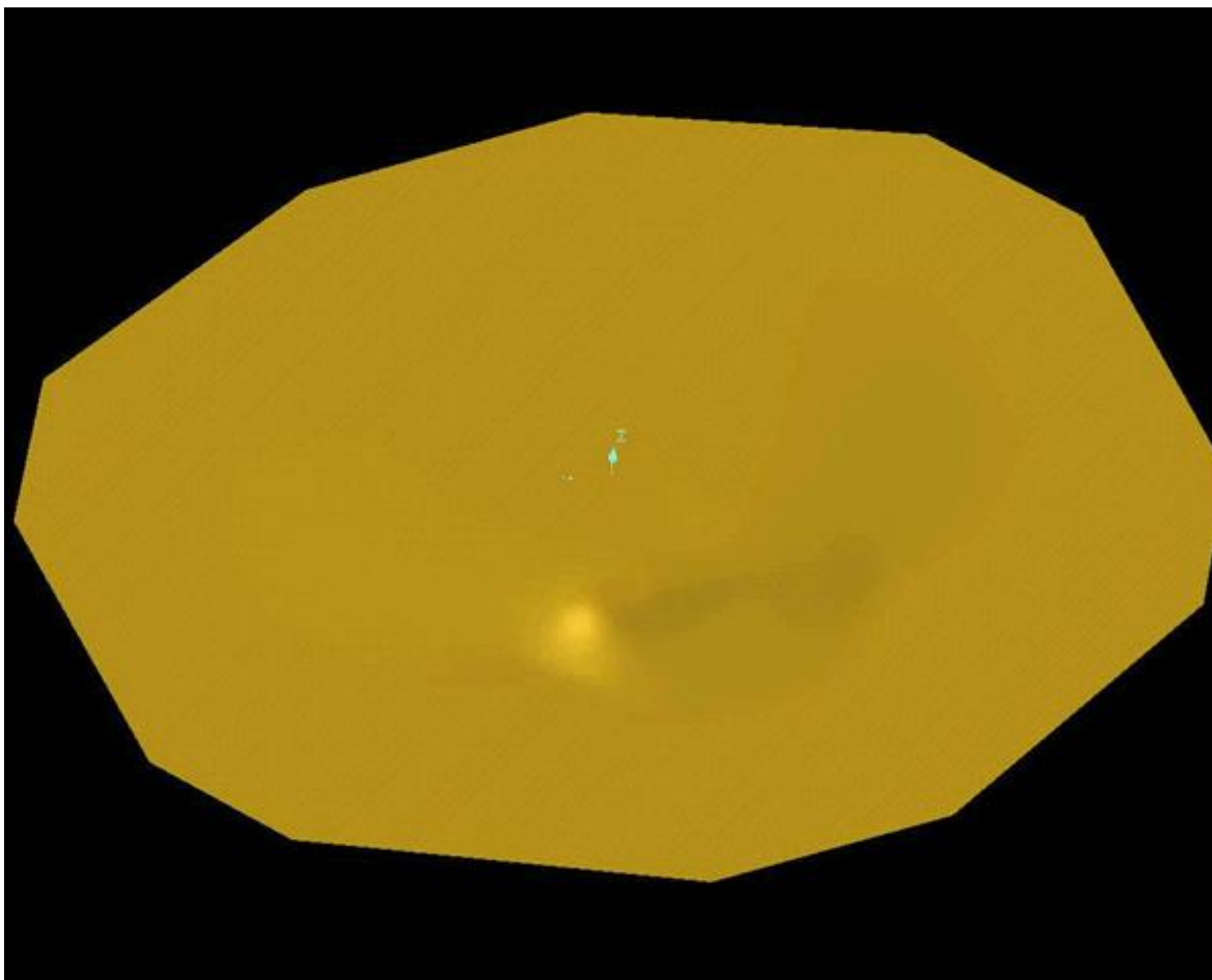


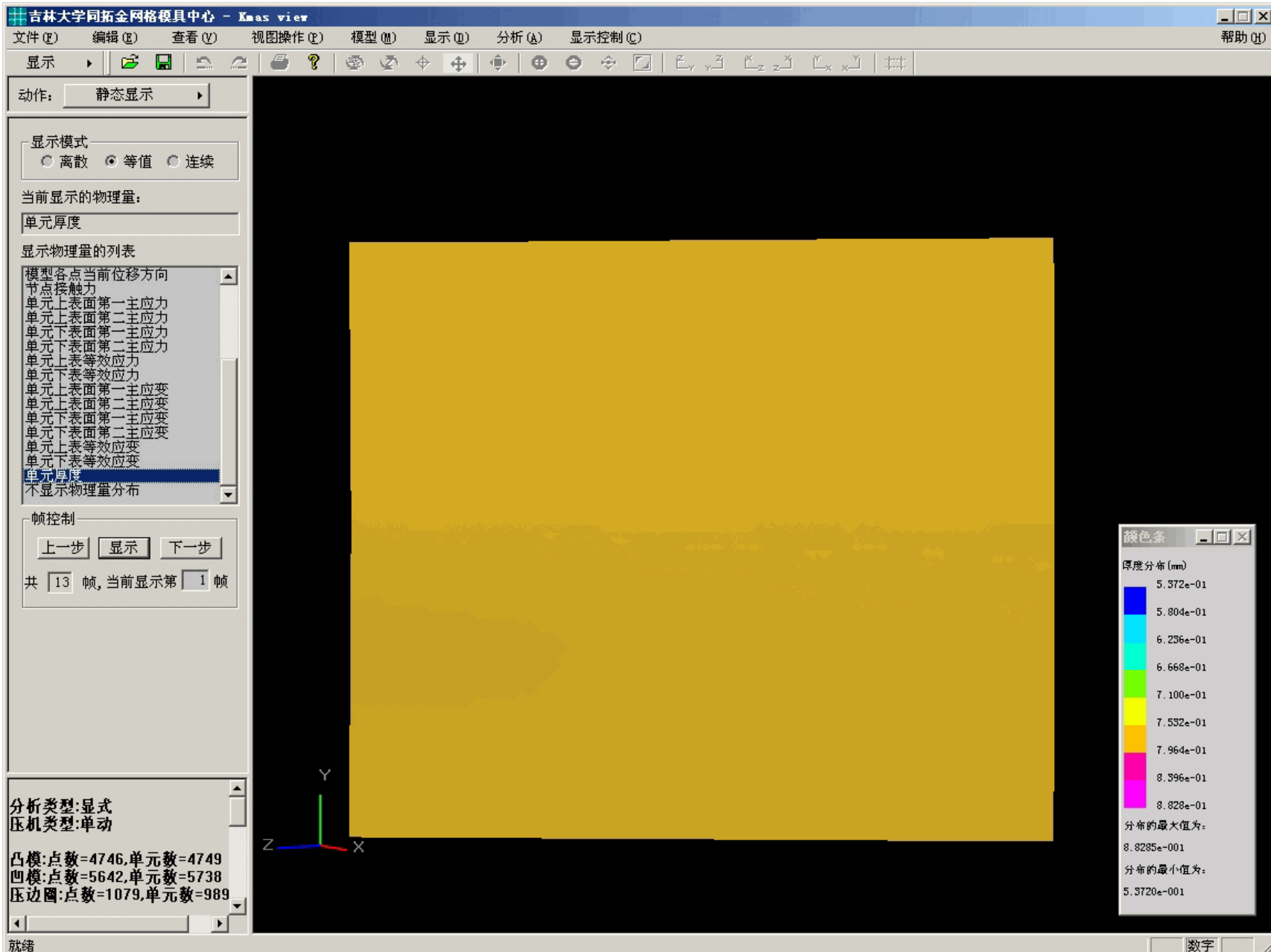
7. การลากขึ้นรูป (Deep Drawing)

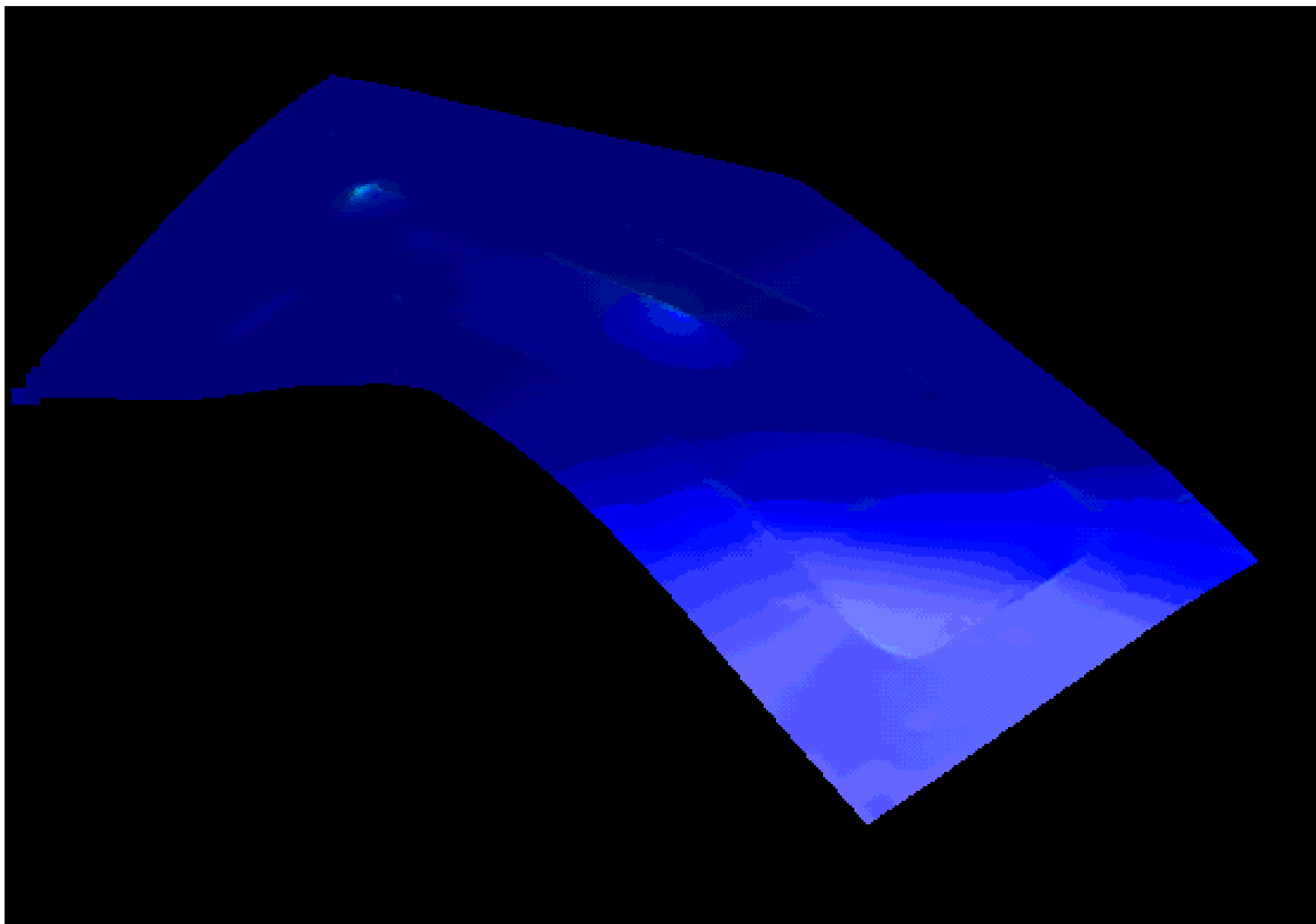


ผศ.ธรรมณชาติ วันแต่ง

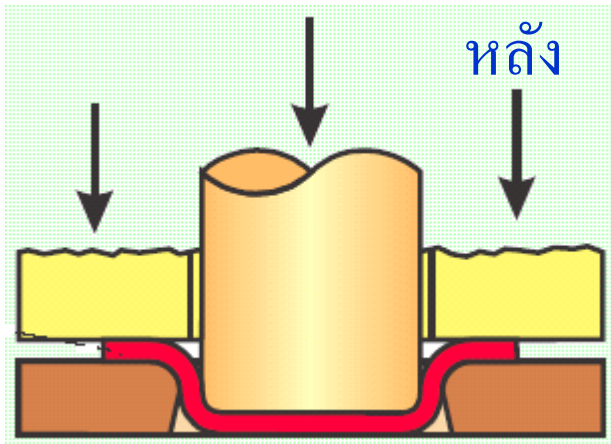
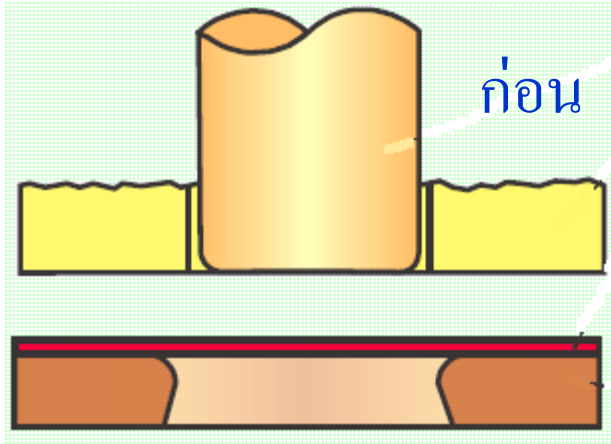




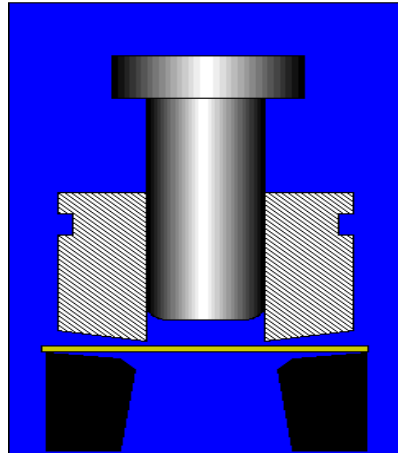




• Drawing การลากขึ้นรูป



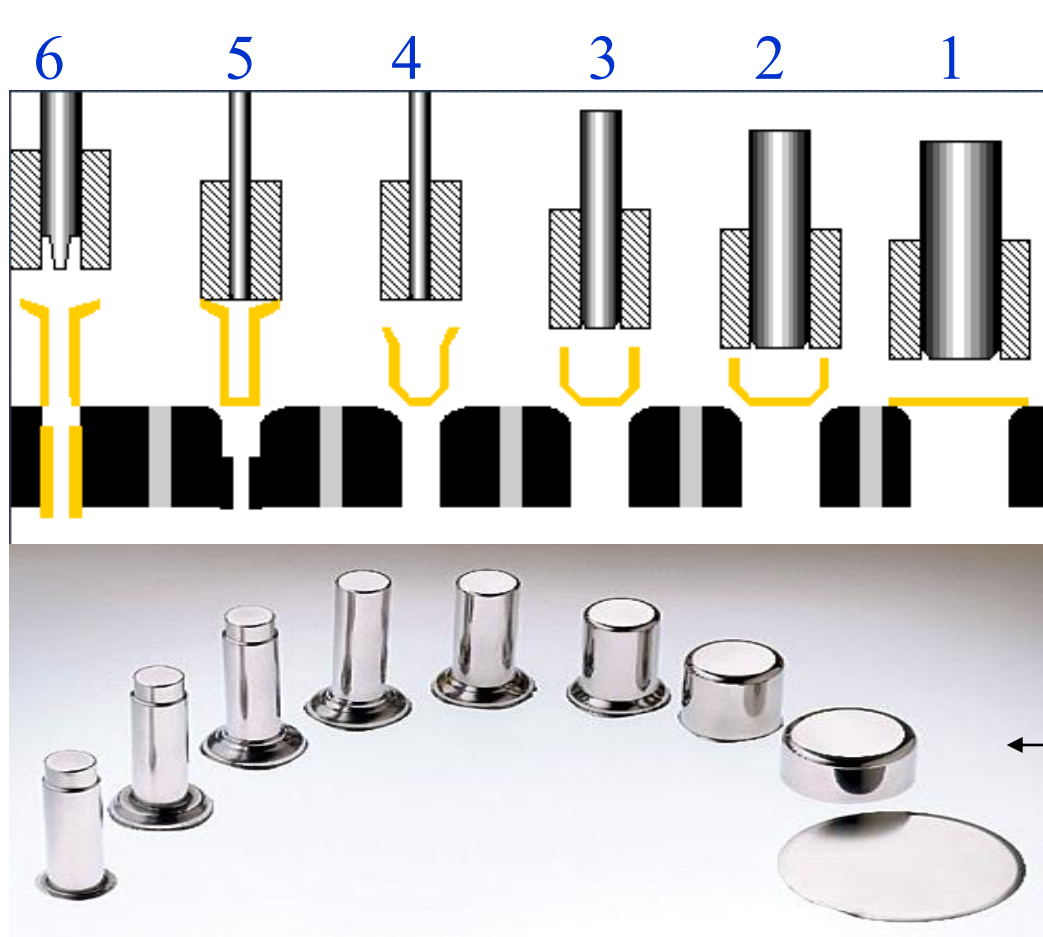
ขบวนการขึ้นรูป



ตัวอย่างชิ้นงาน



- Redrawing การลากขึ้นรูปใหม่

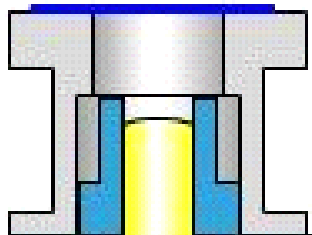
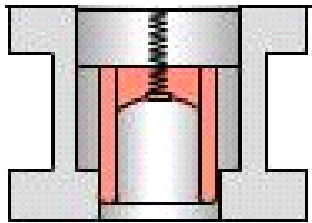


ขั้นตอน

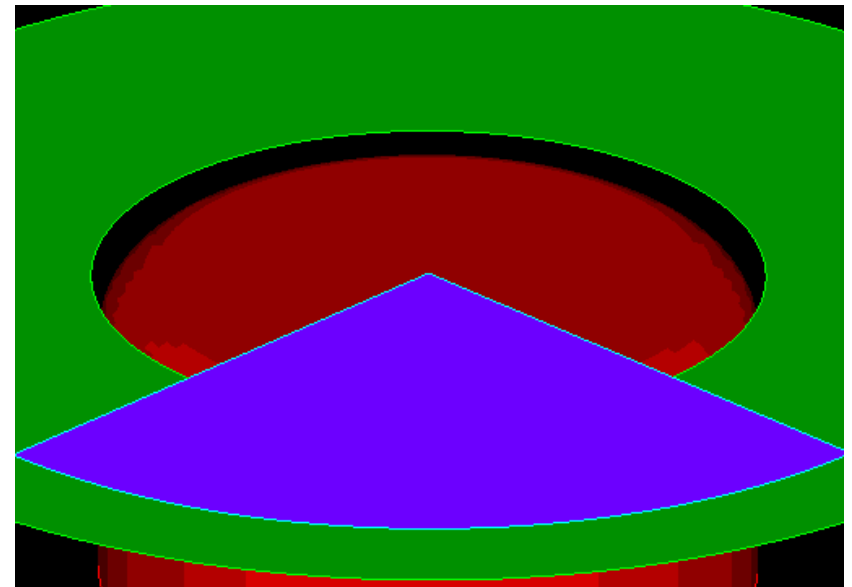
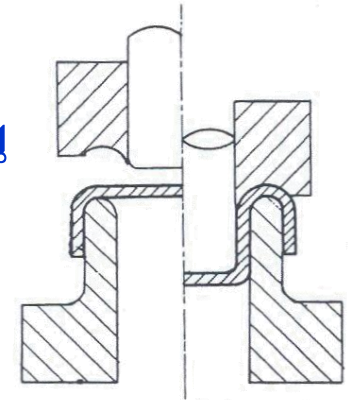
ตัวอย่างชิ้นงาน

- Reverse Redrawing

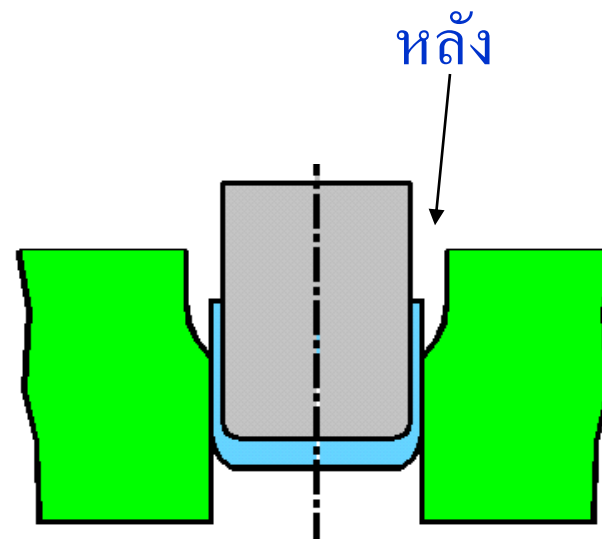
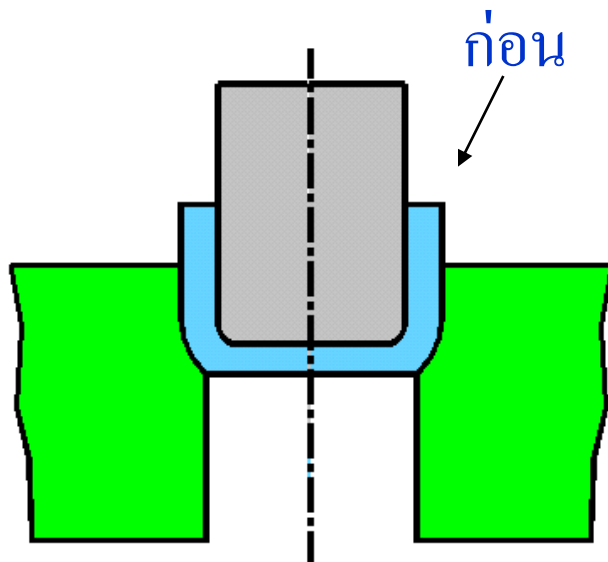
การลากขึ้นรูปใหม่กลับทาง



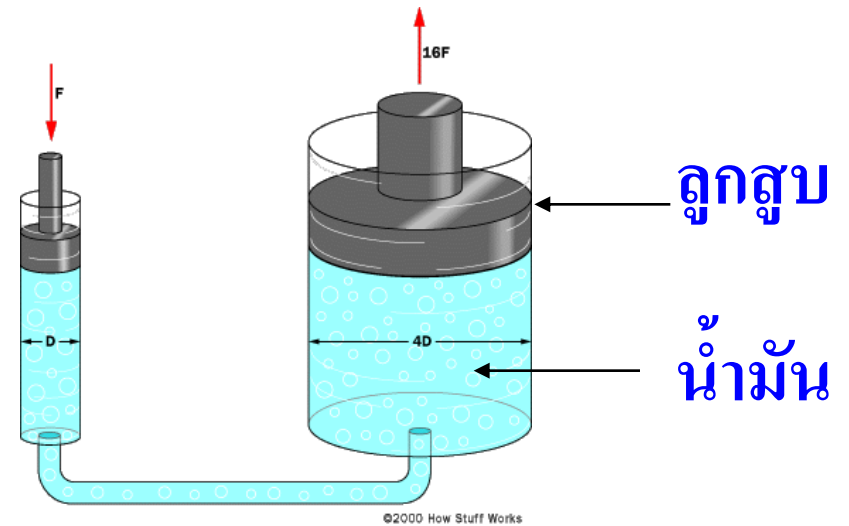
ตัวอย่างชิ้นงาน



- Ironing การรีด



เครื่องปั๊มระบบไฮดรอลิก



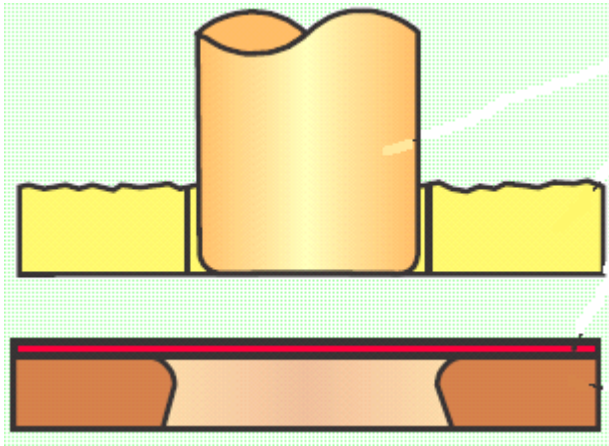
ใช้แรงดันของน้ำมันเป็นตัวส่งกำลัง

แผ่นเปล่า (Blank)

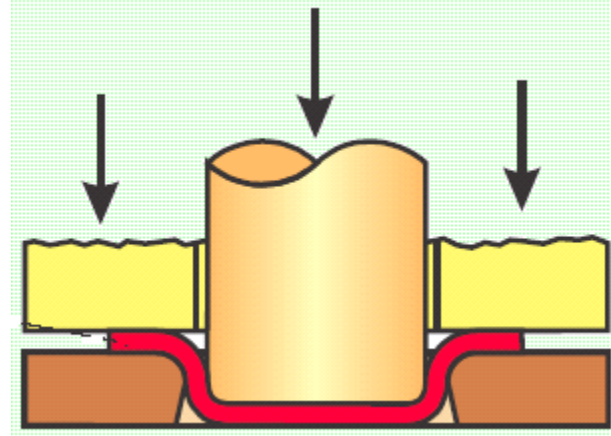
แม่พิมพ์ตัวผู้ (Punch)

ผ่านปากแม่พิมพ์ตัวเมีย (Lip of Die)

ซึ่งจะทำให้มีรูปร่างของผลิตภัณฑ์ตามแม่พิมพ์



Blank Holder Force



ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง

คุณภาพของชิ้นงานสำเร็จ

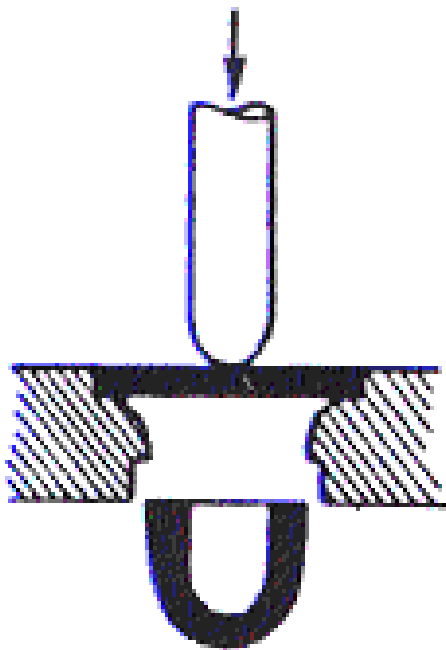
ป้องกันความเสียหาย

ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการขึ้นรูป เราสามารถ
จัดกลุ่มตัวแปรได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

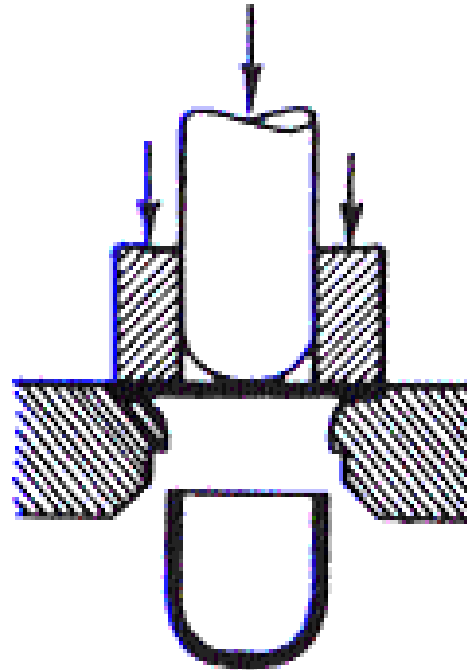
1. Process Variables
2. Material Variables

ลักษณะการลากขึ้นรูปมี 2 ลักษณะคือ

1. Single Action เป็นการลากขึ้นรูปโดยไม่ใช้แผ่นกด
2. Double Action เป็นการลากขึ้นรูปโดยใช้แผ่นกดในการสร้างแรงกดโดยการใช้แผ่นกด เพื่อลดการย่น (Wrinkle) ที่เกิดที่ปีกถ้วย

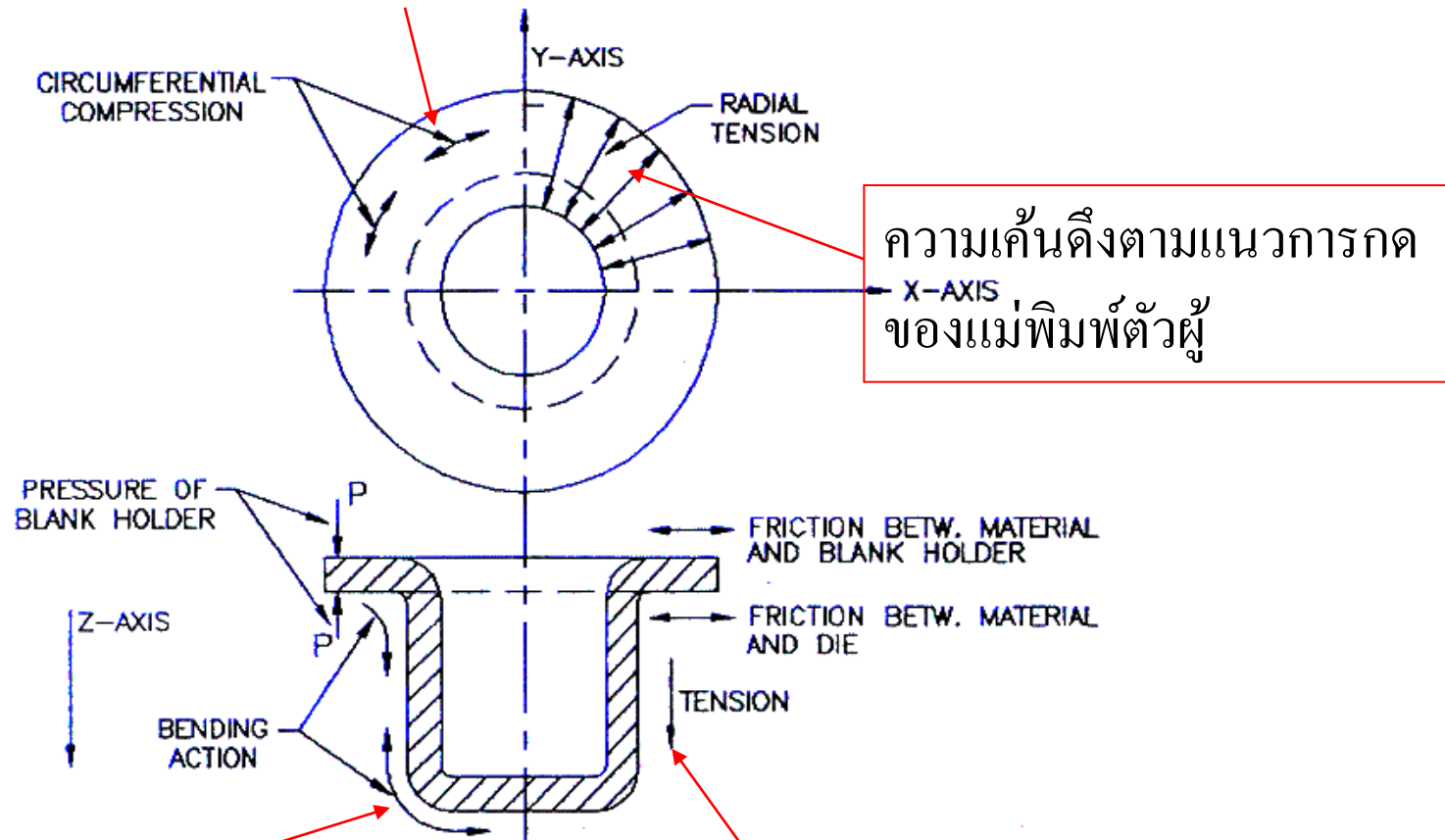


a. Single Action



b. Double Action

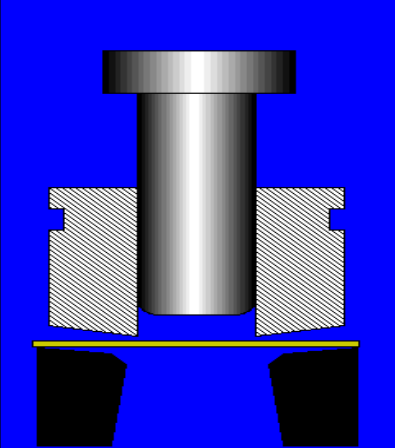
ความเค้นอัดตามแนวเส้นรอบวง (Hoop compression stress)

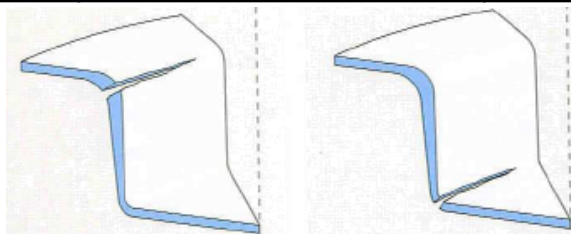


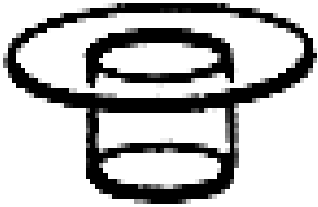
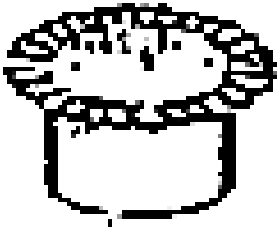
ที่กันถ้วยเกิดสถานะความเค้นดึงทั้งสองแนวแกน

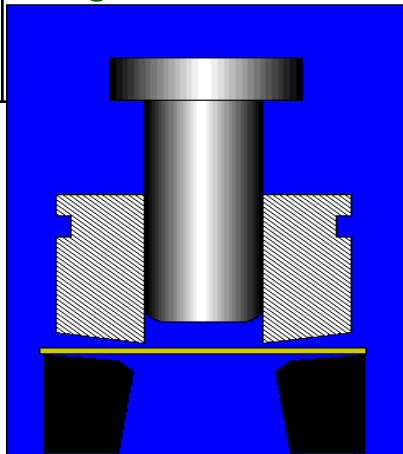
ผนังถ้วยได้รับความเค้นดึง ตามแนวแกน (Axial tension)

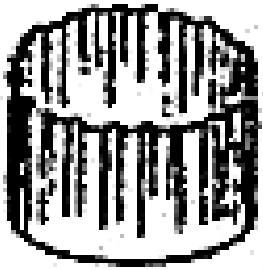
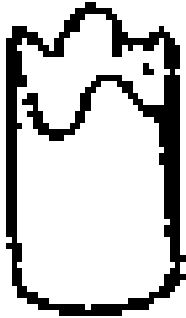
ตารางแสดงความเสียหายที่เกิดในการลากขึ้นรูป

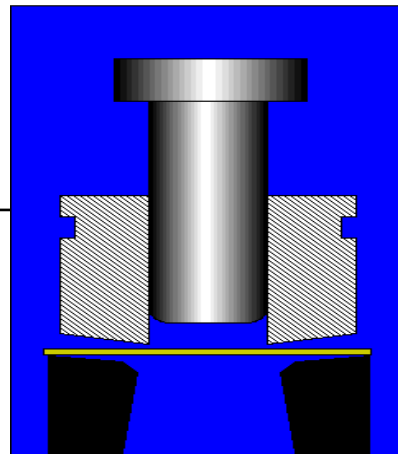
ลักษณะรูปร่างที่ปรากฏบนชิ้นงาน	ความเสียหายที่เกิดขึ้น	สาเหตุที่เกิดความเสียหาย	แนวทางการแก้ไข
	ลักษณะการแตกขาดที่บริเวณใกล้กันถ้วย 	ใช้อัตราการลากขึ้นรูปที่สูงเกินไปต่อวัสดุชิ้นงานและรูปร่างแม่พิมพ์	ลดอัตราการลากขึ้นรูปลง 



	ลักษณะการฉีกขาด ออกบริเวณก้นถ้วย	1. รัศมีดาายน้อยเกินไป 2. ช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ น้อยเกินไป 3. ความเร็วพ่นสูงเกินไป 4. แรงที่ใช้จับยึดแผ่น ชิ้นงานเปล่านั้นมากเกินไป	1. เพิ่มรัศมีดาวยและ พ่นซ์ 2. เพิ่มช่องว่าง ระหว่างแม่พิมพ์ 3. ลดความเร็วพ่นลง 4. ปรับแรงจับยึดแผ่น ชิ้นงานให้เหมาะสม
	ลักษณะการเกิดรอย ย่นบริเวณขอบชิ้นงาน (Wrinkle in the flange)	1. แรงที่ใช้จับยึดแผ่น ชิ้นงานเปล่านั้นน้อยเกินไป 2. ช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ น้อยเกินไป 3. รัศมีดาวยมากเกินไป	1. เพิ่มแรงจับยึดแผ่น ชิ้นงาน 2. เพิ่มระยะช่องว่าง ระหว่างแม่พิมพ์ 3. ลดรัศมีดาวย



	ลักษณะการเกิด รอยย่นบริเวณ ผนังชิ้นงาน (Wrinkle in the wall)	1. ช่องว่างระหว่าง แม่พิมพ์มากเกินไป 2. รัศมีตาย มากเกินไป 3. แรงที่ใช้จับยึดแผ่น ชิ้นงานเปล่าน้อย เกินไป	1. ลดระยะ ช่องว่างระหว่าง แม่พิมพ์ 2. ลดรัศมีตาย 3. ปรับแรงจับยึด แผ่นชิ้นงานให้ เหมาะสม
	ลักษณะการเกิด คลื่นที่ขอบชิ้นงาน (Earing)	สมบัติทางกลในแต่ละ ทิศทางการรีดมีค่าไม่ เหมือนกัน	ใช้วัสดุที่มีค่าแอน ไอโซโทรปีต่ำ



ความเสียหายที่เกิดขึ้นในงานதாகขึ้นรูป

แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. ตัวแปรที่เกิดจากขบวนการขึ้นรูป

2. ตัวแปรที่เกิดจากแผ่นขึ้นงาน

1. ตัวแปรที่เกิดจากขบวนการขึ้นรูป

1.1 Die radius

$rD \approx 4-8$ เท่าของความหนา

จะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาชิ้นงาน

$rD < 10$ เท่าของความหนา

จะทำให้อัตราส่วนในการลากขึ้นรูปมีแนวโน้มลดลง

$rD \geq 10$ เท่าของความหนา

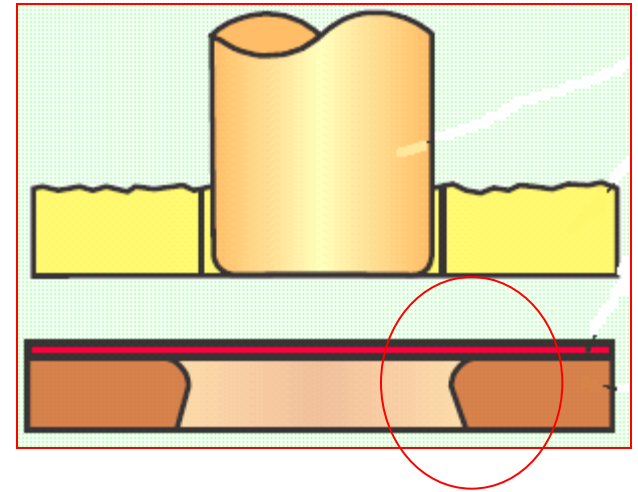
จะมีผลต่อแรงในการลากขึ้นรูป (**Drawing Force**)

$rD \gg 10$ เท่าของความหนา

จะทำให้เกิดรอยย่น (**Wrinkles**)

rD เล็กมาก ๆ

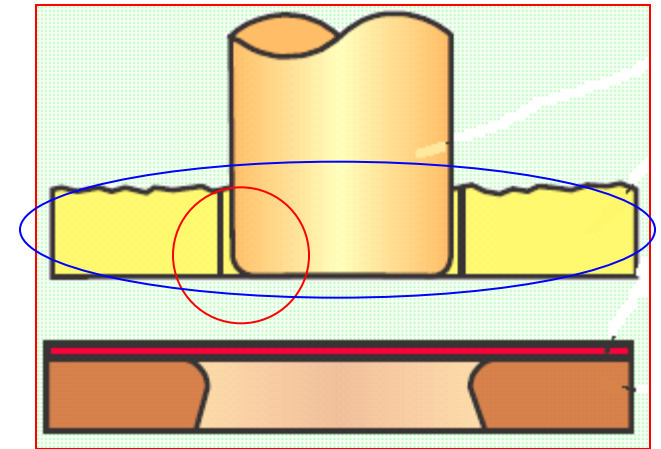
จะทำให้เกิด **Necking** ที่รัศมีแม่พิมพ์ตัวผู้ (**Punch Radius**)



2. Punch radius

3. Blank Holder Force

4. Die clearance



$$U_D = S_o + 0.07 + \sqrt{10 S_o}$$

สำหรับ Steel Sheet

$$U_D = S_o + 0.02 + \sqrt{10 S_o}$$

สำหรับ Aluminum Sheet

$$U_D = S_o + 0.04 + \sqrt{10 S_o}$$

สำหรับ Nonferrous Sheet

$$U_D = S_o + 0.02 + \sqrt{10 S_o}$$

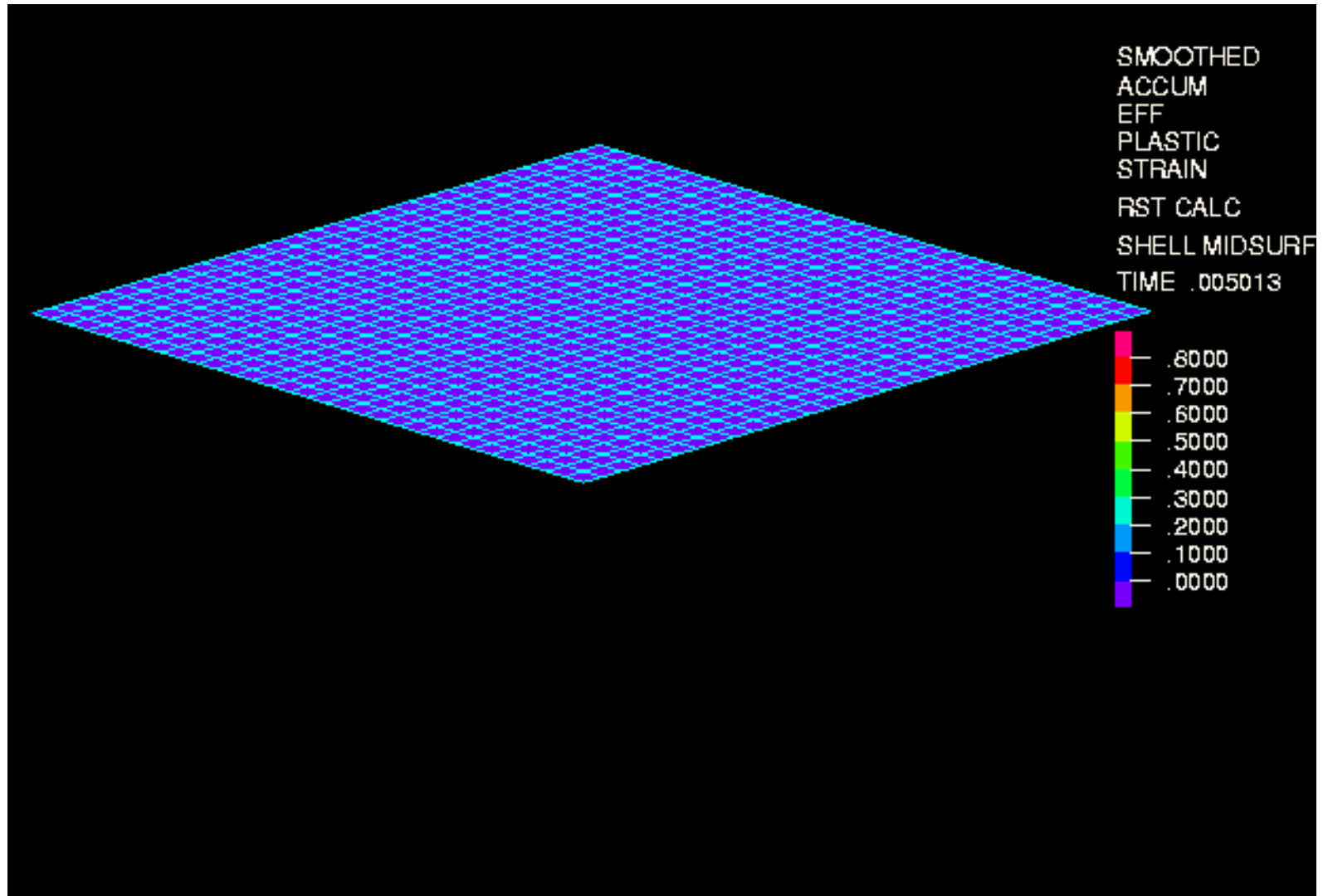
สำหรับ High-temperature Alloys

เมื่อ

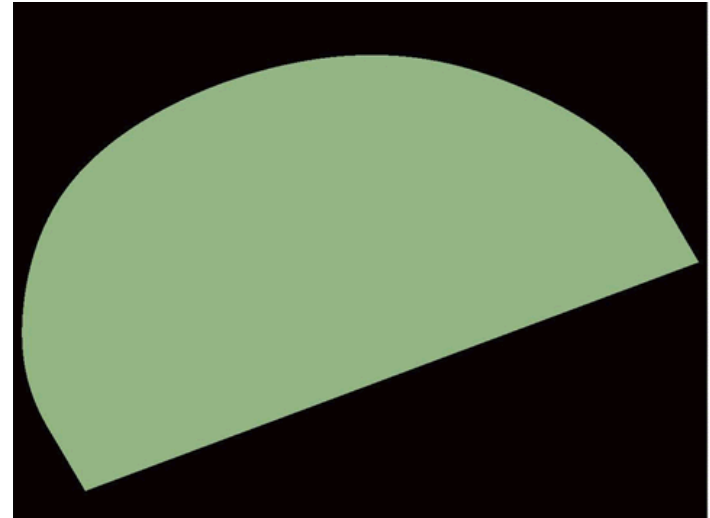
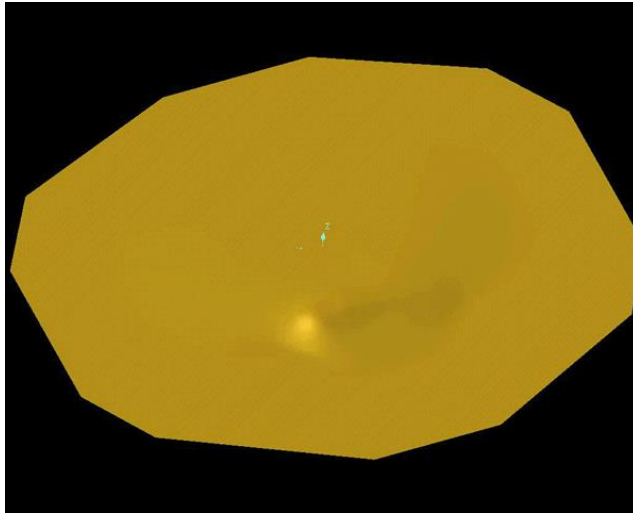
U_D = Die Clearance

S_o = Sheet Thickness

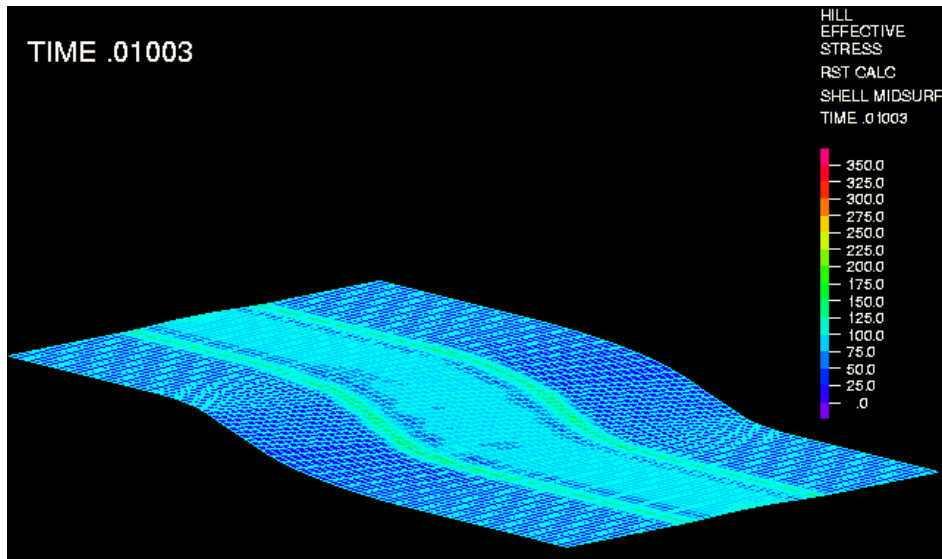
5. Friction



6. Blank diameter



7. Blank thickness



2. ตัวแปรที่เกิดจากแผ่นชิ้นงาน

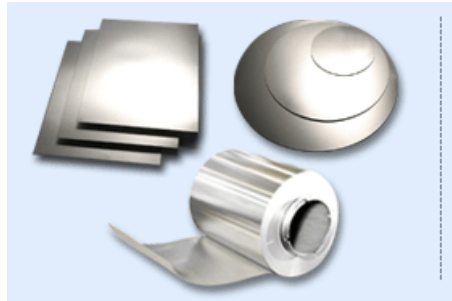
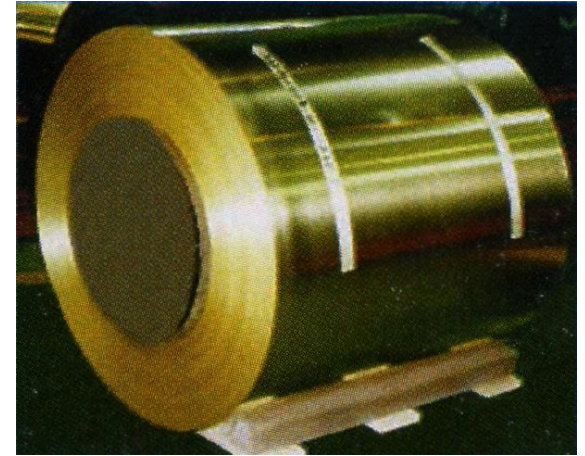
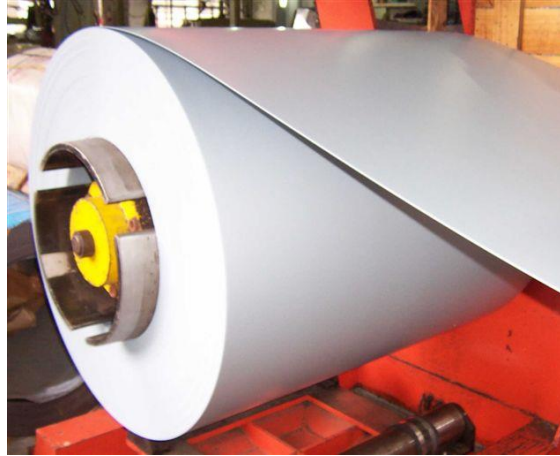
1. ความสามารถในการไหลตัวภายใต้สภาวะความเค้นที่ปักด้วย
2. ความสามารถของโลหะในการต้านทานการเพิ่มความหนาบริเวณผนังด้วย

Ductility of Sheet Metal

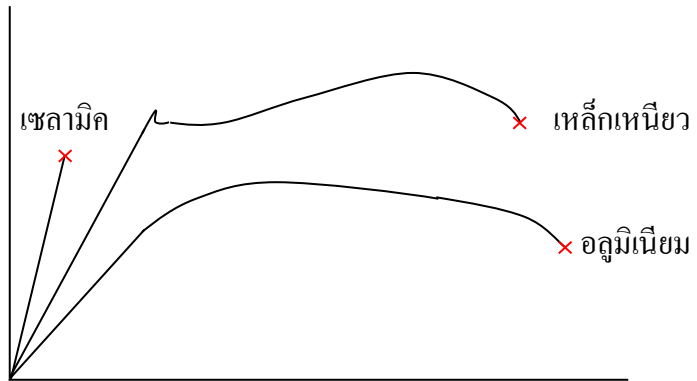
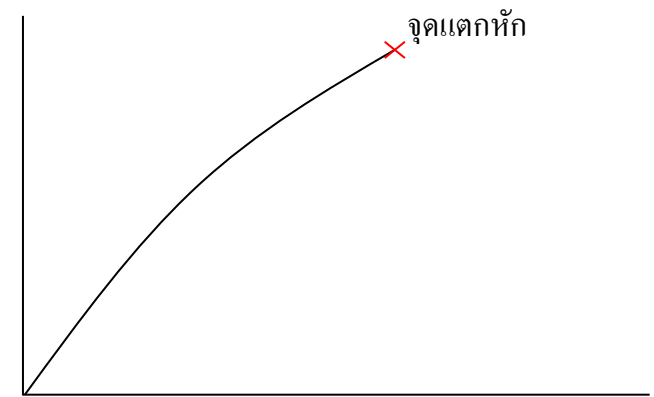
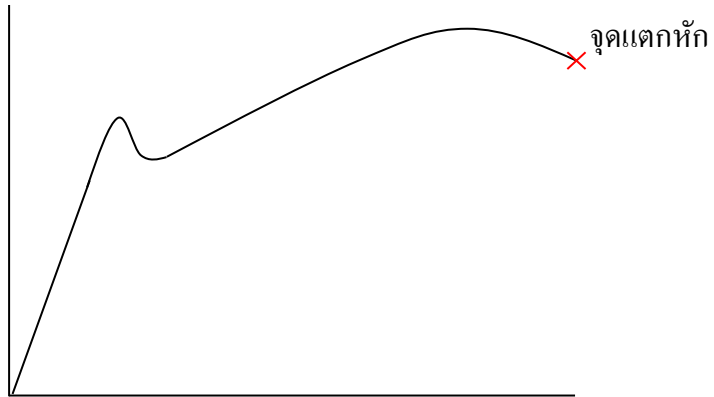
Yield Strength

Strain Hardening Exponent, n

Ductility of Sheet Metal



Yield Strength



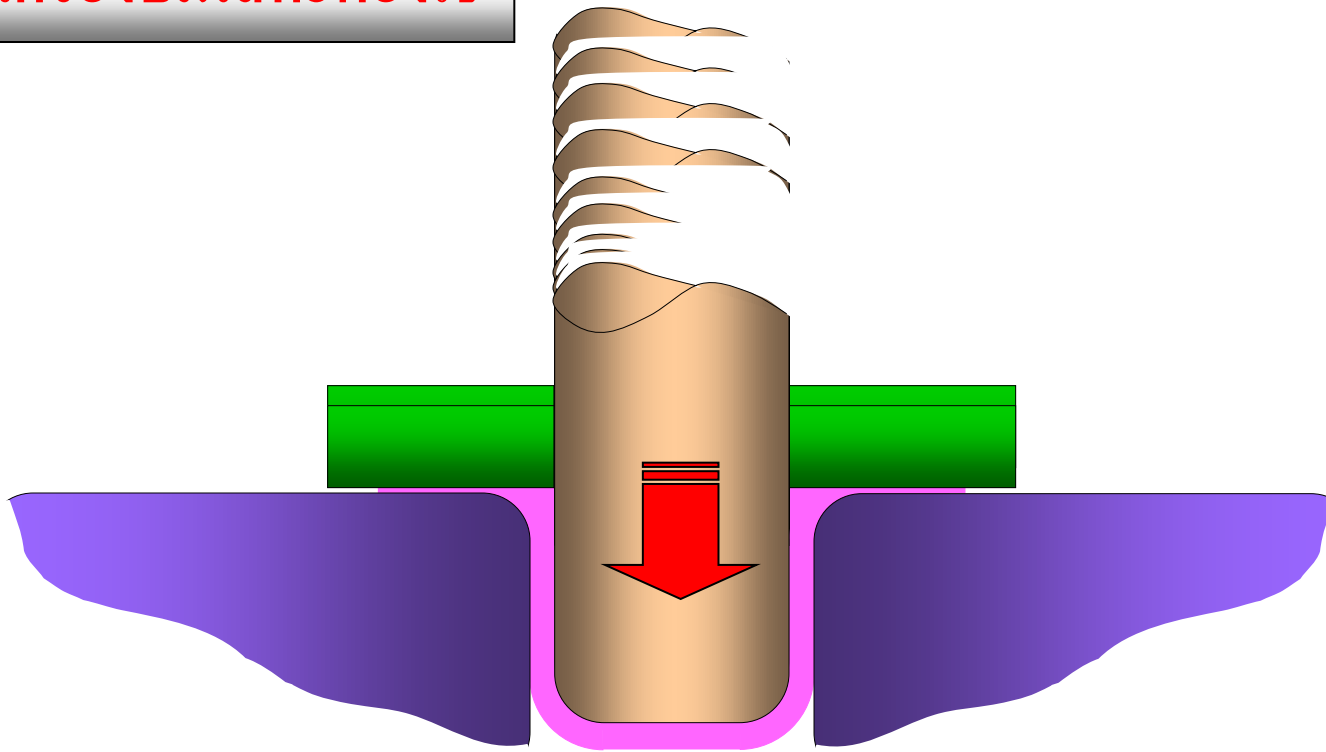
วัสดุ	ความเค้น ดึงสูงสุด σ_u (MPa)	ความเค้น เฉือนสูงสุด σ_v (MPa)	0.2%ความ เค้นคราก (ดึง) $\sigma_{y0.2}$ (MPa)	ความเค้น คราก(เฉือน) σ_y (MPa)	มอดุลัสความ ยืดหยุ่นแรง ดึง E (GPa)	มอดุลัสความ ยืดหยุ่นแรง เฉือน E (GPa)	สัมประสิทธิ์การ ขยายตัวเชิง เส้น $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$	เปอร์เซ็นต์ การยืดตัว I_f (%)	การลด พ.ท. หน้าตัด A_r (%)
เหล็กหล่อเหนียว A536(65-45-12)	448		334		159			15	19.8
เหล็กหล่อสีเทา 4.5%C A536A-48	170	240			69	28	12.1	0.5	
เหล็กเหนียวผ่านกรรมวิธีการรีด AISI 1020	441		260		203			36	61
เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ASTM A36	400		250	145	200	77	11.7	23	
เหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A514,T1	807		724		208			20	66
เหล็กเหนียวชุบแข็ง AISI 4142	2450		1619		200			6	6
เหล็กเหนียวอบคืนไฟที่ 203° C AISI 4142	2240		1688		207			8	27
เหล็กเหนียวอบคืนไฟที่ 370° C AISI 4142	1757		1584		207			11	42
เหล็กเหนียวอบคืนไฟที่ 450° C AISI 4142	1413		1378		207			14	48
เหล็กกล้าผสมต่ำ ASTM-A242	480		345	205	200	77	11.7	22	
เหล็กกล้าผสมต่ำ ASTM-A441	460		320		200	77	11.7	21	
เหล็กกล้าผสมต่ำ ASTM-A572	415		290		200	77	11.7	24	
อลูมิเนียมหล่อ SAE 308	229		169		70			0.9	1.5
อลูมิเนียม 2024-T4	476		303		73.1			20	35
อลูมิเนียม 7075-T6	578		469		71			11	33
อลูมิเนียมอัลลอยด์ 1100-H14	110	70	100	55	70	26	23.6	9	
อลูมิเนียมอัลลอยด์ 2014-T6	455	275	400	230	75	27	23	13	
อลูมิเนียมอัลลอยด์ 5456-T4	470	280	325		73		23.2	19	

Strain Hardening Exponent, n

ที่	ชนิดโลหะ	n	H
1	เหล็กกล้า 0.05% C (อบคืนไฟ)	0.26	530
2	เหล็กกล้า SAE 4340 (อบคืนไฟ)	0.15	640
3	เหล็กกล้า 0.10% C (อบคืนไฟ)	0.10	1570
4	เหล็กกล้า 0.6% C (ชุบแข็ง)	0.19	1230
5	เหล็กกล้า 0.540% C (ชุบแข็ง)	0.59	320

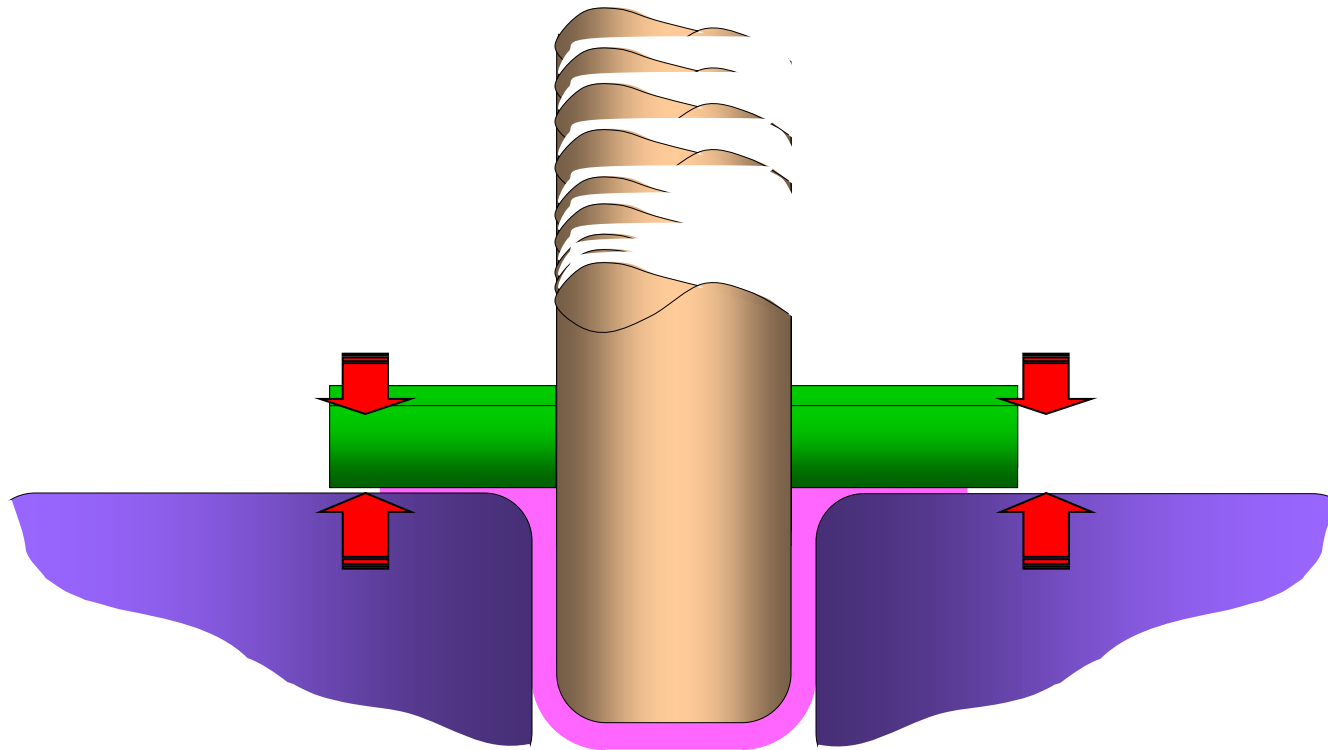
การคำนวณแรงในการลากขึ้นรูป

แรงที่เครื่องปั๊มโลหะต้องใช้



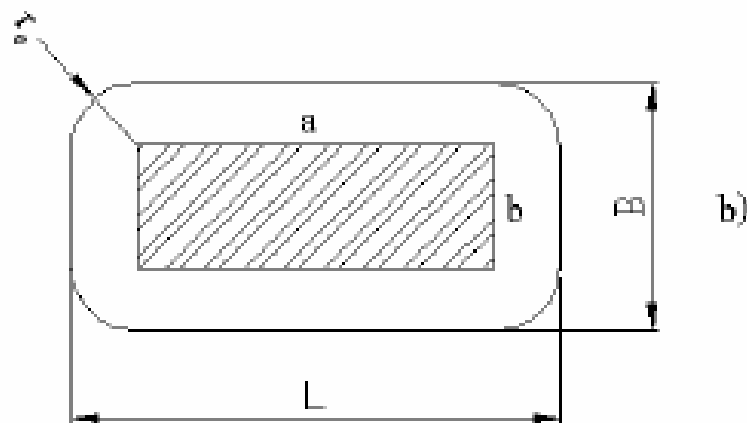
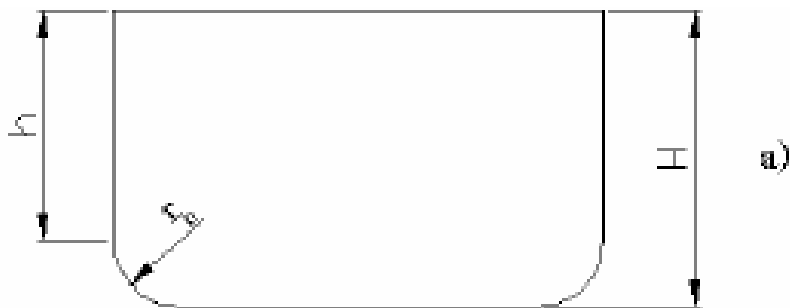
$$F_{Z1} = \pi d_m t y_s \left(\frac{D}{d_1} - C \right)$$

แรงกดของแผ่นจับยึดชิ้นงาน (Blank Holding Force)



$$F_n = P_r A$$

แรงที่ใช้ในการลากชิ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม



$$F_z = \left(2r_e \cdot \pi + \frac{4(a+b)}{2} \right) R_m \cdot t \cdot n$$

เอกสารอ้างอิง

โครงการพัฒนาอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ พ.ศ. 2550, ชุดสื่อการสอน
วิชา การออกแบบแม่พิมพ์โลหะ, สถาบันไทย-เยอรมัน

ชานนท์ สุขตาอยู่, รศ.ดร.พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, รศ.ดร.วารุณี เปรมมา
นนท์, แม่พิมพ์ปั๊มโลหะแผ่น, สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย,
2547

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ, **Sheet Metal And DIE
Design, E-learning**, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,
2551

<http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/TEN437/main.html>

ฉบับที่