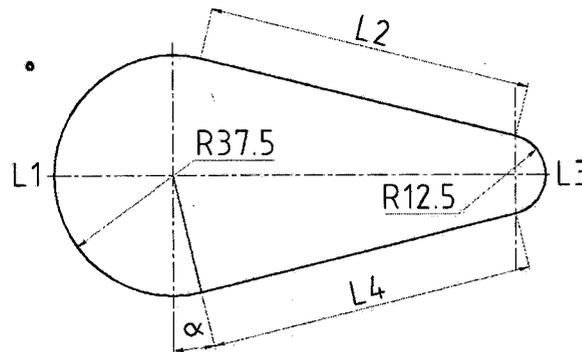


ภาคผนวก ก
การคำนวณ

ก.1 การคำนวณแรงขึ้นรูปลึก

แรงในการขึ้นรูปสามารถหาได้จากสมการที่ 2.3 มีการคำนวณโดยการประมาณค่าดังแสดงวิธี
ดังนี้ [9]



รูปที่ ก.1 เส้นรอบรูปขึ้นงานหาความยาว L_t (L Total) [9]

เมื่อ L_2 กับ L_4 เป็นเส้นตรงที่มีขนาดเท่ากันและ L_1 กับ L_3 เป็นเส้นโค้ง $R_1 = 37.5$
มม. $R_2 = 12.5$ มม. ตามลำดับเพื่อหาค่ามุม α

$$\sin \alpha = \frac{R_1 + R_2}{105}$$

แทนค่าในสมการ

$$\sin \alpha = \frac{37.5 + 12.5}{105} = \frac{25}{105}$$

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{25}{105} = 13.77 \text{ องศา}$$

$$L_2 = L_4 = 105 \cos \alpha$$

$$= 105 \cos 13.77$$

$$L_2 = L_4 = 102 \text{ mm.}$$

หาค่า L_1 และ L_3 ที่สัมผัสส่วนโค้งของ R_1 และ R_2

$$L_1 = \frac{\pi(180 + 2\alpha)R_1}{180}$$

$$L_1 = \frac{\pi(180 + 2 \times 13.77) \times 37.5}{180}$$

$$L_1 = 135.8 \text{ mm.}$$

$$L_3 = \frac{\pi(180 + 2\alpha)R_2}{180}$$

$$L_3 = \frac{\pi(180 + 2 \times 13.77) \times 12.5}{180}$$

$$L_3 = 33.3 \text{ mm.}$$

$$L_t = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$$

$$L_t = 135.8 + 102 + 102 + 33.3$$

$$L_t = 373.1 \text{ mm.}$$

แทนค่าในสมการที่ 2.00 $F_d = \frac{241+321}{2} \times 373.1 \times 1.0$

$$F_d = \frac{104841}{1000} \text{ N หรือ } = 104.84 \text{ kN}$$

ก.2 แรกกดยึดแผ่นชิ้นงาน

แรกกดยึดแผ่นชิ้นงานสามารถหาได้จากสมการที่ 2.4 และ 2.5 ดังนี้ [9]

หาค่า $h = \sqrt{105^2 - (37.5 - 12.5)^2} = 101.98$

mm.

$$A_o = \frac{207.54}{360} \pi (75)^2 + \frac{152.46}{360} \pi (38)^2 + \frac{87+48}{2} 101.98 + \frac{81+46}{2} 101.98$$

$$A_o = 25468.17 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = \frac{207.54}{360} \pi (37.5)^2 + \frac{154.46}{360} \pi (12.5)^2 + 2 \left[\frac{37.5+12.5}{2} 101.98 \right]$$

$$A_{st} = 7853.78 \text{ mm}^2$$

คำนวณค่า k, m ของวัสดุ SPCC

$$k = \frac{1 + (r_{\max} - r_{\min})}{r_m n_m} 0.49 \times 10^{-3}$$

$$m = 1 + \left[\frac{d_{fo}}{t_o} - 175 \right] \frac{0.17}{100}$$

ค่าคุณสมบัติของวัสดุ SPCC ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E517-92 [9]

$$r_m = \frac{(r_o + 2r_{45} + r_{90})}{4}$$

$$r_m = \frac{(0.89 + 2(0.699) + 1.102)}{4}$$

$$r_m = 0.848$$

$$r_{\max} = 1.102$$

$$r_{\min} = 0.699$$

$$n_m = \frac{(n_o + 2n_{45} + n_{90})}{4}$$

$$n_m = 0.184$$

หาค่า n ตามมุมใดๆจากสมการที่ 2.15

จากสมการเส้นตรงของข้อมูลคู่ระหว่างแรงกับความเครียด F, ϵ

$$k = \left[\frac{1 + (1.102 - 0.699)}{0.848 \times 0.180} \right] 0.49 \times 10^{-3}$$

$$k = 4.5038 \times 10^{-3}$$

d_{fo} , (The fictitious equivalent punch diameter)

$$d_{fo} = \sqrt{\frac{4A_{st}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(7854)}{\pi}} = 100 \text{ mm}$$

ค่าตัวแปรของวัสดุ m

$$m = 1 + \left[\frac{100}{1} - 175 \right] \frac{0.17}{100}$$

$$m = 0.87$$

แรงกดที่ F_{NA} ผ่านกดชิ้นงาน (BHF)

$$P_{NA} = (4.5038 \times 10^{-3})(0.87) \times \left(\frac{25468}{7854} - 1 \right) \times 321$$

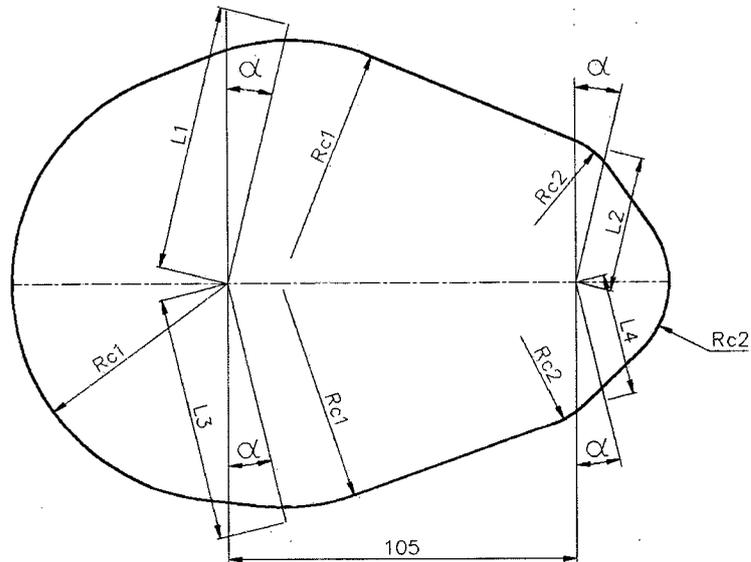
$$P_{NA} = 2.8208 \text{ N/mm}^2$$

$$\therefore \text{ BHF จาก } F_{NA} = P_{NA} (A_o - A_{st})$$

$$F_{NA} = 2.8208(25468 - 7854)$$

$$F_{NA} = 49685.57 \text{ N หรือ } \cong 49.6 \text{ kN}$$

ก.3 ขนาดของแผ่นขึ้นงาน



รูปที่ ก.2 การคำนวณแผ่นตัดเปล่า [9]

หาค่า รัศมี R_{c1} จากสมการ
เมื่อกำหนดให้

$$D1 = \sqrt{d^2 + (d + 2a)^2 + 4d(h - 0.43r)}$$

$$d = 75 \text{ mm.}$$

$$h = 15 \text{ mm.}$$

$$a = 5 \text{ mm.}$$

$$r = 4 \text{ mm.}$$

แทนค่า

$$D1 = \sqrt{75^2 + (75 + 2(5))^2 + 4(75)(15 - 0.43(4))}$$

$$= 129.75 \text{ mm.}$$

$$R_{c1} = \frac{D1}{2} = \frac{129.75}{2} = 64.88 \cong 65 \text{ mm.}$$

หาค่า รัศมี R_{c2}

$$D2 = \sqrt{25^2 + (25 + 2(5))^2 + 4(25)(15 - 0.43(4))}$$

$$= 56.37 \text{ mm.}$$

เมื่อกำหนดให้

$$d = 25 \text{ mm.}$$

$$h = 15 \text{ mm.}$$

$$a = 5 \text{ mm.}$$

$$r = 4 \text{ mm.}$$

$$R_{c2} = \frac{D2}{2} = \frac{56.37}{2} = 28.19 \cong 28 \text{ mm.}$$

หาค่าความยาว $L1$ และ $L2$

$$L1 = \frac{\pi}{2}R1 + (h-r) + \frac{\pi}{2}r + (a-r)$$

เมื่อกำหนดให้ $R1 = 37.5$ mm.

$$h = 15$$
 mm.

$$a = 5$$
 mm.

$$r = 4$$
 mm.

แทนค่าตัวแปรในสมการเพื่อหาค่า $L1$

$$L1 = \frac{\pi}{2}(37.5) + (15-4) + \frac{\pi}{2}(4) + (5-4)$$

$$L1 = 77.16 \cong 77$$
 mm.

$$L2 = \frac{\pi}{2}R2 + (h-r) + \frac{\pi}{2}r + (a-r)$$

เมื่อกำหนดให้ $R1 = 12.5$ mm.

$$h = 15$$
 mm.

$$a = 5$$
 mm.

$$r = 4$$
 mm.

$$L2 = \frac{\pi}{2}(12.5) + (15-4) + \frac{\pi}{2}(4) + (5-4)$$

$$L2 = 37.91 \cong 38$$
 mm.

หาค่าความยาว $L3$ และ $L4$

$$L3 = 2R1\sin 45 + (h-r) + \frac{\pi}{2}r + (a-r)$$

เมื่อกำหนดให้ $R1 = 37.5$ mm.

$$h = 15$$
 mm.

$$a = 5$$
 mm.

$$r = 4$$
 mm.

แทนค่าในสมการหาค่า $L3$

$$L3 = 2(37.5)\sin 45 + (15-4) + \frac{\pi}{2}(4) + (5-4)$$

$$L3 = 71.31 \cong 71$$
 mm.

$$L4 = 2R2\sin 45 + (h-r) + \frac{\pi}{2}r + (a-r)$$

เมื่อกำหนดให้ $R1 = 12.5$ mm.

$$h = 15$$
 mm.

$$a = 5$$
 mm.

$$r = 4$$
 mm.

แทนค่าในสมการหาค่า $L4$

$$L4 = 2(12.5)\sin 45 + (15 - 4) + \frac{\pi}{2}(4) + (5 - 4)$$

$$L4 = 35.95 \cong 36 \text{ mm.}$$

ภาคผนวก ข
ข้อมูลการทดลอง

ข.1 แรงลากขึ้นรูปชิ้นงานสูงสุด

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกแรงของการขึ้นรูปต่อสัดส่วนของแรงกดใช้ดรอร์ปิดชนิดโลหะ

แรงกดชิ้นงานต่อแรงขึ้นรูป	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ค่าเฉลี่ย (kN)
30 เปอร์เซ็นต์ (31.45kN)	134.2	132.76	135.9	131.62	134.84	134.06
50 เปอร์เซ็นต์ (52.42kN)	188.56	190.2	189.51	187.36	186.7	188.46
70 เปอร์เซ็นต์ (73.39kN)	157.3	160.9	162	154.6	160.58	159.07

ตารางที่ ข.2 ตารางบันทึกแรงของการขึ้นรูปต่อสัดส่วนของแรงกดใช้ดรอร์ปิดเสริมแรงยางธรรมชาติ

แรงกดชิ้นงานต่อแรงขึ้นรูป	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ค่าเฉลี่ย (kN)
30 เปอร์เซ็นต์ (31.45kN)	112.86	113.1	115.38	112.54	117.37	114.25
50 เปอร์เซ็นต์ (52.42kN)	158.45	160.6	159.12	157.5	158.1	158.754
70 เปอร์เซ็นต์ (73.39kN)	194.8	197.26	195.64	200.1	192.4	196.04

ตารางที่ ข.3 ตารางบันทึกแรงของการขึ้นรูปต่อสัดส่วนของแรงกดใช้ดรอร์ปิดเสริมแรงยางสังเคราะห์

แรงกดชิ้นงานต่อแรงขึ้นรูป	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ค่าเฉลี่ย (kN)
30 เปอร์เซ็นต์ (31.45kN)	129.4	127.59	124.76	128.3	125.48	127.1
50 เปอร์เซ็นต์ (52.42kN)	141.25	143.1	142.68	143.97	140.9	142.38
70 เปอร์เซ็นต์ (73.39kN)	195.3	198.75	201.9	200.04	199.67	199.32

ข.2 ความเครียดในแนวความหนาของชิ้นงานในแต่ละจุดตรวจวัด

ตารางที่ ข.4 ตารางวิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่าของดรอว์บีตแต่ละชนิด ที่แรงกดชิ้นงาน 30 เพอร์เซ็นต์

จุดตรวจ	ดรอว์บีตโลหะ		ดรอว์บีตเสริมยางธรรมชาติ		ดรอว์บีตเสริมยางสังเคราะห์	
	ความหนาชิ้นงาน	ค่าความเครียด	ความหนาชิ้นงาน	ค่าความเครียด	ความหนาชิ้นงาน	ค่าความเครียด
A1	0.8566	0.154	0.8706	0.138	0.9558	0.045
A2	0.8674	0.142	0.8914	0.114	0.9568	0.044
A3	0.8446	0.168	0.8574	0.153	0.8396	0.174
A4	0.964	0.036	0.9236	0.079	0.9564	0.035
A5	0.8336	0.182	0.8458	0.167	0.8418	0.172
A6	0.306	0.185	0.8422	0.171	0.8418	0.172
A7	0.9796	0.023	0.9572	0.043	0.9386	0.063
A8	0.9702	0.03	0.9328	0.069	0.9626	0.038
A9	0.984	0.016	0.9618	0.038	0.953	0.048
A10	0.9662	0.029	0.9702	0.03	0.905	0.099

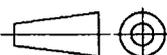
ตารางที่ ข.5 ตารางวิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่าของตรอร์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์

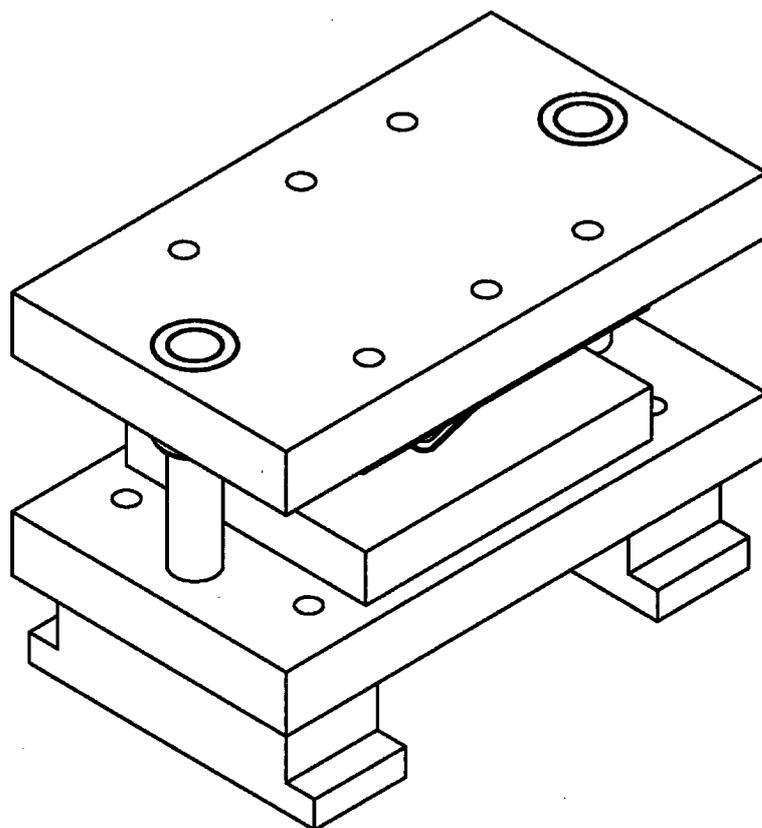
จุดตรวจ	ตรอร์ปิดโลหะ		ตรอร์ปิดเสริมยางธรรมชาติ		ตรอร์ปิดเสริมยางสังเคราะห์	
	ความหนาชิ้นงาน	ค่าความเครียด	ความหนาชิ้นงาน	ค่าความเครียด	ความหนาชิ้นงาน	ค่าความเครียด
A1	0.9042	0.1	0.9658	0.03	0.9468	0.054
A2	0.8636	0.146	0.92	0.08	0.9198	0.083
A3	0.82	0.198	0.8266	0.19	0.8302	0.16
A4	0.951	0.05	0.948	0.06	0.9404	0.061
A5	0.798	0.225	0.822	0.196	0.8302	0.16
A6	0.7894	0.236	0.8155	0.175	0.8224	0.195
A7	0.8741	0.1	0.9108	0.093	0.9066	0.098
A8	0.9308	0.071	0.9486	0.052	0.9606	0.04
A9	0.9468	0.05	0.9496	0.054	0.9324	0.069
A10	0.966	0.03	0.9662	0.034	0.9604	0.04

ตารางที่ ข.6 ตารางวิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่าของตรอร์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกดขึ้นงาน 70 เปอร์เซนต์

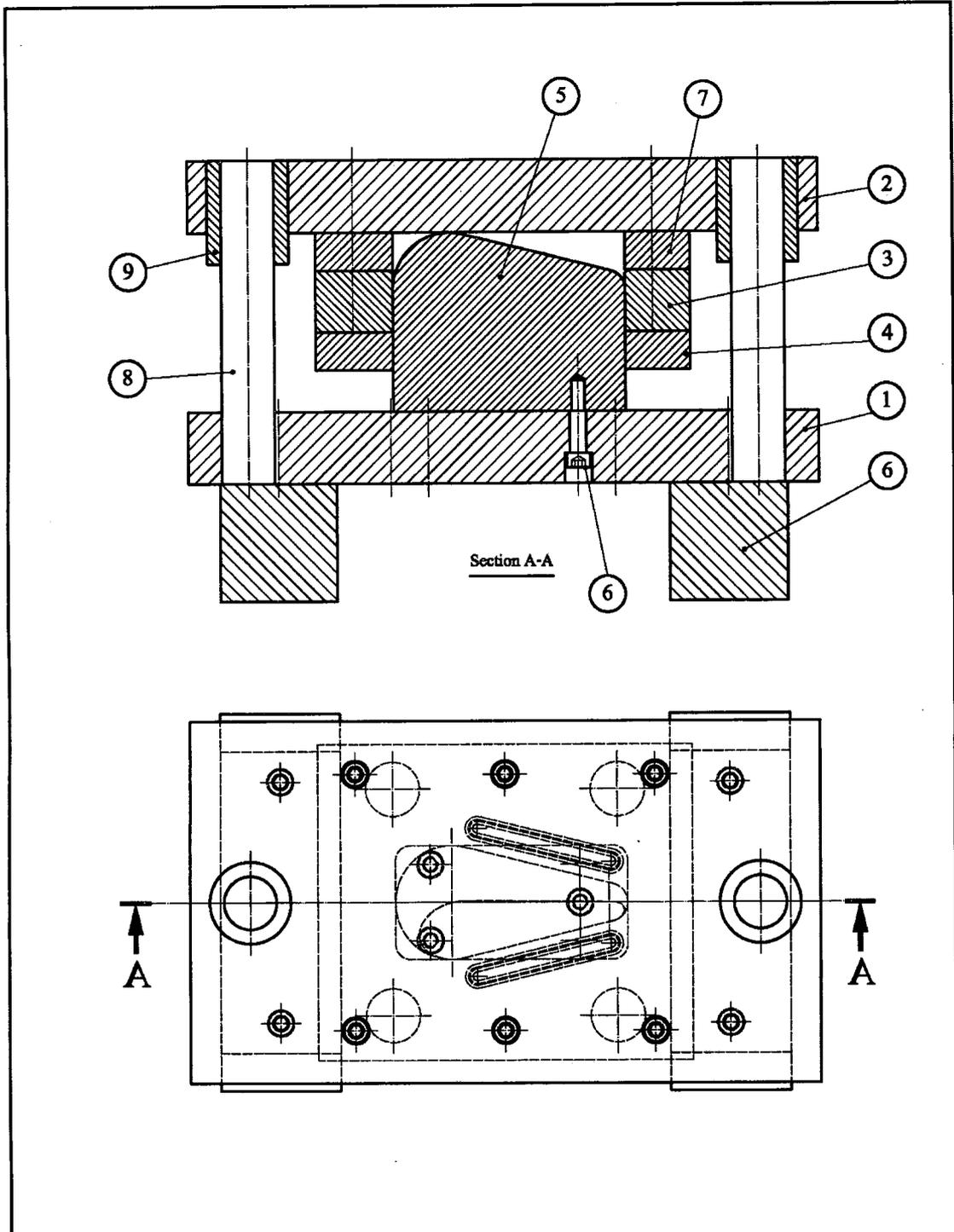
จุด ตรวจ	ตรอร์ปิดโลหะ		ตรอร์ปิดเสริมยาง ธรรมชาติ		ตรอร์ปิดเสริมยาง สังเคราะห์	
	ความหนา ขึ้นงาน	ค่า ความเครียด	ความหนา ขึ้นงาน	ค่า ความเครียด	ความหนา ขึ้นงาน	ค่า ความเครียด
A1	0.8434	0.17	0.8452	0.168	0.8696	0.139
A2	0.762	0.271	0.8334	0.182	0.8624	0.148
A3	0.7128	0.338	0.826	0.191	0.8276	0.189
A4	0.7958	0.228	0.9188	0.084	0.9084	0.096
A5	0.6672	0.404	0.787	0.239	0.7456	0.293
A6	0.6252	0.469	0.732	0.311	0.736	0.306
A7	0.866	0.143	0.9622	0.038	0.9314	0.071
A8	0.879	0.128	0.9654	0.035	0.6516	0.049
A9	0.9116	0.092	0.9778	0.022	0.8536	0.158
A10	0.9662	0.034	0.9736	0.026	0.95	0.05

ภาคผนวก ค
แบบชิ้นส่วนแม่พิมพ์

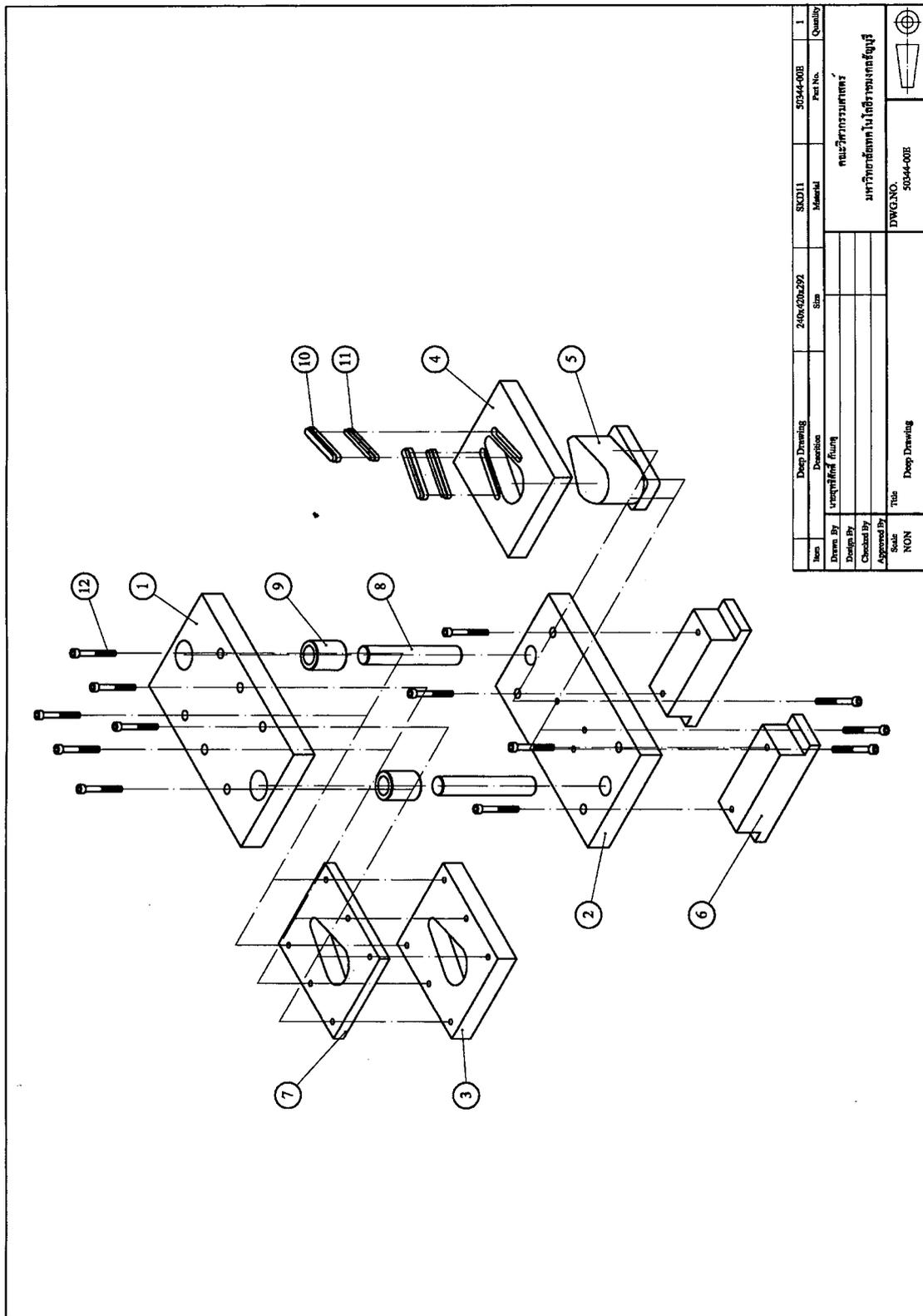
12	Socket Head Hex Screws	M10x1.5x60	-	-	13
11	Drawbead Insert	12x104x16	NBR	50344-11	2
10	Drawbead	16x108x16	S50C	50344-10	2
9	Bush	Ø54x68	SKD11	50344-09	2
8	Guide	Ø35x213.5	SKD11	50344-08	2
7	Pressure Die	210x250x40	S50C	50344-07	1
6	Spacer Block	80x250x78	S50C	50344-06	2
5	Punch From	80x150x118	SKD11	50344-05	1
4	Blank Holder	210x250x40	S50C	50344-04	1
3	Die Plate	210x250x40	SKD11	50344-03	1
2	Punch Holder	240x420x48	SS41	50344-02	1
1	Die Holder	240x420x48	SS41	50344-01	1
วันที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กันเกตุ			คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ร.					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน Deep Drawing		หมายเลขแบบ		



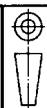
	Deep Drawing	240x420x292	SKD11	50344-001	1
วันที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กันเกตุ			คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.พ.					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน		หมายเลขแบบ		
NON	Deep Drawing		50344-001		



	Deep drawing	240x420x292	SKD11	50344-000	1
วันที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นางสุพธิศศักดิ์ กั้นเกตุ			คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ช.					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน		หมายเลขแบบ		
NON	Deep drawing		50344-000		

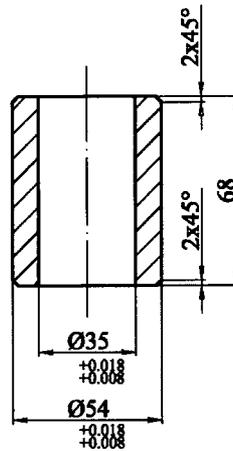
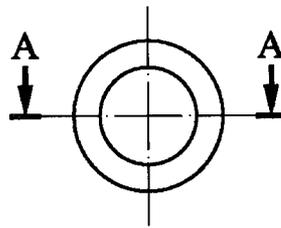


Item	Deep Drawing	SKD11	30344-00E	1
Description	240x202x92	Material	Part No.	Quantity
Drawn By	วิภากรวิวัฒน์ ฟูนิง	Size		
Design By				
Checked By				
Approved By				
Scale	NON	Title	DWG NO.	30344-00E
				Deep Drawing



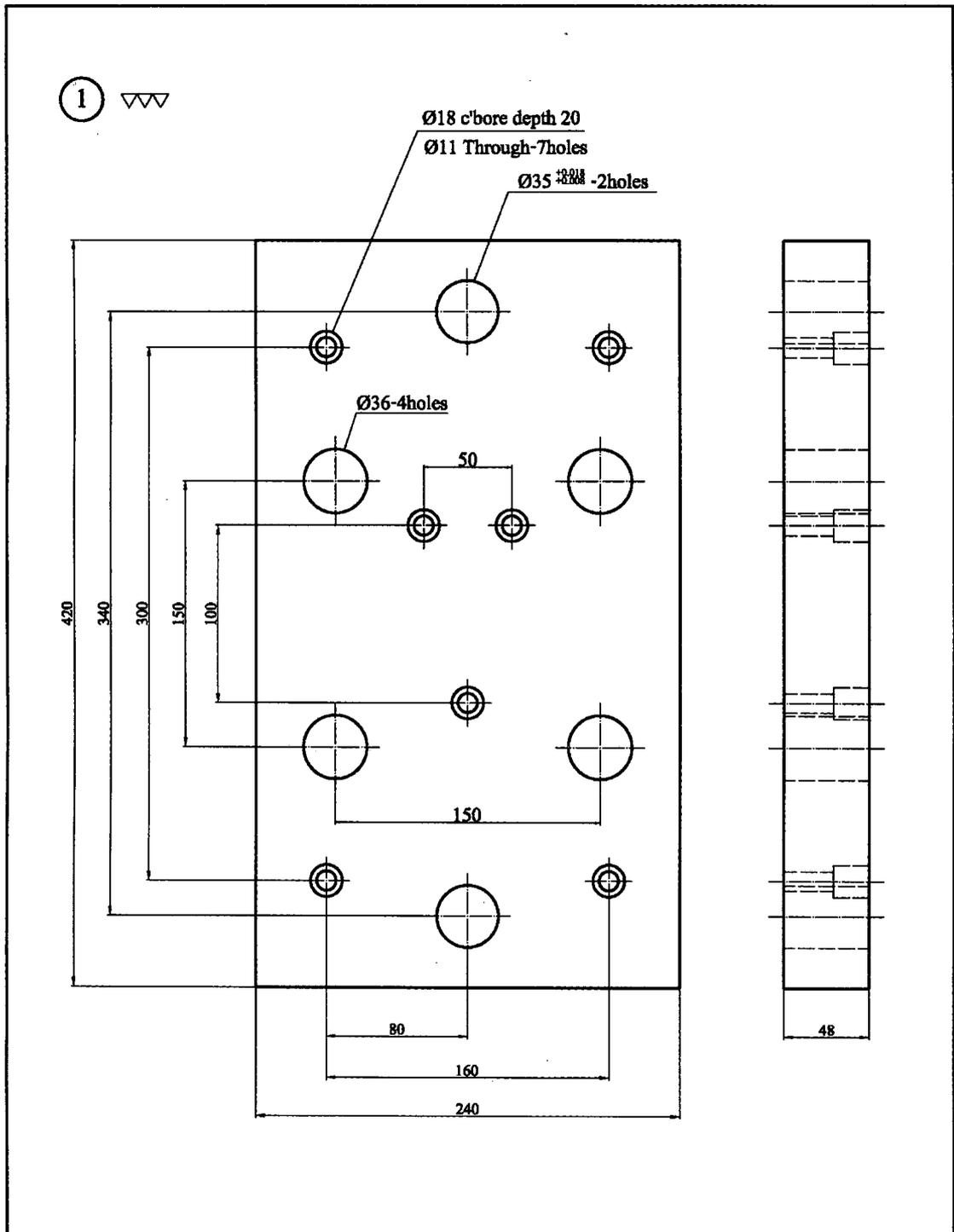
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

9

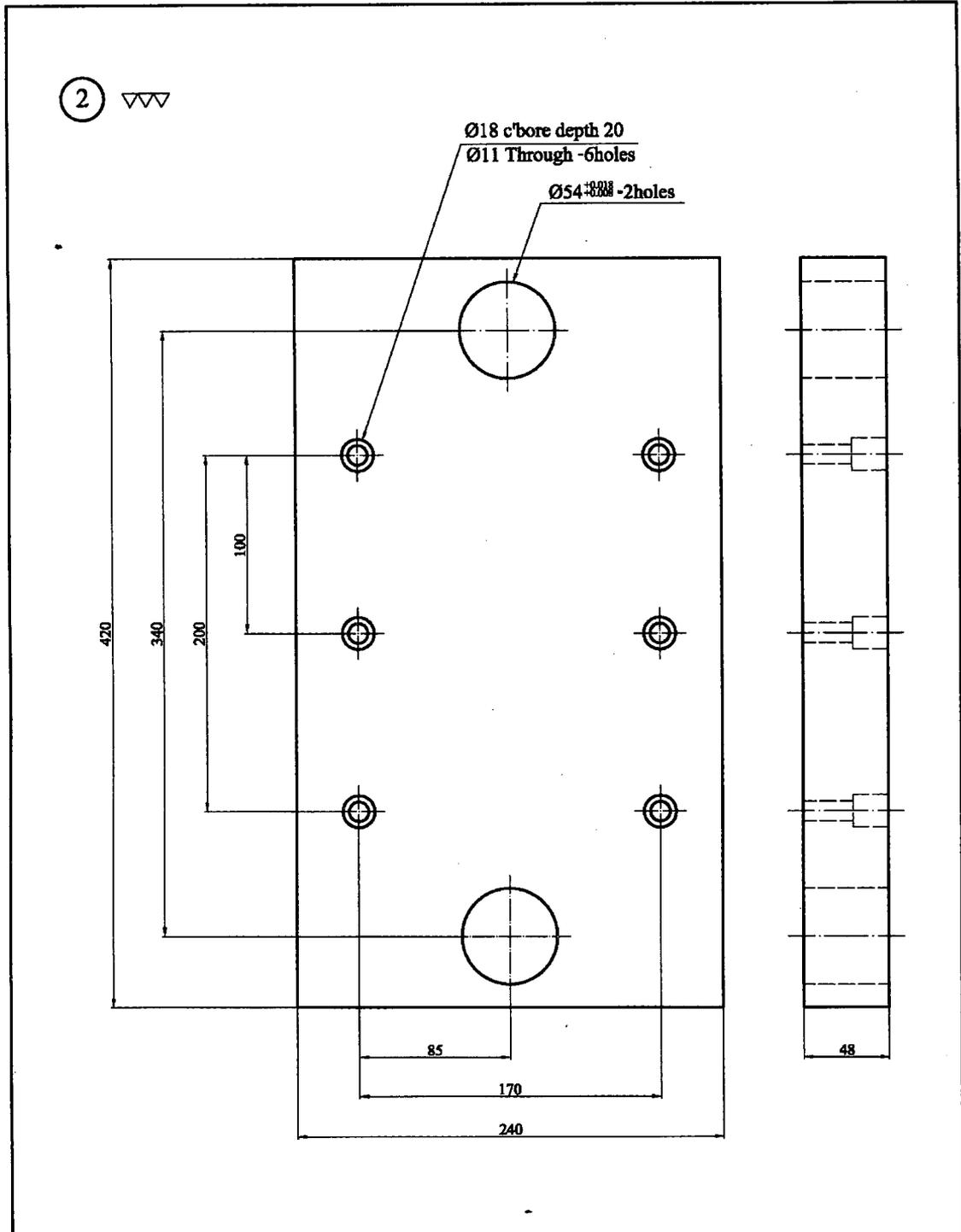


Section A-A

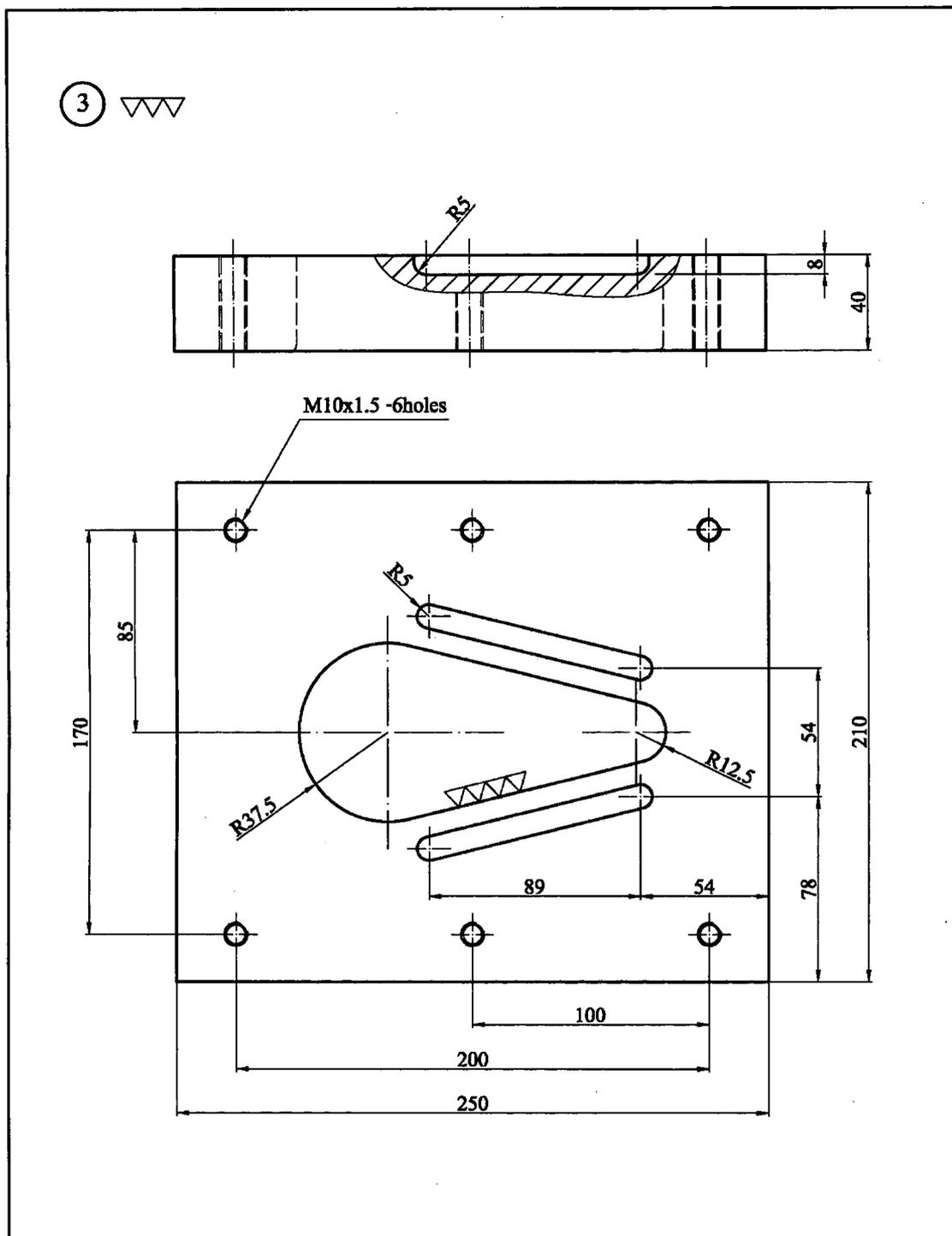
9	Bush	Ø54x68	S50C	50344-09	2
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กันเกตุ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ช.					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
NON	Deep drawing	50344-09			



1	Die Holder	240x420x48	SS41	50344-01	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กิ่งแก้ว		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ร.					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
NON	Deep drawing	50344-01			

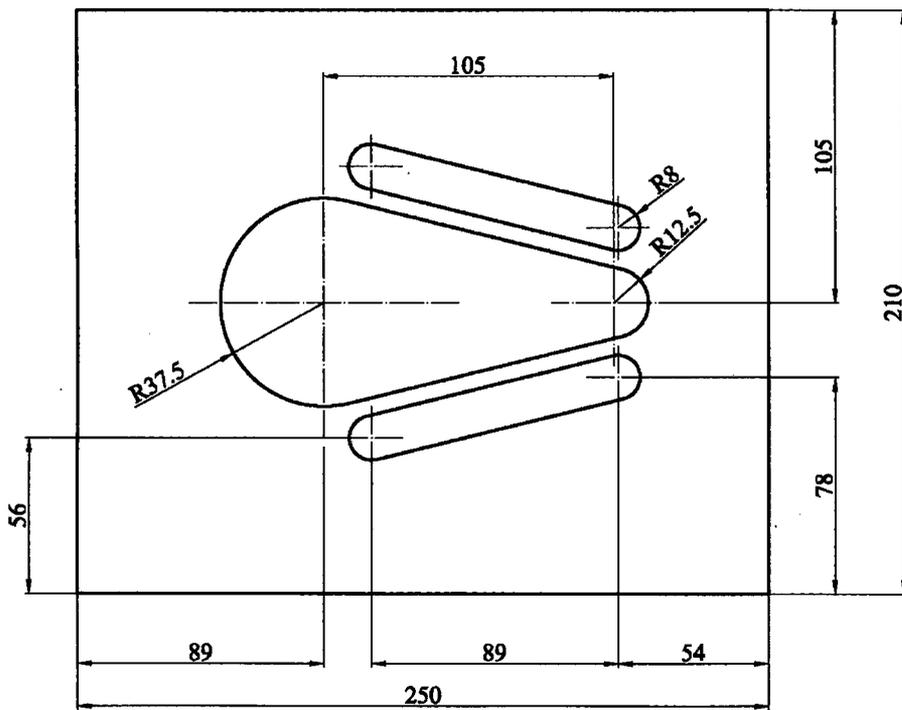
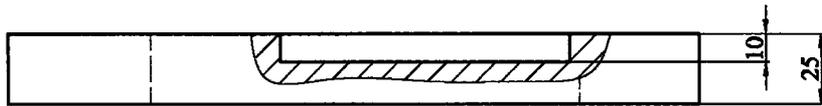


2	Punch Holder	240x420x48	S841	50344-02	1
ชนิดที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธินันท์ กิ่งเกตุ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ร.					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
NON	Deep drawing	50344-01			

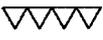


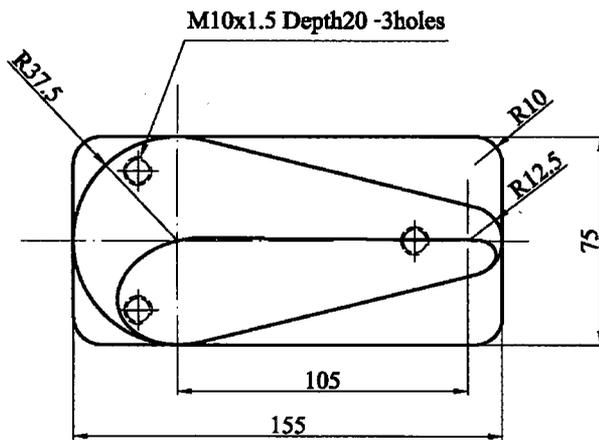
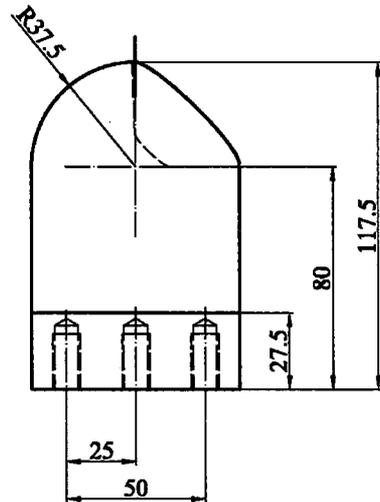
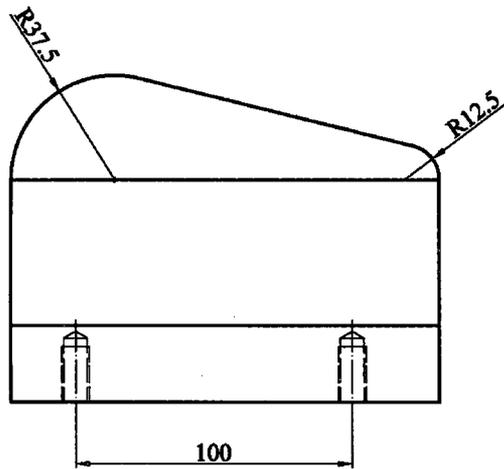
3	Die Plate	210x250x40	SKD11	50344-03	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กัมเกตุ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ร.					
มาตรฐาน	ข้อบังคับงาน Deep drawing		หมายเลขแบบ 50344-03		

④ 



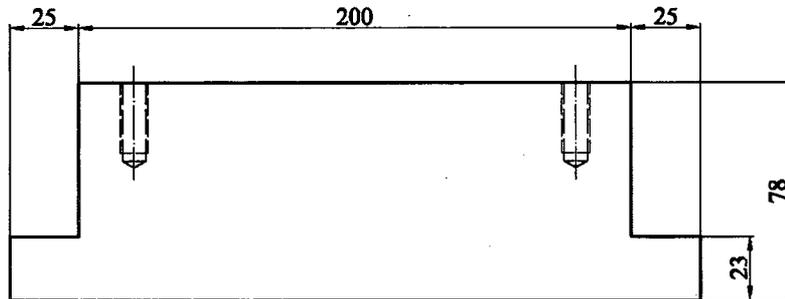
4	Blank Holder	210x250x25	S50C	50344-04	1
วันที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กิ่งเกตุ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ร.					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
NON	Deep drawing	50344-04			

5 

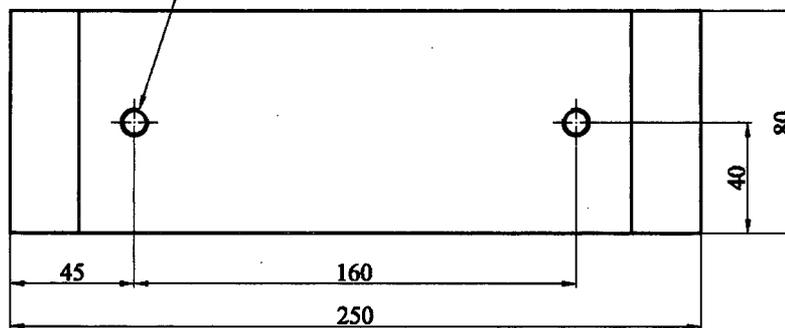


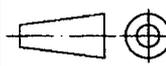
5	Punch From	80x150x118	SKD11	50344-05	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กิ่งแกตุ			คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ร.					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน		หมายเลขแบบ		
NON	Deep drawing		50344-05		

⑥ 

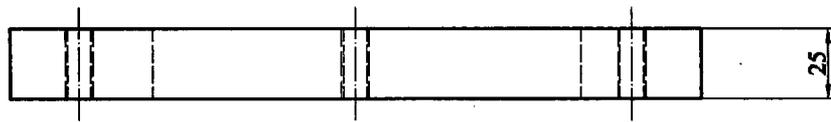


M10x1.5 Depth25 -2holes

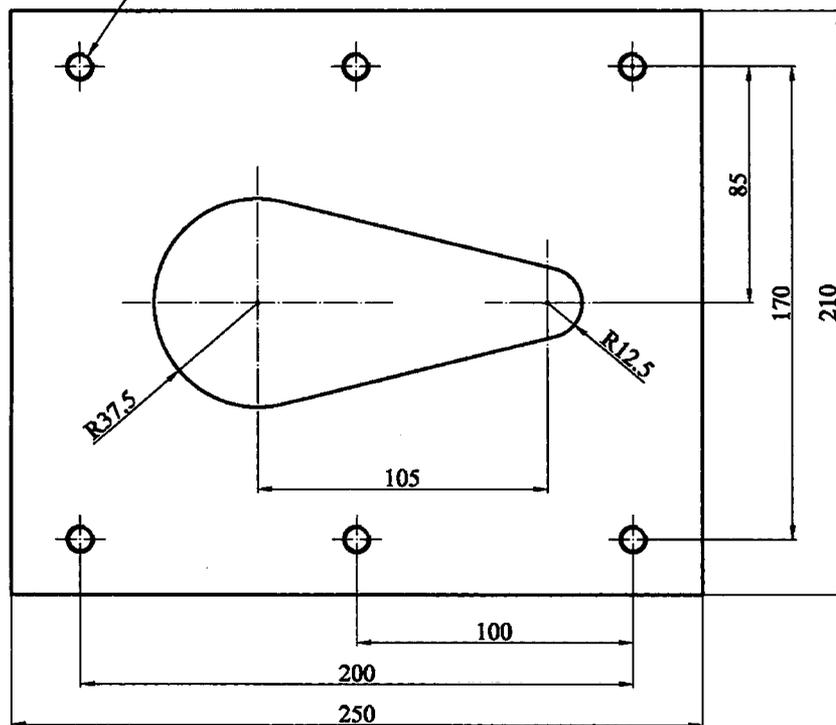


6	Spacer Block	80x250x78	S50C	50344-06	2
วันที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กิ่งเกตุ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ร.					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
NON	Deep drawing	50344-06			

7

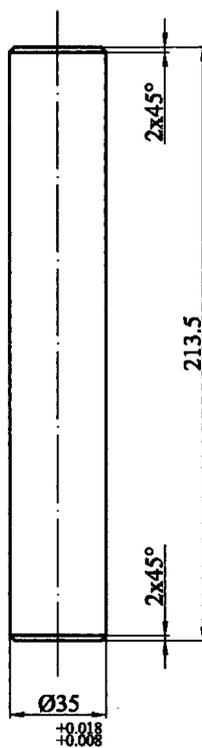
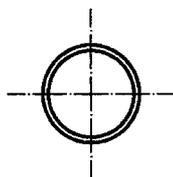


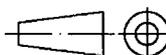
M10x1.5 -6holes



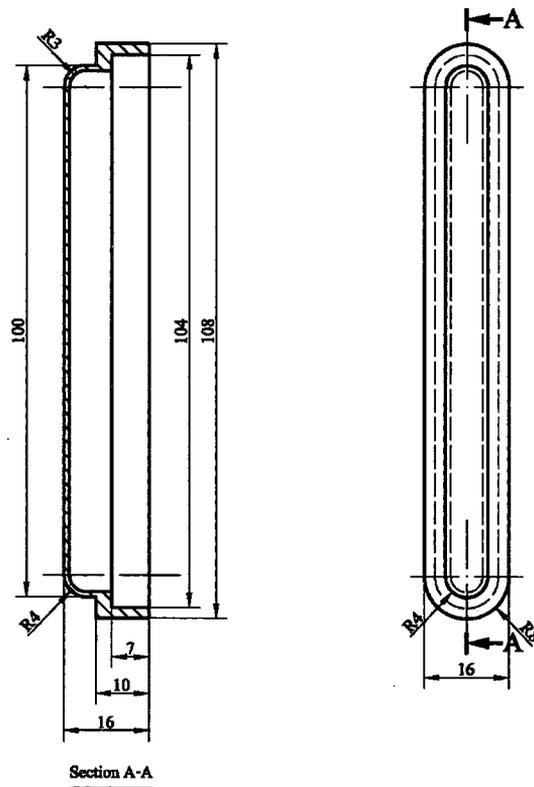
7	Pressure Die	210x250x40	S50C	50344-07	1
ชนิดที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กิ่งแก้ว		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ท.					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
NON	Deep drawing	50344-07			

8 



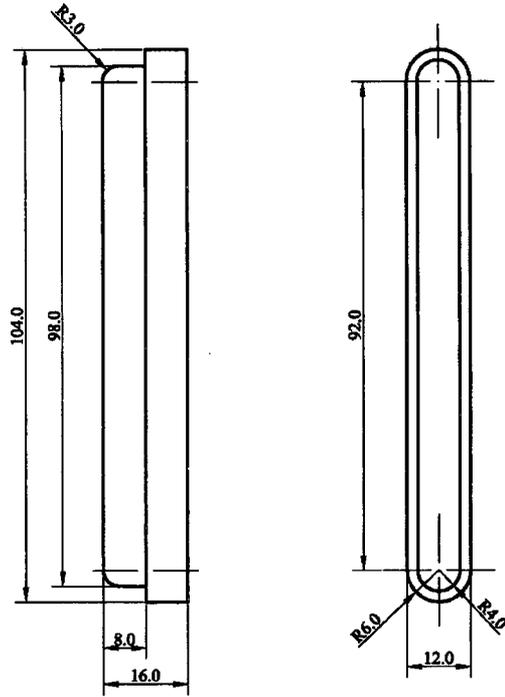
8	Guide	Ø35x213.5	S50C	50344-08	2
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กิ่งแกตุ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ร.					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน Deep drawing		หมายเลขแบบ 50344-08		
NON					

10 ∇∇∇



10	Drawbead	16x108x16	S50C	50344-10	2
รุ่นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กั้นเกตุ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ท.					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน Deep Drawing		หมายเลขแบบ 50344-10		

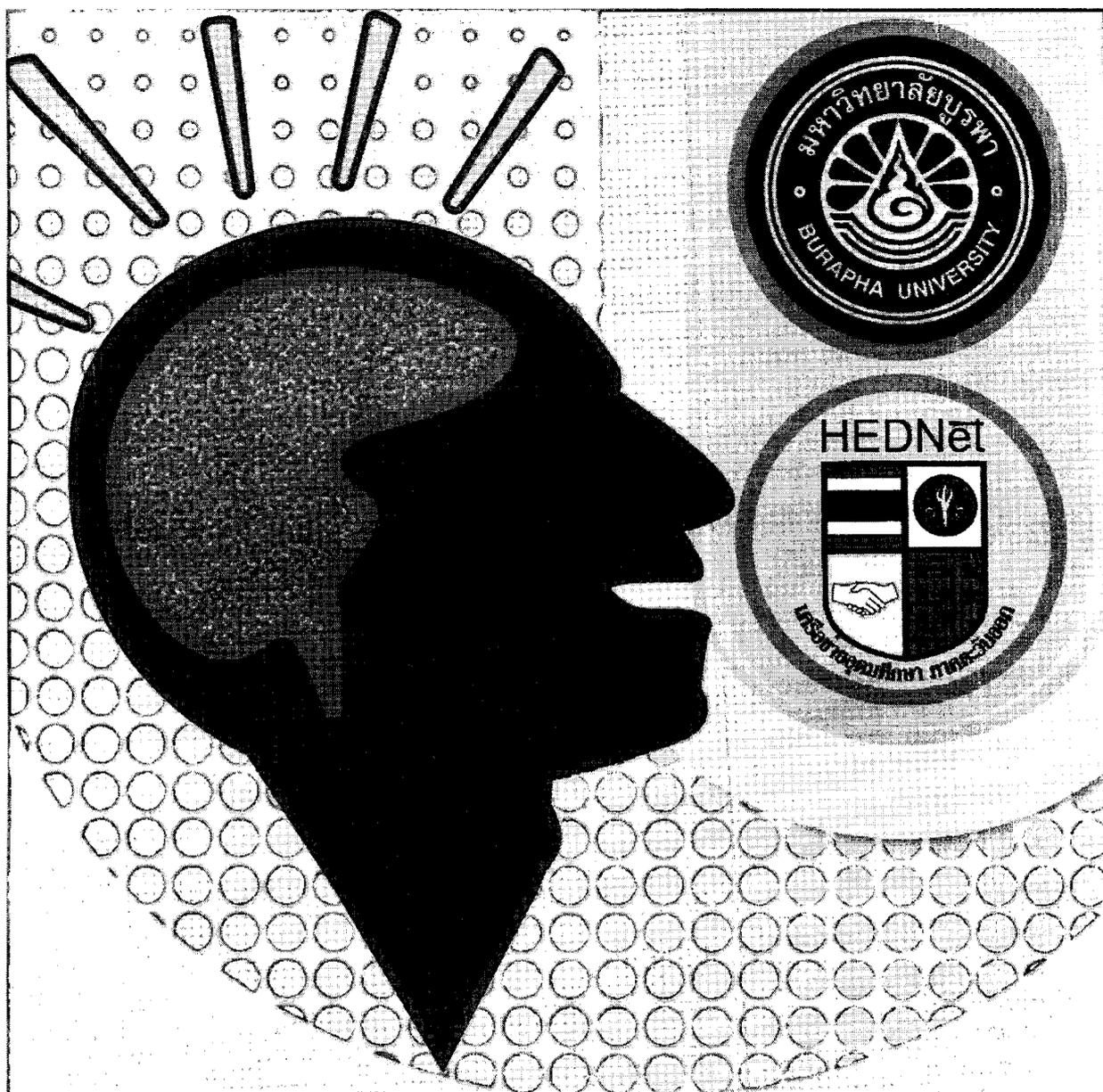
⑪ ~



11	Drawbead Insert	12x104x16	NBR	50344-11	2
วันที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กิ่งแกตุ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ร.					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
NON	Deep Drawing	50344-11			

ภาคผนวก ง

ผลงานนำเสนอต่อการประชุมวิชาการที่มีรายงานการประชุม



รวมบทความวิชาการประชุมวิชาการระดับชาติ
“มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔”

Burapha University National Conference 2011

จัดโดย มหาวิทยาลัยบูรพา และ เครือข่ายอุดมศึกษา ภาคตะวันออก

วันที่ ๖-๗ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๕๔
 ณ อาคาร ๕๐ ปี มหาวิทยาลัยบูรพา
 (ศาสตราจารย์ประยูร จินดาประดิษฐ์)
 มหาวิทยาลัยบูรพา

การศึกษาการไหลตัวของโลหะแผ่นในกระบวนการลากขึ้นรูปด้วยลิคโดยการประยุกต์ใช้ดรอร์บีตยางเสริมแรง

An Application of the Rubber Reinforce on the Deep Drawing Sheet Metal Process

สมชาย เอี่ยมเจริญ¹ จงกล สุภารัตน์² ศิริชัย ต่อสกุล³

^{1,2,3}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

E-mail: pitundl@yahoo.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของชนิดดรอร์บีต ซึ่งประกอบด้วยดรอร์บีตโลหะ ดรอร์บีตเสริมยางธรรมชาติ และดรอร์บีตเสริมยางสังเคราะห์ ทำการศึกษาการไหลตัวของโลหะแผ่นในกระบวนการลากขึ้นรูปด้วยลิครูปทรงไม่สมมาตร โดยลากขึ้นรูปวัสดุชิ้นงานแผ่นเหล็กรีดเย็น SPCC ความหนา 1.0 มม. ใช้แรงกดชิ้นงานเท่ากับ 30%, 50% และ 70% ของแรงที่ใช้ลากขึ้นรูป ผลการทดลองลากขึ้นรูปด้วยลิคกับดรอร์บีตทั้งสามชนิด พบว่าแรงกดชิ้นงานสูงทำให้เกิดความเครียดบนชิ้นงานสูงถึง 0.469 ซึ่งเกิดกับดรอร์บีตโลหะ รองลงมาเป็นดรอร์บีตยางสังเคราะห์ และดรอร์บีตยางธรรมชาติต่ำสุดตามลำดับ สำหรับแรงกดชิ้นงานที่เหมาะสมคือ 70% ของแรงลากขึ้นรูปซึ่งจะทำให้ไม่เกิดรอยยับบริเวณขอบปีกและผนังด้านข้าง

คำสำคัญ: ดรอร์บีต, การลากขึ้นรูป, แรงกดชิ้นงาน, ยางธรรมชาติ

Abstract

This research is intended to study the influence of different kinds of draw bead, which are metal draw bead, natural rubber draw bead and synthetic rubber draw bead. The study would offer an understanding of sheet metal flow during the process of deep drawing in nonsymmetrical deep drawing die by applying deep drawing cold rolled sheet (SPCC) with 1.0 mm. thickness and 30 %, 50%, and 70 % of blank holder force. After examined closely to the three kinds of draw bead, it could be concluded that the blank holder force had been made by metal draw bead created a strain of 0.469. Subsequently, natural rubber draw bead had created lesser and synthetic rubber draw bead had created least. The perfect blank holder force that should be made during process was 70 % and that wouldn't be created any wrinkleless at the die edge and wall.

Keyword (s): Drawbead, Deep Drawing, Blank Holder.Force, Natural Rubber

1. บทนำ

ในปัจจุบันธุรกิจมีการแข่งขันทางการค้าสูงมากในประเทศไทยมีผู้ประกอบการอุตสาหกรรมหลายสาขาได้มีการปรับปรุงคุณภาพการผลิตสินค้าและขยายตัวไปอย่างรวดเร็วมีการแข่งขันทางธุรกิจอุตสาหกรรมเกิดขึ้นตลอดเวลาทั้งทางด้านการตลาด รูปแบบของผลิตภัณฑ์ และเงินลงทุนผู้ประกอบการอุตสาหกรรมแต่ละแห่งต้องเร่งพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีต่างๆ (ชาญชัย, 2537) การขึ้นรูปโลหะมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมยานยนต์ หรืออุตสาหกรรมครัวเรือน การพัฒนากระบวนการ

ลากขึ้นรูปโลหะจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพื่อลดต้นทุนการผลิต การพัฒนาผลิตภัณฑ์และการเพิ่มคุณภาพของงานให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นสำหรับการลากขึ้นรูปด้วยลึงเป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น โดยใช้แม่พิมพ์ทำการลากขึ้นรูปด้วยลึงแผ่นโลหะเข้าไปในแม่พิมพ์ได้ขึ้นงานลักษณะรูปทรงด้วยการลากขึ้นรูปด้วยเป็นกรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยอาศัยแรงดึงและแรงอัด (กิตติภักดิ์, 2542) (Schuler, 1998) การลากขึ้นรูปด้วยมีดตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการขึ้นรูป ได้แก่ ชนิดของโลหะแผ่น อัตราการลดรูป (Do/Dp) รัศมีของแม่พิมพ์ตัวผู้ (Punch radius) รัศมีของแม่พิมพ์ตัวเมีย (Die radius) แรงกดขึ้นงาน (Blank holding force) ความเสียดทาน (Friction) และสารหล่อลื่น (Lubrication) (เชษฐ, 2546) (Lange, 1985)

การลากขึ้นรูปด้วยลึงยังคงมีขีดจำกัดมากมาย โดยเฉพาะการลากขึ้นรูปขึ้นงานที่มีผนังบางและมีความลึกมากๆ ถึงแม้จะมีการควบคุมตัวแปรต่างๆดังกล่าวไว้ข้างต้น แต่ก็ประสบปัญหาในการควบคุมการไหลตัวของโลหะแผ่น จึงมีการติดตั้งดรอร์บีต (Draw beads) (กิตติภักดิ์, 2542) ในแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปด้วยลึง ซึ่งมีหน้าที่สำหรับควบคุมการไหลตัวของขึ้นงานเข้าสู่แม่พิมพ์ ควบคุมการไหลของแผ่นโลหะด้วยการดัด (Bending and Unbending) แผ่นโลหะตามรูปทรงของดรอร์บีตระหว่างการลากขึ้นรูป การใช้ดรอร์บีต ทำให้ต้องเพิ่มแรงในการลากขึ้นรูปขึ้นงานเข้าสู่แม่พิมพ์แต่ดรอร์บีต ช่วยลดแรงกดขึ้นงาน (Blank holding force)

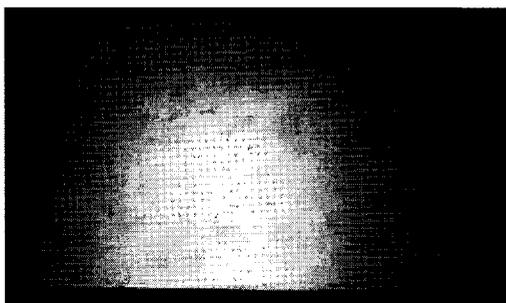
ได้มีการวิจัยมากมายที่ทำการศึกษาอิทธิพลของดรอร์บีต เช่น Chen (Chen, 1997) ได้วิเคราะห์แรงต้านดรอร์บีตในงานบีบขึ้นรูป เพื่อศึกษาลักษณะการไหลตัวของวัสดุ Livatyali (Livatyali et al., 2010) ได้ทำการทดลองวิเคราะห์ลักษณะของการลากขึ้นรูปของเหล็กเฟสคู่ (DP600) โดยการใช้ดรอร์บีตรูปทรงกลม เพื่อวิเคราะห์ความเครียด แรงในการลากขึ้นรูป และแรงกดดรอร์บีต Samuel (Samuel, 2002) ได้ศึกษาอิทธิพลของรูปทรงดรอร์บีตในงานขึ้นรูปโลหะแผ่น โดยการออกแบบดรอร์บีตและจำลองในไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อศึกษาแรงลากขึ้นรูป และการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เป็นต้น แต่งานวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นเป็นการออกแบบดรอร์บีตและทำมาจากวัสดุโลหะทั้งสิ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการประยุกต์ดรอร์บีตยางธรรมชาติ (Natural Rubber : NR) และยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubber : SR) โดยการทดลองทำการเปรียบเทียบกับดรอร์บีตแบบปกติที่ทำมาจากโลหะทั้งแท่งกับดรอร์บีตที่ทำจากยาง เนื่องจากคุณสมบัติของยางธรรมชาตินั้นมีความยืดหยุ่นตัว จึงอาศัยคุณสมบัตินี้เพื่อลดการเกิดรอยเสียหายบนผิวโลหะแผ่นและ ลดแรงกดได้นอกจากนี้ทำให้เกิดการไหลตัวได้ดีอีกด้วย

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 การเตรียมการทดลอง

2.1.1. การเตรียมขึ้นงานทดสอบ

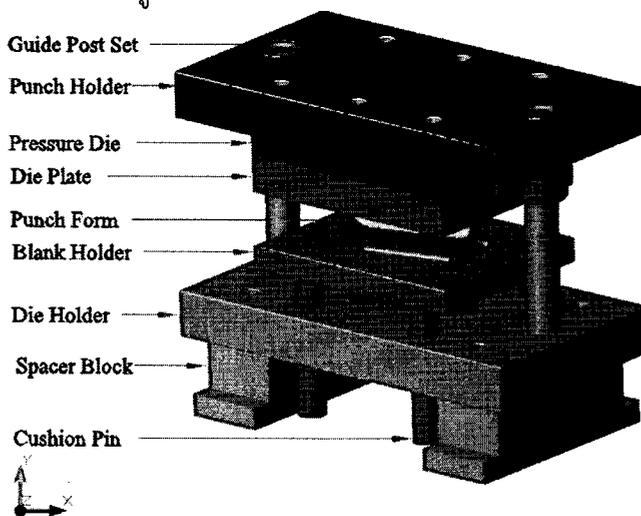
ตัดขึ้นงานตามแนวริตสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาด 220 x 160 มม. ด้วยเครื่องตัดโลหะแผ่น (Power shear) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชิ้นงานสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาด 220 x 160 มม.

2.1.2 การออกแบบแม่พิมพ์ลากขึ้นรูป

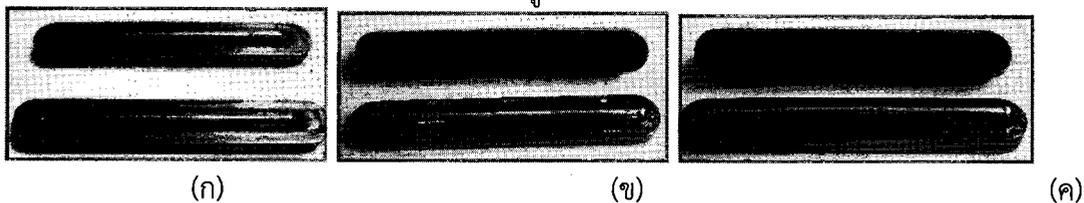
หลักการการทำงานของแม่พิมพ์ชุดตัว (Die holder) ใช้รับยึดกับแท่นป้อนขึ้นลงและยึดแผ่นรองตาย (Pressure die) และแผ่นตาย (Die holder) จะยึดกันเช่นชุดบน (Upper shore) มีชุดนำการป้อน (Guide post) เป็นชุดนำเพื่อความเที่ยงตรงในการป้อนขึ้นลงและชุดล่าง (Lower shore) จะประกอบด้วยพินซ์ (Punch) แผ่นกดยึด (Blank holder) มีหน้าที่ในการกดยึดชิ้นงานโดยส่งถ่ายแรงจากคูชันพิน (Cushion pin) ซึ่งสามารถปรับแรงได้และแผ่นพินซ์โฮลเดอร์ (Punch holder) จะจับยึดกับแท่นเครื่องป้อน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ขึ้นรูปถ้วยลึก (บุญส่ง, 2552)

2.1.3 การออกแบบดรอว์บีด

การออกแบบดรอว์บีด ดังแสดงในรูปที่ 3



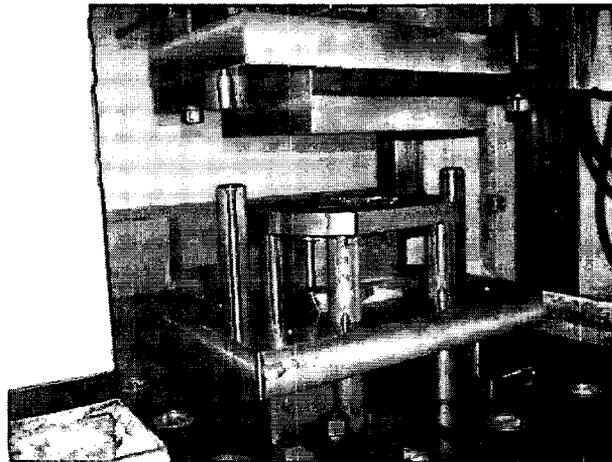
รูปที่ 3 (ก) ดรอว์บีดโลหะเหล็กชนิด S45C (ข) ดรอว์บีดเสริมยางธรรมชาติ

(ค) ดรอร์ปิดเสริมยางสังเคราะห์

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

2.2.1 การติดตั้งชุดแม่พิมพ์ลากขึ้นรูป

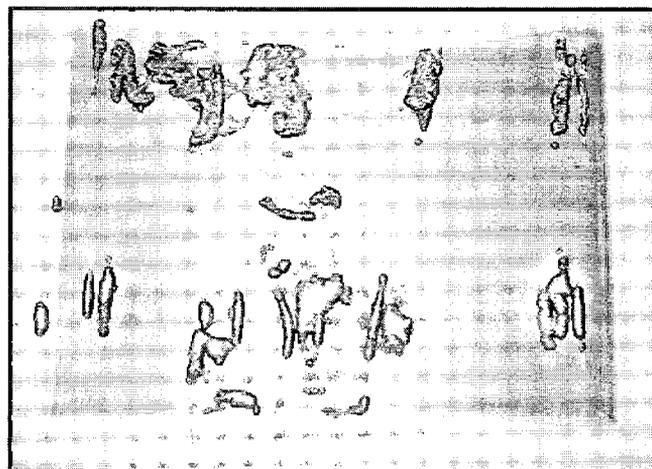
นำแม่พิมพ์ที่ประกอบเสร็จแล้ว ไปติดตั้งบนเครื่องปั๊ม ใส่วาล์ว 4 ตัว ยึดแม่พิมพ์ตัวบนและตัวล่างให้แน่น แล้วยกชุดบนขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊มไฮดรอลิกส์ 80 ตัน

2.2.2 สารหล่อลื่น

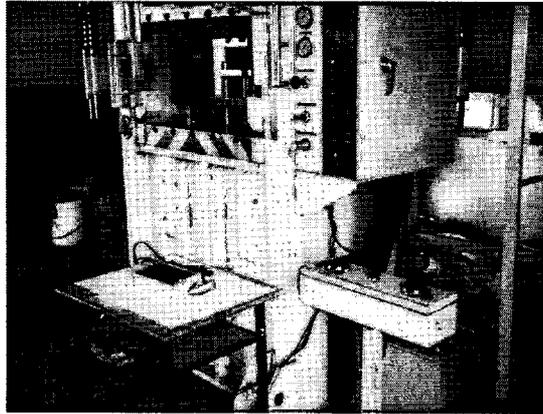
แผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene : HDPE) จะมีโครงสร้างเป็นเส้นตรงลักษณะโปร่งแสงหรือขุ่น แข็งและเหนียว ราคาถูก ขึ้นรูปง่าย ทนต่อสารเคมี ก๊าซซึมผ่านได้ยาก ที่มีความหนาเท่ากับ 0.10 มม. ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีนหนา 0.10 มม.

2.2.3 ทำการทดลองลากขึ้นรูปด้วยลิก

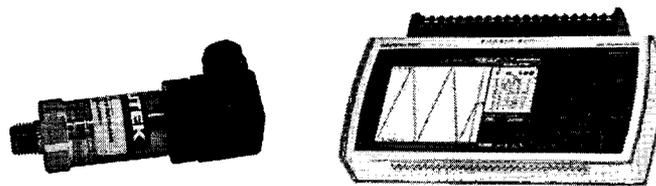
ลากขึ้นรูปด้วยลิกขึ้นงานตามตัวแปรการทดลอง คือ ดรอร์ปิดโลหะ ดรอร์ปิดเสริมยางธรรมชาติ และดรอร์ปิดเสริมยางสังเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การติดตั้งอุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณต่อเข้ากับเครื่องปั๊ม

2.2.4 การเก็บผลการทดลอง

การเก็บผลการทดลองใช้อุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณ (Mini data logger) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูล พื้นฐานของระบบข้อมูล ประกอบไปด้วย scanner หรือ multiplexer digital-voltmeter และตัวบันทึกข้อมูล ซึ่งรับ Input ที่เป็นระบบ analog จาก sensor แล้วทำการเปลี่ยนข้อมูลเป็นระบบ digital และเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำเพื่อนำไปใช้ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 7



(ก)

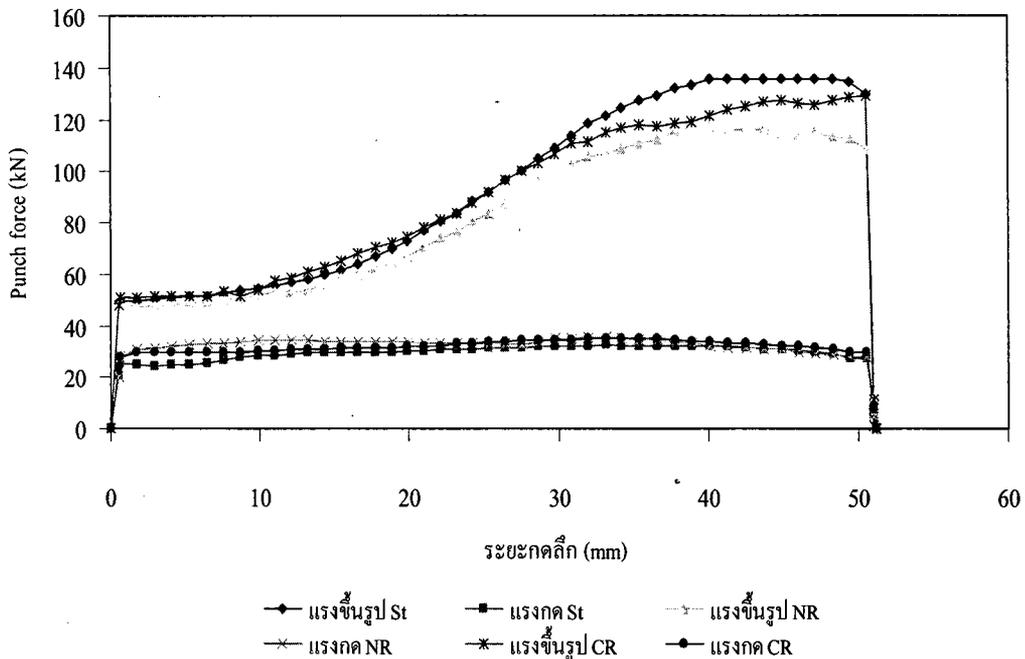
(ข)

รูปที่ 7 (ก) อุปกรณ์วัดแรงดันน้ำมัน (ข) อุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณ

3. ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผล

3.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์แรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานในการใช้ดรอร์ปิดแต่ละชนิด ที่ระดับแรงกดขึ้นงานต่างกัน 30% ,50% และ 70%

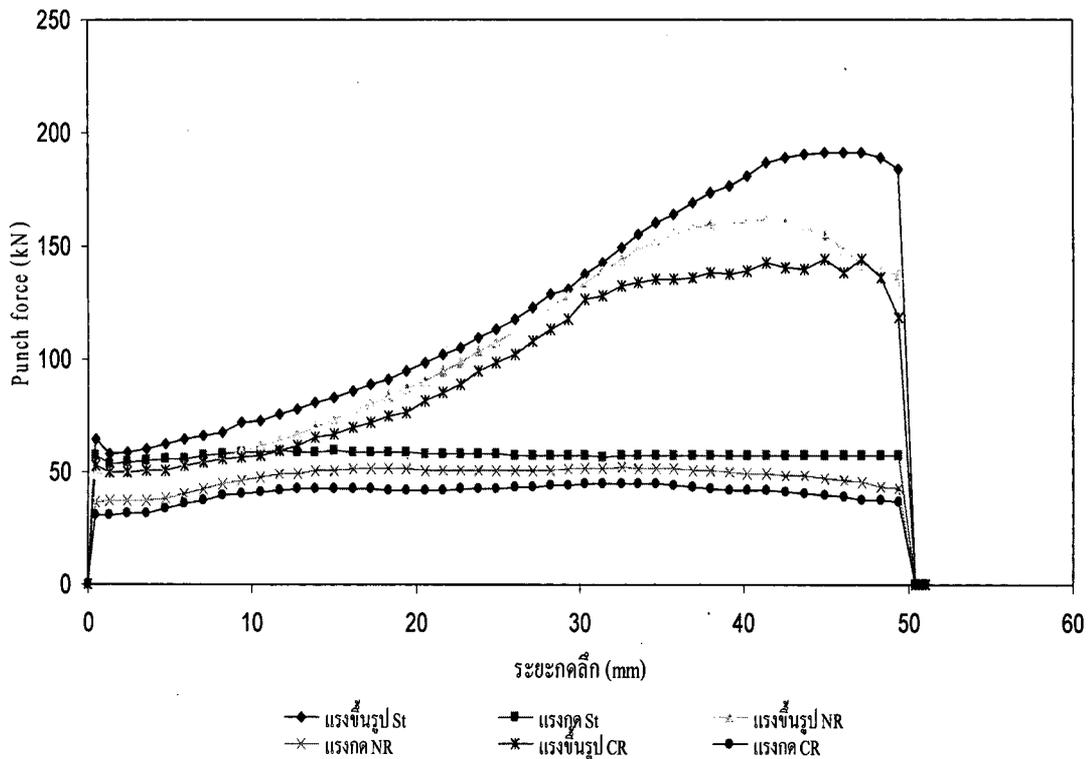
3.1.1 แรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานในการใช้ดรอร์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกดขึ้นงาน 30% ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟแสดงแรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานในการใช้ดรอร์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกด 30 %

จากรูปที่ 8 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงลากขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานต่อระยะกดลึกในการใช้ดรอร์ปิดแต่ละชนิด จะพบว่าแรงลากขึ้นรูปในการใช้ดรอร์ปิดโลหะ (แรงขึ้นรูป St) มีระดับแรงสูงสุด 140 kN เพราะว่าเมื่อแรงกดขึ้นงานเพิ่มขึ้นดรอร์ปิดที่เป็นโลหะไม่เกิดการยุบตัวแรงขึ้นรูปจึงมีค่าสูงทำให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป รองลงมาเป็นการใช้ดรอร์ปิดเสริมแรงอย่างสังเคราะห์ (แรงขึ้นรูป CR) เพราะว่าดรอร์ปิดเสริมแรงอย่างสังเคราะห์ เกิดการยุบตัวน้อยกว่ายางธรรมชาติ มีระดับแรงขึ้นรูปต่ำสุดเนื่องจากการยุบตัวมากที่สุด แรงกดขึ้นงานของดรอร์ปิดโลหะจะสูงสุด เมื่อเปลี่ยนมาใช้ดรอร์ปิดเสริมแรงยางธรรมชาติ และดรอร์ปิดเสริมแรงอย่างสังเคราะห์ แรงกดขึ้นงานมีระดับลดต่ำลงกว่าการใช้ดรอร์ปิดโลหะและแรงขึ้นรูปก็ลดลงด้วย ทำให้ลดความเสียหายผิวชิ้นงานที่สัมผัสกับแผ่นกดขึ้นงาน กับตาย ได้ แต่จะทำให้เกิดรอยยับบริเวณขอบปีกชิ้นงานและผนังด้านข้าง

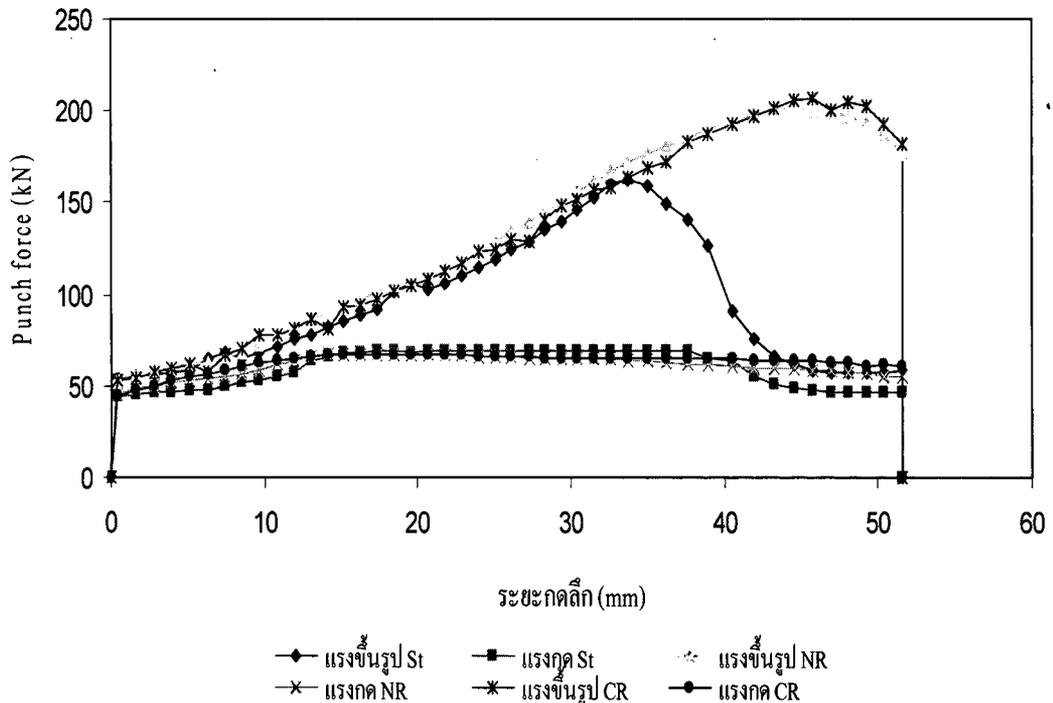
3.1.2 แรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานในการใช้ดรอร์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกดขึ้นงาน 50 % ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 กราฟแสดงแรงขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานในการใช้ดรอร์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกด 50 %

จากรูปที่ 9 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงลากขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานต่อระยะกดลึก ในการใช้ดรอร์บีดแต่ละชนิด จะพบว่าแรงลากขึ้นรูปในการใช้ดรอร์บีดโลหะ (แรงขึ้นรูป St) มีระดับแรงสูงสุด 193 kN เพราะว่าเมื่อแรงกดชิ้นงานเพิ่มขึ้นดรอร์บีดที่เป็นโลหะไม่เกิดการยุบตัวแรงขึ้นรูปจึงเพิ่มสูงขึ้นทำให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป รองลงมาเป็นการใช้ดรอร์บีดเสริมแรงธรรมชาติ (แรงขึ้นรูป NR) เพราะว่าดรอร์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติเกิดการยุบตัวน้อยกว่ายางสังเคราะห์ และดรอร์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์ (แรงขึ้นรูป CR) มีระดับแรงขึ้นรูปต่ำสุดเนื่องจากการยุบตัวมากที่สุด แรงกดชิ้นงานของดรอร์บีดโลหะจะสูงสุด เมื่อเปลี่ยนมาใช้ดรอร์บีดเสริมแรงธรรมชาติ และดรอร์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์ แรงกดชิ้นงานมีระดับลดต่ำกว่าการใช้ดรอร์บีดโลหะและแรงขึ้นรูปก็ลดลง ทำให้ลดความเสียหายผิวชิ้นงานที่สัมผัสกับแผ่นกดชิ้นงาน (Blank holder force) กับตาย (Die) ได้ แต่จะทำให้เกิดรอยย่นบริเวณขอบปีกชิ้นงาน

แรงขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานในการใช้ดรอร์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกดชิ้นงาน 70 % ดังแสดงในรูปที่ 10

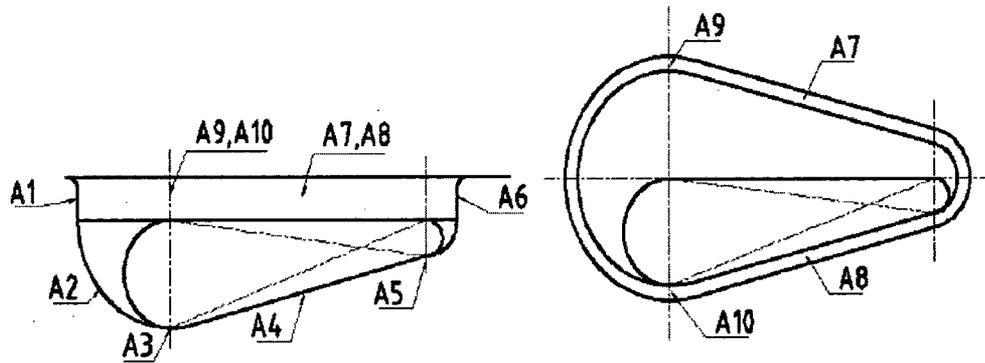


รูปที่ 10 กราฟแสดงแรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานในการใช้ดรอร์บีตแต่ละชนิด ที่แรงกด 70 %

จากรูปที่ 10 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงลากขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานต่อระยะกดลึก ในการใช้ดรอร์บีตแต่ละชนิด จะพบว่าแรงลากขึ้นรูปในการใช้ดรอร์บีตโลหะ (แรงขึ้นรูป St) ขึ้นสูงที่ 162 kN ที่ระยะความลึก 34 mm. แล้วขึ้นงานเกิดการฉีกขาด เพราะว่าปริมาณแรงกดขึ้นงานที่สูงกลงที่ดรอร์บีตทำให้โลหะไม่สามารถไหลเข้าสู่ช่องตายได้ ทำให้เกิดความรุนแรงของการเปลี่ยนรูปวัสดุที่จุดนี้ สำหรับดรอร์บีตโลหะไม่เหมาะกับการใช้แรงกดที่สูง เมื่อเปลี่ยนมาใช้ดรอร์บีตเสริมแรงธรรมชาติ จะเห็นได้ว่ากราฟแรงขึ้นรูป (แรงขึ้นรูป NR) ขึ้นสูงถึง 200.1 kN ขึ้นงานไม่เกิดการฉีกขาด เพราะว่าเกิดการยุบตัวของเนื้อยาง ทำให้ใช้ได้กับแรงกดที่สูง และดรอร์บีตเสริมแรงยางสังเคราะห์แรงในการลากขึ้นรูปมีระดับต่างกันเล็กน้อยกับดรอร์บีตเสริมแรงยางธรรมชาติ และแรงกดขึ้นงานมีความราบเรียบ แสดงว่าการไหลตัวของโลหะเป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอ

3.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ความเครียด

การวิเคราะห์ความเครียดแนวความหนา (Thickness strain) ของขึ้นงานในแต่ละจุด ของการใช้ดรอร์บีตแต่ละชนิด ที่ระดับแรงกดขึ้นงานต่างกัน 30% ,50% และ 70% บริเวณจุดที่ตรวจวัดความเครียดบนขึ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 บริเวณจุดที่ตรวจวัดความเคียดบนชิ้นงาน [9]

ตารางที่ 1 สรุปผลการทดลองการเกิดความเคียด ณ บริเวณสูงสุด

แรงกดชิ้นงาน	ความเคียด		
	ดรอว์บีดโลหะ	ดรอว์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ	ดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์
30 %	0.185 (A6)	0.171(A6)	0.172 (A6)
50 %	0.236 (A6)	0.196 (A5)	0.195 (A6)
70 %	0.469 (A6)	0.311 (A6)	0.306 (A6)

จากการทดลองพบว่าความเคียดที่เกิดขึ้นสูงสุดของทุกตัวแปรการทดลอง คือจุด A6 ซึ่งเป็นบริเวณที่วัสดุเกิดการยืดตัวได้สูงสุด ที่แรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแรงกดชิ้นงานเพิ่มสูงขึ้นทำให้ความสามารถการไหลตัวของโลหะลดลง เพราะเกิดการขึ้นรูปแบบดิ่งยัด ทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานลดลง ที่จุด A6 มีความรุนแรงความเคียดสูงสุด ซึ่งเป็นพื้นที่จุดวิกฤติ เนื่องจากมีรัศมีในการดรอว์น้อย จึงทำให้ชิ้นงานฉีกขาดบริเวณนี้ ในการใช้ดรอว์บีดโลหะจะพบความรุนแรงความเคียดที่จุด A1 ถึง A8 สูงกว่าดรอว์บีดชนิดอื่น และจุดตรวจ A9 และ A10 จะเห็นว่าความเคียดสูงเป็นของการใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์

4. สรุป

4.1 การใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์กดชิ้นงาน แรงกดชิ้นงานที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานที่ระดับ 70 เปอร์เซ็นต์ของแรงลากขึ้นรูป ถ้าใช้แรงกดชิ้นงานน้อยกว่านี้ ที่ระดับ 50 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่า แรงกดชิ้นงานไม่เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป ทำให้ชิ้นงานเกิดรอยยับบริเวณขอบปีกชิ้นงานและผนังด้านข้าง

4.2 การใช้ดรอว์บีดโลหะที่ระดับแรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูปลึก มีความเหมาะสมในการลากขึ้นรูปชิ้นงานรูปทรงไม่สมมาตร เนื่องจากได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพ ซึ่งความหนาของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และมีความเครียดที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยตามด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2554 จากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือ และอุปกรณ์ การวิจัยต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

- กิตติภักดิ์ รัตนจันทร์. (2542). *ผลกระทบจากดรอว์บีดในการขึ้นรูปโลหะแผ่น*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมการผลิต บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ชาญชัย ทรัพย์การ. (2537). *การออกแบบแม่พิมพ์*. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- เชษฐ อุทัยัง. (2546). *การศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการลากขึ้นรูปลึกโดยใช้สารหล่อลื่น*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต เทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- บุญส่ง จงกลณี. (2552). *การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการขึ้นรูปลึกชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตรต่อสมบัติการขึ้นรูปของเหล็ก SPCC*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- Fuh-Kuo Chen. Pao-ChingTszeng. (1997). An analysis of drawbead restraining force in the stamping process. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 38. pp:827-842.
- Lange K. (1985). *Metal Forming Handbook*. New York : McGraw-Hill.
- Livatyali H. Firat M. Gurler B. Ozsoy M. (2010). An experimental analysis of drawing characteristic of a dual-phase steel through a round drawbead. *Materials and Design*. (31). pp: 1639-1643.
- Samuel M. (2002). Influence of drawbead geometry on sheet metal forming. *Journal of Materials Processing Technology*. 122. pp:94-103.
- Schuler GmbH. (1998). *Metal Forming Handbook*. Berlin: Springer.