

บทที่ 3

การดำเนินงาน

เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการลากขึ้นรูปโดยการเปลี่ยนค่าระยะเผื่อของแม่พิมพ์ ในกระบวนการลากขึ้นรูป ว่าวัสดุที่ใช้ในการทดลองชนิดใดที่สามารถใช้ในกระบวนการงานลากขึ้นรูปได้ดีที่สุดและเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการยึดขึ้นรูปของวัสดุที่ใช้ในการทดลองในกระบวนการไอออนนิ่ง เมื่อมีการลดขนาดของวัสดุตามอัตราส่วนความหนาหรือพื้นที่ของชิ้นงาน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานโครงการ

- 3.1.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการกดรีดขึ้นรูปโลหะ (Ironing Test)
- 3.1.2 ทำการศึกษาและกำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อความผันแปรของการกดรีดขึ้นรูปโลหะ
- 3.1.3 ออกแบบและจัดสร้างแม่พิมพ์สำหรับทำการศึกษาให้สามารถใช้ร่วมกับเครื่องทดสอบโลหะแผ่น อเนกประสงค์ (Universal Sheet Metal Testing Machine)
- 3.1.4 การออกแบบและวางแผนการทดลอง เพื่อหาข้อกำหนด (Specification) ของแต่ละปัจจัย (Critical Parameter)
- 3.1.5 จัดหาวัสดุที่ใช้ในการทดลองศึกษาวิเคราะห์และทดลอง
- 3.1.6 จัดหาและจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์
- 3.1.7 ดำเนินการทดลองตามแผนของการออกแบบทดลอง
- 3.1.8 ตรวจสอบระยะของขนาดส่วนต่าง ๆ จากชิ้นทดลอง
- 3.1.9 วิเคราะห์ผลการทดลอง
- 3.1.10 สรุปผลการศึกษา

3.2 การคำนวณค่าต่าง ๆ ของการออกแบบแม่พิมพ์

- 3.2.1 การคำนวณค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นชิ้นงาน (d_0)

$$\begin{aligned}
 d_0 &= \sqrt{d_2^2 + 4d_2(h + 0.57r) - 0.56r^2} \quad \text{.....(2.4)} \\
 &= 2304 + 192(24 + 4.56) - (0.56 \times 8^2) \\
 &= 90.522 \text{ มิลลิเมตร}
 \end{aligned}$$

3.2.2 การคำนวณหาค่า Clearance

$$\begin{aligned}
 u_z &= d_s + 2t + 2c \\
 &= 48 + (2 \times 2) + (2 \times 0.0192) \dots\dots\dots 12\% \\
 &= 52.038 \text{ มิลลิเมตร}
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

3.2.3 การคำนวณหาแรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปลึก (Deep Drawing Force)

$$F_{d, \max} = \pi \times d_m \times S_0 \left[1.1 \frac{1.3 \times S_u}{\eta_{\text{def}}} \left[\ln \frac{d_0}{d_1} - 0.25 \right] \right] \tag{2.5}$$

$F_{d, \max}$ = แรงในการลากขึ้นรูปลึก (กิโลนิวตัน)

F_{BH} = แรงกดของแผ่นจับยึดชิ้นงาน (กิโลนิวตัน)

P_{BH} = ความดันของแผ่นจับยึดชิ้นงาน (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

A_{BH} = พื้นที่รับแรงดันของแผ่นเปล่า (ตารางมิลลิเมตร)

S_u = ความแข็งแรงดึงสูงสุดของวัสดุทดลอง

S_0 = ความหนาแผ่นเปล่า (มิลลิเมตร) มีค่าเท่ากับ 2 มิลลิเมตร

d_0 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางแผ่นเปล่า (มิลลิเมตร) มีค่าเท่ากับ 90.522 มิลลิเมตร

d_1 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพื้นซ์ (มิลลิเมตร) มีค่าเท่ากับ 48 มิลลิเมตร

d_m = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของถ้วยกลม (มิลลิเมตร) มีค่าเท่ากับ 50 มิลลิเมตร

C = ค่าคงที่ ได้จากการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 2 ถึง 3

η_{def} = ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนรูปของโลหะมีค่าอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 0.7

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (S_u)

วัสดุ	SUS 430	SUS 304	SPCEN	SPCC
S_u (มม.)	550	600	300	270

ที่มา: มาจากการคำนวณแรงในการขึ้นรูป

$$d_m = d_1 + S_0 = 48 + 2 = 50 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$= \pi \times 50 \times 2 \left[1.1 \frac{1.3 \times 600}{0.6} \left[\ln \frac{90.522}{48} - 0.25 \right] \right]$$

$$= 172687.197 \text{ kN}$$

∴ แรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปตามที่คำนวณได้ทางทฤษฎี คือ 172687.197 kN

3.2.4 การคำนวณหาแรงในการจับยึดแผ่นขึ้นงานเปล่า (Blank holder Force)

$$F_{BH} = A_{BH} \times P_{BH} \quad \dots(2.6)$$

หาพื้นที่ของแผ่นจับยึดแผ่นขึ้นงานเปล่า

$$A_{BH} = \frac{\pi}{4} (d_0^2 - d_1^2)$$

$$= \frac{\pi}{4} (90.522^2 - 48^2)$$

$$= 4626.177 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

หาแรงดันที่แผ่นจับยึดแผ่นขึ้นงานเปล่า

$$P_{BH} = 10^{-3} \times C \times S_u \left[(\beta - 1)^3 + \frac{0.005 \times d_0}{S_0} \right] \quad \dots (2.7)$$

$$\beta = \frac{d_0}{d_1} = \frac{90.522}{48} = 1.885$$

$$= 10^{-3} \times 2.5 \times 600 \left[(1.885 - 1)^3 + \frac{0.005 \times 90.522}{2} \right]$$

$$= 1.379 \text{ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร}$$

หาแรงในการจับยึดแผ่นขึ้นงานเปล่า

$$F_{BH} = A_{BH} \times P_{BH}$$

$$= 4626.177 \times 1.379$$

$$= 6.379 \text{ kn}$$

∴ แรงจับยึดแผ่นขึ้นงานเปล่าที่เหมาะสมตามที่คำนวณได้ทางทฤษฎี คือ 6.379 kN

ตารางที่ 3.2 การคำนวณลดความหนาของผนังชิ้นงาน (Thickness of Reduction)

ความหนา	เปอร์เซ็นต์การลดความหนาผนังชิ้นงาน				
ชิ้นงาน	25%	35%	45%	55%	60%
(มม.)	1.5 มม.	1.3 มม.	1.1 มม.	0.9 มม.	0.8 มม.

ที่มา: มาจากการคำนวณของชิ้นงาน

3.25 การคำนวณหาแรงที่ใช้ในการกดรีดขึ้นรูป (Ironing Force)

$$F_i = C_i \times A \times \left[\frac{S_u}{\eta} \times \frac{1}{1,000} \right] \quad \text{.....(2.15)}$$

F_i = แรงในการกดรีดขึ้นรูป (นิวตัน)

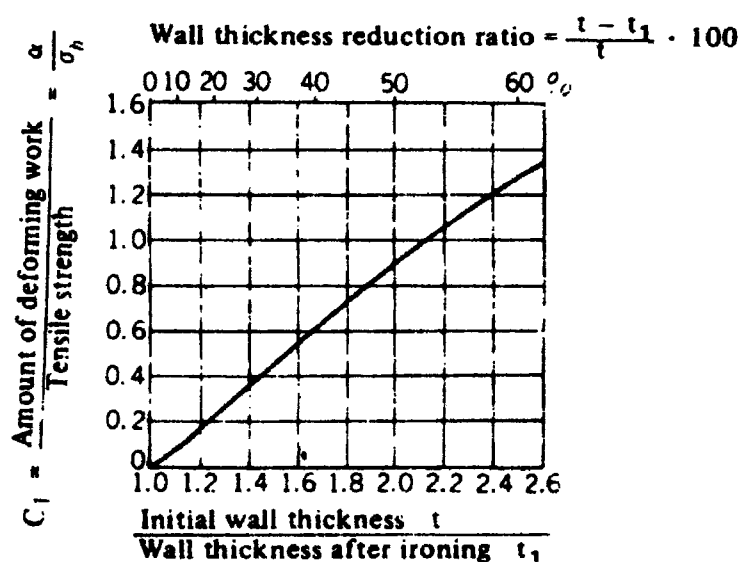
A = พื้นที่หน้าตัดของผนังชิ้นงานภายหลังการกดรีดขึ้นรูป (ตารางมิลลิเมตร)

มีค่าเท่ากับ 90.522 มิลลิเมตร

S_u = ความแข็งแรงดึงสูงสุดของวัสดุทดลอง

η = ค่าประสิทธิภาพของการกดรีดขึ้นรูป มีค่าอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 0.8

C_i = ค่าสัมประสิทธิ์ของการกดรีดขึ้นรูป



ภาพที่ 3.1 แสดงแผนภูมิของค่าสัมประสิทธิ์ของการกดรีดขึ้นรูป (C_i)

หาแรงที่ใช้ในการกดรีดขึ้นรูป สำหรับการลดความหนาของผนังชิ้นงาน 25%

$$F_i = C_i \times A \times \left[\frac{S_u}{\eta} \times \frac{1}{1,000} \right] \quad \text{.....(2.15)}$$

$$A_{25\%} = 0.3 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

$$= 0.3 \times 233.263 \times \left[\frac{61.183}{0.65} \times \frac{1}{1,000} \right]$$

$$= 6.586 \text{ ตัน}$$

หาแรงที่ใช้ในการกดรีดขึ้นรูป สำหรับการลดความหนาของผนังชิ้นงาน 35%

$$A_{35\%} = 0.42 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

$$= 0.42 \times 201.344 \times \left[\frac{61.183}{0.65} \times \frac{1}{1,000} \right]$$

$$= 7.959 \text{ ตัน}$$

หาแรงที่ใช้ในการกดรีดขึ้นรูป สำหรับการลดความหนาของผนังชิ้นงาน 45%

$$A_{45\%} = 0.73 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

$$= 0.73 \times 169.677 \times \left[\frac{61.183}{0.65} \times \frac{1}{1,000} \right]$$

$$= 11.659 \text{ ตัน}$$

หาแรงที่ใช้ในการกดรีดขึ้นรูป สำหรับการลดความหนาของผนังชิ้นงาน 55%

$$A_{55\%} = 1.1 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

$$= 1.1 \times 138.261 \times \left[\frac{61.183}{0.65} \times \frac{1}{1,000} \right]$$

$$= 14.315 \text{ ตัน}$$

หาแรงที่ใช้ในการกดรีดขึ้นรูป สำหรับการลดความหนาของผนังชิ้นงาน 60%

$$A_{60\%} = 1.3 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

$$= 1.3 \times 122.647 \times \left[\frac{61.183}{0.65} \times \frac{1}{1,000} \right]$$

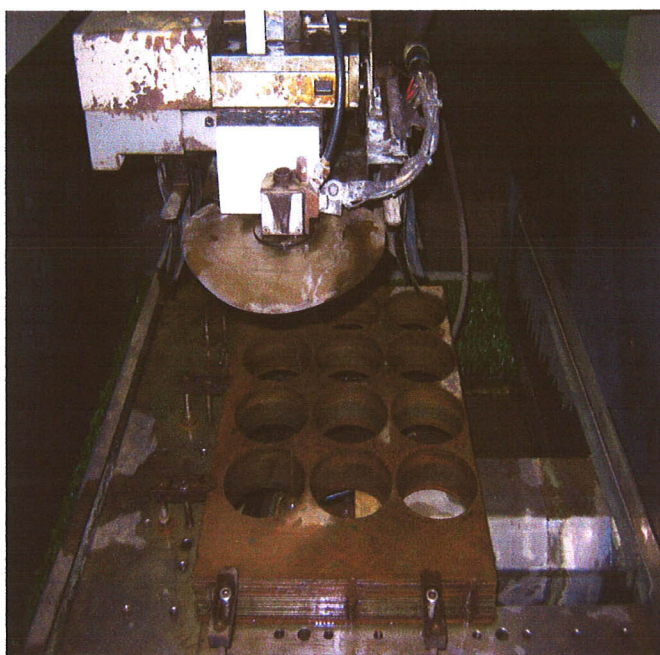
$$= 15.007 \text{ ตัน}$$

ตารางที่ 3.3 แสดงการคำนวณค่าต่างๆที่ใช้ในกระบวนการ (Ironing)

วัสดุ	d_0 (mm.)	u_z (mm.)	d_m (mm.)	$F_{d, max}$ (kN)	A_{BH} (mm. ²)	P_{BH} (N/mm. ²)	F_{BH} (kN)	$F_1(A_{25\%})$ (tons)	$F_1(A_{35\%})$ (tons)	$F_1(A_{45\%})$ (tons)	$F_1(A_{55\%})$ (tons)	$F_1(A_{60\%})$ (tons)
SUS430	90.522	52.038	50	158296.598	4626.177	1.264	5.848	6.037	7.296	10.687	3.122	13.757
SUS304	90.522	52.038	50	172687.197	4626.177	1.379	6.379	6.586	7.959	11.659	14.315	15.007
SPCEN	90.522	52.038	50	86343.598	4626.177	0.689	3.187	3.293	3.979	5.829	7.157	7.503
SPCC	90.522	52.038	50	77709.239	4626.177	0.620	2.871	2.964	3.581	5.246	6.441	6.753
ทองเหลือง	90.522	52.038	50	74760.965	4626.177	0.602	2.748	2.874	2.875	5.089	6.248	6.550
อลูมิเนียม	90.522	52.038	50	51492.149	4626.177	0.411	1.901	1.963	2.372	3.475	4.267	4.474

ที่มา: มาจากผลการคำนวณค่าที่ใช้การทดลอง

ที่มา : มาจากภาคผนวก ข



ภาพที่ 3.9 แสดงการตัดชิ้นงานด้วยเครื่องวาล์ท (Mitsubishi DWC – 110 HA)

3.3.3 เครื่องทดสอบโลหะแผ่น (Universal Sheet Metal Testing Machine SAS-350D)

เป็นเครื่องสำหรับทดสอบการขึ้นรูปด้วย ทำงานด้วยระบบไฮดรอลิกส์ ขนาดกำลัง 35 ตัน (350 กิโลนิวตัน) โดยสามารถปรับแรงกดแผ่นจับ ยึดชิ้นงานได้ถึง 100 กิโลนิวตัน ปรับความเร็วของพื้นที่ได้ถึง 150 มิลลิเมตร/นาที ปรับระยะขึ้นรูปได้ถึง 90 มิลลิเมตร ยี่ห้อ JT TOHSI ของบริษัท JT TOHSI INC. Co., Ltd. รุ่น SAS-350D จากประเทศญี่ปุ่น พร้อมเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผล และบันทึกข้อมูลในการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 3.11

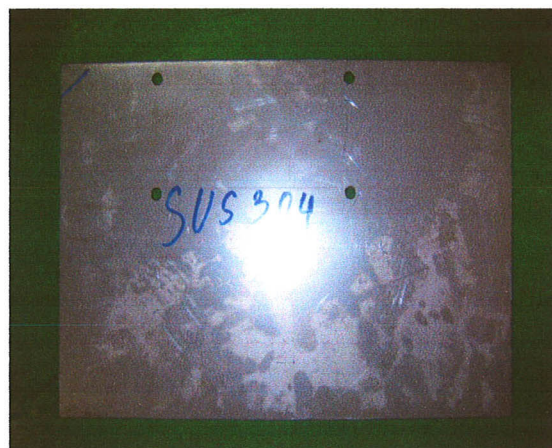


ภาพที่ 3.10 แสดงเครื่องทดสอบโลหะแผ่น

3.3.4 แผ่นชิ้นงานเปล่าแต่ละชนิด



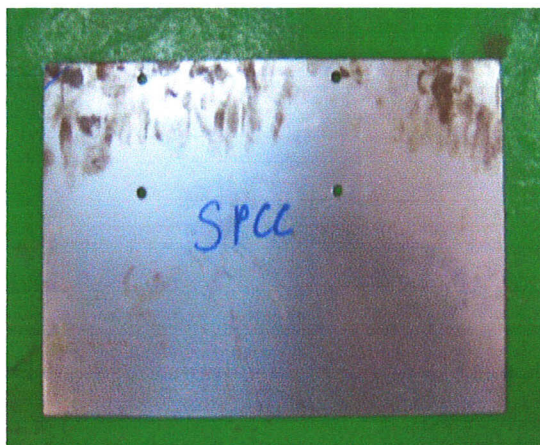
วัสดุ SUS 430



วัสดุ SUS 304

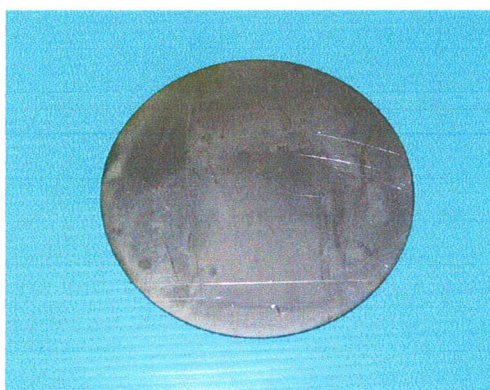


วัสดุ SPCEN



วัสดุ SPCC

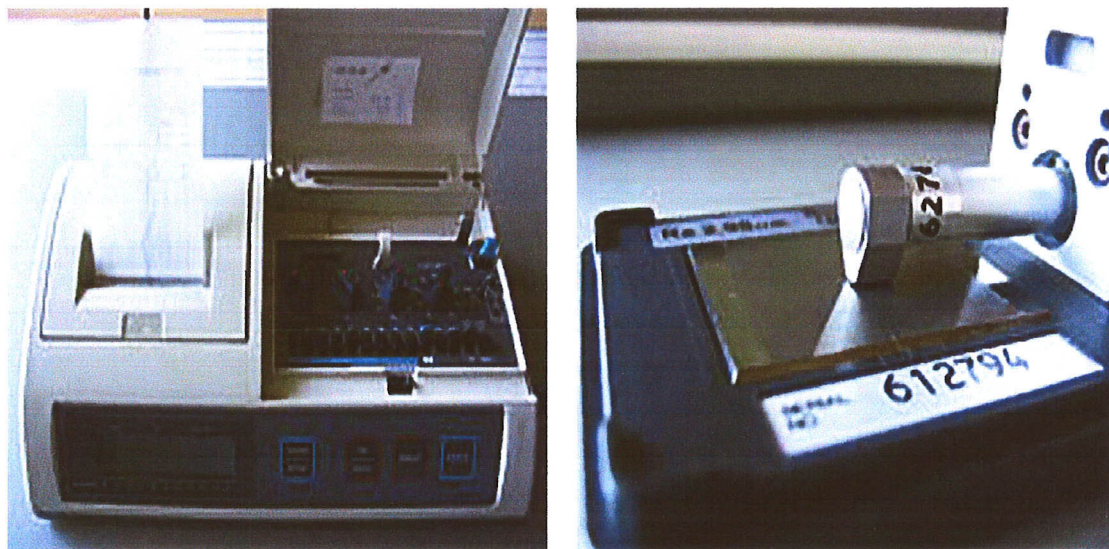
ภาพที่ 3.11 โลหะแผ่นที่ใช้ในการทดลอง



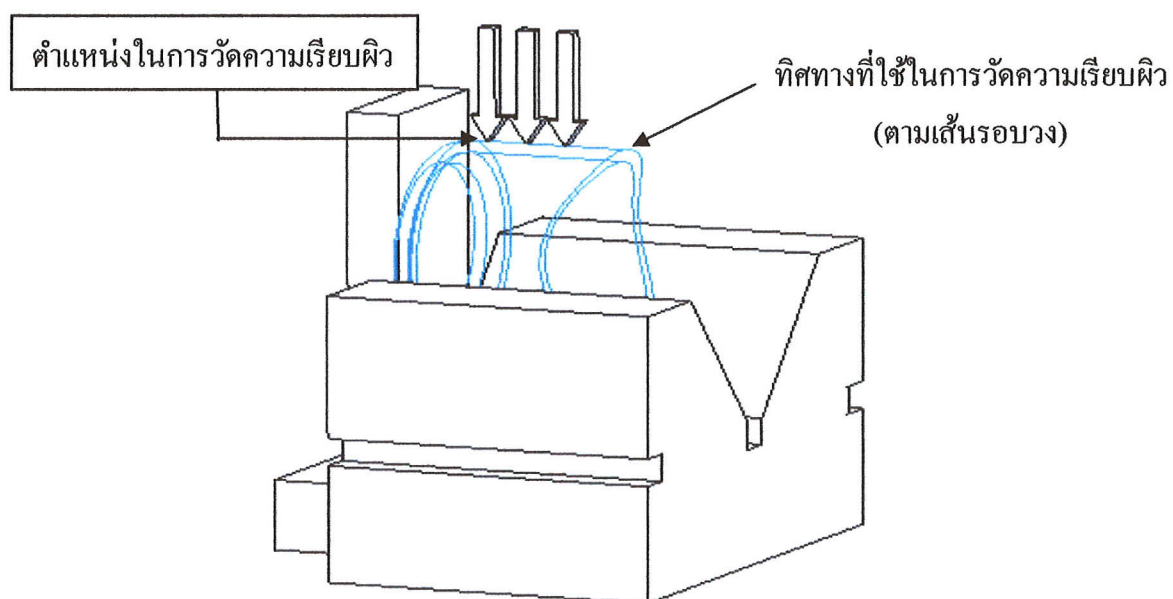
ภาพที่ 3.12 แผ่นชิ้นงานเปล่า

3.3.5 ชุดอุปกรณ์วัดความเรียบผิวแบบเข็มหยั่งหัวลาก (Stylus Probe Surface Roughness Measuring Instrument)

เป็นเครื่องมือสำหรับวัดความเรียบผิวของชิ้นงานในการทดสอบการขึ้นรูป โดยมีระยะในการวัด คือ ขนาด 15 มิลลิเมตร ค่าความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร แสดงผลของค่าการวัดชิ้นงานเป็นตัวเลข ยี่ห้อ มิตซูโตโย (Mitutoyo) ดังแสดงในภาพที่ 3.14



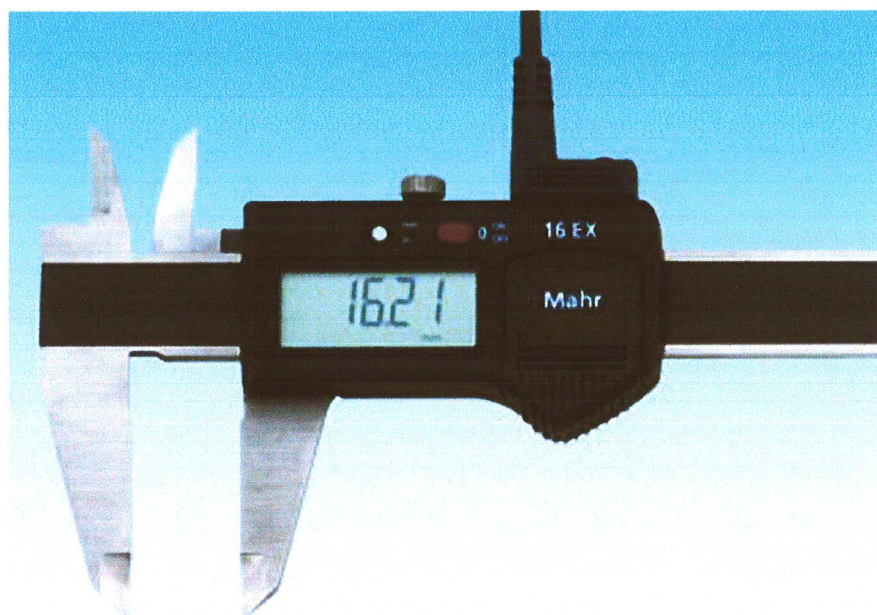
ภาพที่ 3.13 ชุดอุปกรณ์วัดความเรียบผิว



ภาพที่ 3.14 ลักษณะเครื่องวัดความเรียบผิว และการวัดความเรียบผิวชิ้นงาน

3.3.6 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ แบบดิจิตอล (Vernier Caliper Digital)

เป็นเครื่องมือสำหรับวัดขนาดภายนอก ภายใน และความลึกของชิ้นงาน โดยมีระยะในการวัดคือ ขนาด 0 – 150 มิลลิเมตร ค่าความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร/0.001 นิ้ว แสดงผลของค่าการวัดชิ้นงานเป็นตัวเลข ยี่ห้อ มาร์ (Mahr) รุ่น 16 EX ดังแสดงในภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.15 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ แบบดิจิตอล

3.4 วัสดุแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึก และ Ironing ที่ใช้ในงานวิจัย

การเลือกใช้วัสดุเพื่อทำแม่พิมพ์จะต้องเลือกใช้วัสดุเพื่อให้ได้ซึ่งวัสดุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย โดยจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการทำงานด้วย สำหรับงานวิจัยนี้กำหนดวัสดุทำแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปเป็น JIS SKD11

3.5 ลักษณะของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

หมายถึง วัสดุที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมทางด้านงานขึ้นรูปโลหะแผ่น คือ SUS430, SUS340 เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม ส่วน SPEN, SPCC เป็นเหล็กแผ่นที่ใช้ในการขึ้นรูป

3.5.1 วัสดุในกลุ่มที่เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม

- SUS 430 เป็นมาตรฐาน JIS (Japan)

คุณลักษณะเด่น มีความต้านทานการกัดกร่อนได้ในสภาวะการกัดกร่อนปานกลางสามารถขึ้นรูปเย็นได้ดีปานกลางมีพื้นผิวที่สวงามหลังการประกอบชิ้นงาน ทำให้ลดขั้นตอนการตกแต่งผิวในขั้นตอนสุดท้ายมีความต้านทานการเกิดออกซิไดซ์ที่อุณหภูมิสูงถึง 850 องศาเซลเซียส

การใช้งานโดยทั่วไป

เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ช้อนส้อม มีดและเครื่องใช้ในครัวอุปกรณ์หุงต้มอาหาร และ เครื่องประกอบอาหารเฟอร์นิเจอร์ และการตกแต่งภายในอาคารและตามถนนเครื่องถ่ายเทความร้อนในกระบวนการผลิตและอุปกรณ์เครื่องใช้ในการผลิตอาหาร และ นม แกนและถังปั่นในเครื่องซักผ้า และเครื่องล้างจาน

- SUS 304 เป็นมาตรฐาน JIS (Japan)

คุณสมบัติเด่นมีความต้านทานการกัดกร่อนได้ดีมีความยืดตัว (ดีกว่าโลหะทั่วไปและโลหะผสม) สามารถเชื่อมได้ดี (ทุกกระบวนการ)สามารถทำความสะอาดได้ง่ายมีความปลอดภัย และถูกสุขอนามัยเมื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์บรรจุอาหาร สามารถขึ้นรูปได้ง่าย สามารถจัดพื้นผิวได้ง่าย

การใช้งานโดยทั่วไป

เครื่องมือในโรงพยาบาลและเวชภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม เช่น อาหาร นม เบียร์ ไวน์ อุปกรณ์ การเตรียมอาหารตู้รถไฟ ตู้คอนเทนเนอร์ อุตสาหกรรมเคมีและอุตสาหกรรมแปรรูป เช่น แทงค์ ท่อลำเลียง อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อน ระบบบำบัดน้ำเสีย ภาชนะต่างๆ

3.5.2 วัสดุที่เป็นเหล็กแผ่นที่ใช้ในการขึ้นรูป

- SPCCN เป็นมาตรฐาน JIS (Japan)

SPCCN จัดเป็นกลุ่มของเหล็กแผ่นรีดเย็น สามารถขึ้นรูปได้ง่ายสามารถขึ้นรูปเย็นได้ดีเราสามารถผลิตได้เองในประเทศ

การใช้งานโดยทั่วไป

สำหรับงานขึ้นรูปลึก การใช้งานอุตสาหกรรมยานยนต์ เช่น ตัวถังและชิ้นส่วนรถยนต์ใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์สำนักงาน

- SPCC เป็นมาตรฐาน JIS (Japan)

SPCC จัดเป็นกลุ่มของเหล็กแผ่นรีดเย็น สามารถขึ้นรูปได้ง่าย สามารถขึ้นรูปเย็นได้ดีเราสามารถผลิตได้เองในประเทศ

การใช้งานโดยทั่วไป

ใช้งานอย่างกว้างขวางสำหรับงานพับขึ้นรูปทั่วไป และงานขึ้นรูปที่ไม่ซับซ้อน เช่น เครื่องทำความเย็น(Refrigerators) ตู้ ชิ้นส่วนยานยนต์ เฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้ในบ้าน ท่อ และถัง

3.6 อัตราส่วนการลดความหนาผนัง (Ironing Ratio)

โดยแบ่งออกเป็น 5 ลำดับ

ตารางที่ 3.4 รูปแบบการทดลอง

รูปแบบการทดลอง		ลำดับของกระบวนการ Ironing				
การทดลอง	การเริ่มต้น	ขั้นตอนที่ 1	ขั้นตอนที่ 2	ขั้นตอนที่ 3	ขั้นตอนที่ 4	ขั้นตอนที่ 5
1	Deep Draw	25%	35%	45%	55%	60%
2	Deep Draw	35%	45%	55%	60%	
3	Deep Draw	45%	55%	60%		
4	Deep Draw	55%	60%			
5	Deep Draw	60%				

ที่มา: มาจากการทำการทดลอง

สรุปขั้นตอนการทดลอง

การทดลองแบบที่ 1 เริ่มจากการนำเอาแผ่นเบงค์มาทำการขึ้นรูปให้เป็นรูปถ้วย แล้วเข้าสู่กระบวนการกดรีดขึ้นรูปที่ลดขนาดช่องว่างระหว่างพื้นที่กับด้าย ลง 25 เปอร์เซ็นต์, 35 เปอร์เซ็นต์, 45 เปอร์เซ็นต์, 55 เปอร์เซ็นต์, และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การทดลองแบบที่ 2 เริ่มจากการนำเอาแผ่นเบงค์มาทำการขึ้นรูปให้เป็นรูปถ้วย แล้วเข้าสู่กระบวนการกดรีดขึ้นรูปที่ลดขนาดช่องว่างระหว่างพื้นที่กับด้าย ลง 35 เปอร์เซ็นต์, 45 เปอร์เซ็นต์, 55 เปอร์เซ็นต์, และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การทดลองแบบที่ 3 เริ่มจากการนำเอาแผ่นเบงค์มาทำการขึ้นรูปให้เป็นรูปถ้วย แล้วเข้าสู่กระบวนการกดรีดขึ้นรูปที่ลดขนาดช่องว่างระหว่างพื้นที่กับด้ายลง 45 เปอร์เซ็นต์, 55 เปอร์เซ็นต์, และ 60 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

การทดลองแบบที่ 4 เริ่มจากการนำเอาแผ่นเบงค์มาทำการขึ้นรูปให้เป็นรูปถ้วย แล้วเข้าสู่กระบวนการกดรีดขึ้นรูปที่ลดขนาดช่องว่างระหว่างพื้นที่กับด้ายลง 55 เปอร์เซ็นต์, และ 60 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

การทดลองแบบที่ 5 เริ่มจากการนำเอาแผ่นเบงค์มาทำการขึ้นรูปให้เป็นรูปถ้วย แล้วเข้าสู่กระบวนการกดรีดขึ้นรูปที่ลดขนาดช่องว่างระหว่างพื้นที่กับด้ายลง 60 เปอร์เซ็นต์

3.7 สารหล่อลื่น

การวิจัยนี้ใช้สารหล่อลื่น TDN 81 เป็นสารหล่อลื่นในการทดลองการกดรีดขึ้นรูป (Ironing) เพราะเป็นสารหล่อลื่นมาตรฐานที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปโดยทั่วไป

3.8 สรุปผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวางแผนในการทดลองวิจัยการกดรีดขึ้นรูป (Ironing) และลำดับขั้นตอนการทดลองรวมทั้งการออกแบบและคำนวณชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับการทำแม่พิมพ์และนำค่าที่ได้จากการคำนวณมาประกอบการพิจารณาในการทดลองวิจัย ซึ่งในการวิจัยนี้มีการใช้โปรแกรม Finite Element เข้ามาช่วยสำหรับวิเคราะห์และทดลอง