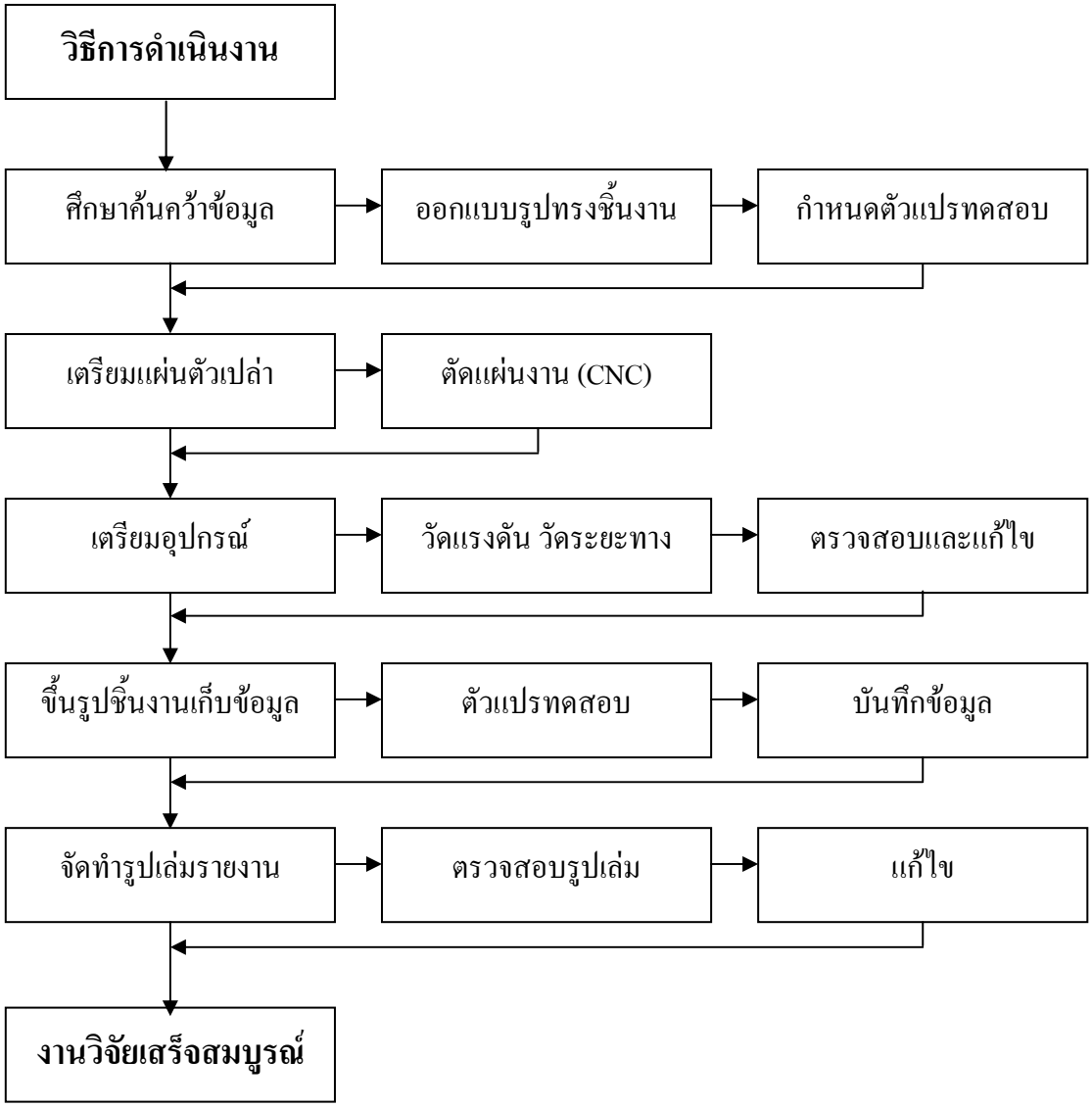
บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการดำเนินโครงการ ซึ่งนับว่าเป็นบทที่สำคัญในการทำวิทยานิพนธ์ เนื่องจากจะต้องรวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง มาใช้ในการวางแผนการดำเนินโครงการเพื่อเป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการจัดทำโครงการให้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ ดังนั้นจึงได้จัดขั้นตอนในการดำเนินโครงการดังต่อไปนี้

3.1 แผนการดำเนินโครงการ

การปฏิบัติการขึ้นรูปในชิ้นส่วนอุตสาหกรรม ผู้ผลิตจะเริ่มต้นจากการกำหนดรูปร่างชิ้นงานที่ต้องการแล้วจึงออกแบบพั้นซ์ ดายและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งได้ทำการกำหนดตัวแปรของการทำงานเพื่อให้ชิ้นงานขึ้นรูปมีรูปร่างตามที่ต้องการ จากนั้นจึงทำการทดสอบเพื่อยืนยันว่าการออกแบบรูปร่างชุดอุปกรณ์และค่าตัวแปรของการทำงานนั้นมีค่าถูกต้องและเหมาะสม ได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างสมบูรณ์ไม่มีความเสียหายเกิดขึ้น ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วการดำเนินการดังกล่าวมักจะไม่สามารถกระทำได้ในครั้งเดียว โดยจะต้องมีการปรับเปลี่ยนบางประการและทดสอบซ้ำหลายๆครั้งจนกว่าจะได้รูปร่างของชุดอุปกรณ์และค่าตัวแปรการขึ้นรูปที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการดังกล่าวทำให้เกิดความสูญเสียในหลายๆด้าน อาทิเช่น เวลา แรงงาน และวัตถุดิบ แต่ถ้าหากผู้ผลิตได้มีการวิเคราะห์ว่ารูปร่างของชุดอุปกรณ์และตัวแปรการขึ้นรูปด้วยการจำลองสภาพการขึ้นรูปเพื่อหาค่าที่เหมาะสมเสียก่อนที่จะนำไปทำการขึ้นรูปก็จะลดความสูญเสียดังกล่าวได้ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเริ่มจากการศึกษาปัญหาและทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดสอบหาคุณสมบัติทางกลของแผ่นเหล็ก SPCC-SD ที่จะนำมาใช้ในการขึ้นรูปลึก ทำการทดสอบการขึ้นรูปลึกเพื่อทดสอบว่าข้อมูลของรูปร่างต่างๆ และค่าตัวแปรในการขึ้นรูปลึก สำหรับรายละเอียดของแผนการดำเนินโครงการดังนี้



ภาพที่ 3.1 ไดอะกรมวิธีดำเนินโครงงานวิจัย

3.2 วัสดุที่นำมาใช้ในการทดลองการขึ้นรูปลึก

วัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตเป็นสิ่งที่จะกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นๆ เพราะฉะนั้นในการเลือกวัสดุ SPCC - SD มาตรฐาน JIS (Japanese Industrial Standard) เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบเย็น แล้วนำไปอบคืนตัว (Temper) ซึ่งสัญญาลักษณ์ S คือชั้นหรือเกรดเทมเปอร์มาตรฐาน (Standard Temper Grade) และD คือเป็นเหล็กที่ไม่ได้ขัดผิว ซึ่งผิวอาจจะดูหยาบกว่าผิวแบบที่ขัดเงา (Dull Finish) ผิวจะออกดำส่วนมากจะใช้ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์จะนิยมใช้ทั้งภายในประเทศและนอกประเทศ จะต้องมีคุณภาพผ่านตามมาตรฐานของ มอก.2012 (TIS 2012)

ซึ่งเทียบได้กับมาตรฐาน ISO 3574 และ JIS 3141 มีสมบัติเป็นเหล็กชนิดที่ใช้ในการขึ้นรูปทั่วไปและการขึ้นรูปลึก (Deep Draw) การกำหนดวัสดุที่ใช้จะต้องครอบคลุมถึง 1) ความหนาของวัสดุ ถ้าเลือกใช้วัสดุบางเกินไป ก็อาจไม่เหมาะสมในการใช้งาน แต่ถ้าใช้วัสดุหนาเกินไป ก็อาจจะทำให้การผลิตยากมากขึ้น 2) ประเภทและชนิดของวัสดุ (ซึ่งพิจารณาการปั๊มขึ้นรูปได้ลึกมากเพียงใด) การยืดตัวของโลหะวัสดุที่นิยมใช้ในการผลิต ได้แก่ เหล็กกล้าไร้สนิม และอลูมิเนียม ส่วนทางด้านการผลิตชิ้นส่วน ได้แก่ เหล็กเหนียว และเหล็กชุบสังกะสี ในที่นี้จะใช้วัสดุ JIS : SPCC-SD หนา 1 มม. ในการทดสอบ

3.2.1 ผลการหาค่าสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้ทดสอบ

จากภาพที่ 3.2 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Test) ตามมาตรฐาน ASTM E 517-92 พบว่าค่าแอนไอโซทรอปีขวางทิศทางการรีด (r_{90}) เท่ากับ 2.209 ตามแนวทิศทางการรีด (r_0) เท่ากับ 2.545 และทำมุม 45 องศากับทิศทางการรีด (r_{45}) เท่ากับ 1.508 มีค่ามากไปหาน้อยตามลำดับ ส่วนค่าแอนไอโซทรอปีตั้งฉากเฉลี่ยหรือค่า r_m (Normal Anisotropy) เท่ากับ 1.9425 ซึ่งค่าต่างๆ ของตัวแปรดังกล่าวนำไปใช้ในการประมาณค่าของแรงกดเพื่อการขึ้นรูปชิ้นงานและทดสอบความเค้นแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8 [2]

ภาพที่ 3.2 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Test) [2]

ตารางที่ 3.1 สมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

เหล็ก SPCC - SD (มม.)	ความเค้นคราก (MPa)	ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด (MPa)	ค่า r_m	ค่า r_0	ค่า r_{45}	ค่า r_{90}
1.0	241	323	1.9425	2.545	1.508	2.209

3.2.2 ผลการทดสอบวัสดุทางเคมี

ด้วยเครื่องทดสอบส่วนผสมทางเคมี (Spectrometer 1000) ณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) ตัดแผ่นชิ้นงานขนาด 50x60 มม.ด้วยเครื่องตัดโลหะแผ่น (Power Shear)

2) ทำความสะอาดแล้วขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายให้เรียบดังภาพที่ 3.3

3) วางงานที่เครื่องทดสอบบนจุดของหัวสปาร์ค (Electrode) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มม.

4) แล้วทดสอบซ้ำจำนวน 3 จุด เพื่อหาค่าเฉลี่ย ข้อมูลดูในตารางที่ 3.1

ภาพที่ 3.3 ชิ้นงานทดสอบส่วนผสมทางเคมี

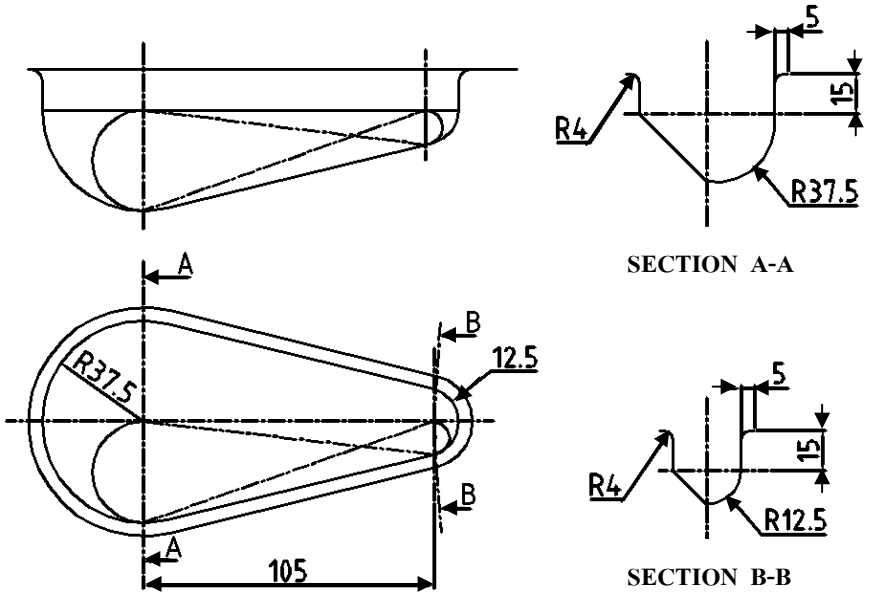
ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุชิ้นงาน (%)

ธาตุที่ประกอบ	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	ค่าเฉลี่ย
เหล็ก (Fe)	99.4619	99.4805	99.4466	99.4630
คาร์บอน (C)	0.0601	0.0580	0.0638	0.0607
ซิริกอน(Si)	0.0115	0.0113	0.0122	0.0117
แมงกานีส (Mn)	0.2577	0.2579	0.2629	0.2595
ฟอสฟอรัส (P)	0.0191	0.0187	0.0196	0.0192
กำมะถัน (S)	0.0184	0.0180	0.0197	0.0187
นิกเกิล (Ni)	0.0224	0.0228	0.0238	0.0230
โครเมียม (Cr)	0.0229	0.0222	0.0231	0.0227
โมลิบดีนัม (Mo)	0.0055	0.0052	0.0059	0.0055
ทองแดง (Cu)	0.0317	0.0331	0.0343	0.0330
วาเนเดียม (V)	0.0034	0.0034	0.0037	0.0035
ไทเทเนียม (Ti)	0.0017	0.0018	0.0020	0.0018
อะลูมินัม (Al)	0.0541	0.0567	0.0583	0.0564
ทังสเตน (W)	0.0246	0.0057	0.0186	0.0163
โคบอลต์ (Co)	0.0022	0.0023	0.0025	0.0023

จากตารางที่ 3.2 จะได้ค่าเฉลี่ยของส่วนผสมทางเคมี เหล็ก (Fe) คาร์บอน (C) ซิลิกอน (Si) แมงกานีส (Mn) ฟอสฟอรัส (P) กำมะถัน (S) นิกเกิล (Ni) โครเมียม (Cr) โมลิบดีนัม (Mo) ทองแดง (Cu) วาเนเดียม (V) ไทเทเนียม (Ti) อะลูมินัม (Al) ทังสเตน (W) โคบอลต์ (Co) ซึ่งในการเทียบมาตรฐานจากธาตุหลักได้กำหนด C=0.12 Max Mn=0.50 Max P=0.40 Max S=0.45 Max เมื่อทดสอบได้ค่า C=0.0607 S=0.0192 Mn=0.2595 W=0.0163 P=0.0192 Al=0.0564 และ Fe=99.4630 เปอร์เซ็นต์

3.3 การออกแบบดายและพั้นซ์

การออกแบบชิ้นงานและชุดแม่พิมพ์การออกแบบชิ้นงานในรูปทรงไม่สมมาตรซึ่งจะประกอบด้วยการขึ้นรูปหลายรูปแบบทั้งการดัดงอการดึงการกบอัดชิ้นงานจะมีรัศมีของปลายทั้งสองด้านที่ไม่เท่ากันคือมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม.จัดวางอยู่ในแนวเดียวกันมีระยะเท่ากับ 105 มม. และเฉือนด้านข้างเป็นแนวยาวตลอดหลักการออกแบบแม่พิมพ์ขึ้นรูป ในภาพที่ 3.3 แสดงการทำงานของแม่พิมพ์ เมื่อวางแผ่นชิ้นงานอยู่บนดาย (Die Block) ก่อนพั้นซ์ (Punch) ลงบนแผ่นงานจะมีแผ่นกดชิ้นงาน (Blank Holder) กดชิ้นงานก่อนโดยอาศัยแรงแรงกดจากคูชั่น (Cushion) จากเครื่องปั้มแรงกดอยู่ในระดับที่เหมาะสมด้วยแรงกดชิ้นงาน (FBH) และแรงกดขึ้นรูปลึก (Fd) ของพั้นซ์ (Punch) กดลงบนแผ่นงานเลื่อนลึกจนได้ความลึกที่ต้องการ



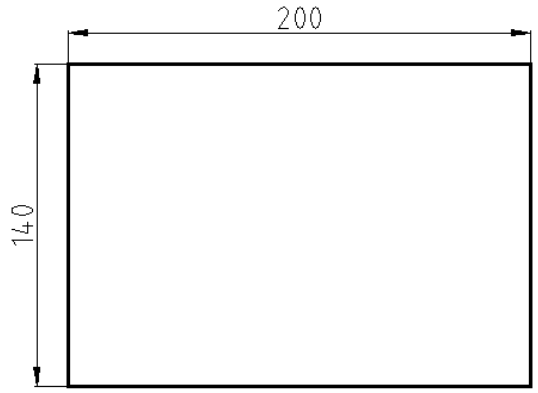
ภาพที่ 3.4 ออกแบบขนาดและรูปร่างของชิ้นงานในรูปทรงไม่สมมาตรซึ่งได้ค่าความเครียดที่แตกต่างกัน

3.4 กำหนดตัวแปรทดสอบ

3.4.1 การทดสอบตามชนิดของแผ่นตัดเปล่า (Blank Geometry)

ก. <u>ชิ้นงานแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า</u>

ในการตัดแผ่นงานทดสอบด้วยเครื่องตัดโลหะแผ่นเรียบตามแนวรีดในกระบวนการผลิตของแผ่นโลหะแบบเย็นตามมาตรฐาน JIS: SPCC - SD

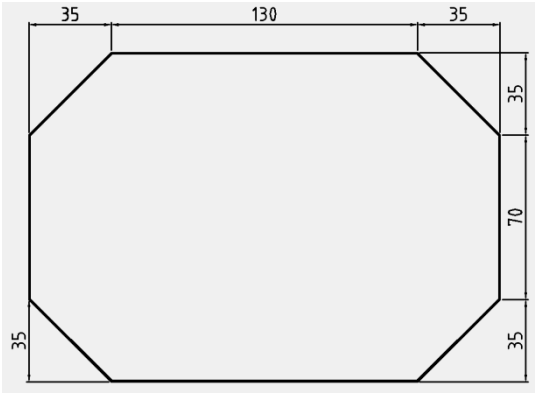


ภาพที่ 3.5 แผ่นตัดเปล่าสี่เหลี่ยมผืนผ้า

สิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดของแผ่นงาน ที่ใช้สำหรับการดึงขึ้นรูปให้ เที่ยงตรง ประการแรก คือ เนื่องจากเหตุผลด้านการประหยัด ดังนั้นสิ่งที่ต้องพิจารณา ได้แก่ การดัดแผ่นชิ้นงานให้เล็กสุดเท่าที่เป็นไปได้ ประการที่สองไม่มีความจำเป็นที่จะใช้แผ่นชิ้นงานขนาดใหญ่ เพราะจะทำให้เป็นการเพิ่มอัตราขึ้นรูป β จะเป็นสาเหตุให้เกิดการฉีกขาดของชิ้นงาน ซึ่งแผ่นตัดเปล่าสี่เหลี่ยมผืนผ้าค่าที่กำหนดคือ 200x140 มม. ดังแสดงในภาพที่ 3.5 มีขนาดเท่ากันของแผ่นตัดเปล่าทั้งสามชนิด

ข. <u>ชิ้นงานแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าบากมุม</u>

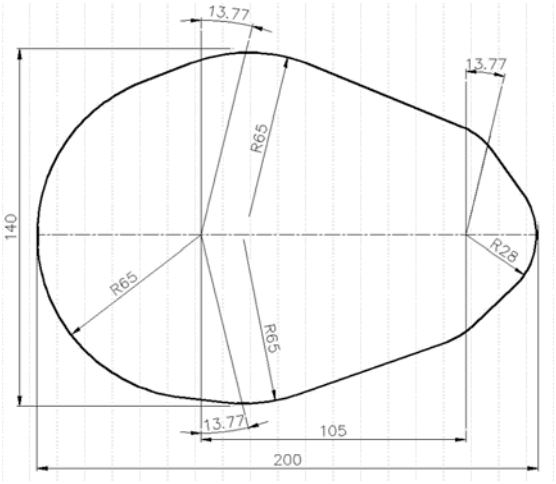
โดยการตัดแผ่นงานเลือกตัดแผ่นงานตามแนวรีดเหมือนกับแผ่นตัดเปล่าแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาด 200x140 มม. ดูจากภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 แผ่นตัดเปล่าสี่เหลี่ยมผืนผ้าบากมุม

ค. <u>ชิ้นงานจากการคำนวณโดยประมาณค่าตามรูปทรงขึ้นรูปลึก</u>

การตัดแผ่นงานตามแนวรีดมีขนาด 200x140 มม. ประมาณค่าโดยการคำนวณจากสมการพื้นฐานของขนาดของแผ่นงาน (Blank Size) นำมาประยุกต์กับรูปทรงที่ทำการศึกษา (ภาคผนวก ก) จนได้ขนาดและรูปร่าง ดังแสดงในภาพที่ 3.7

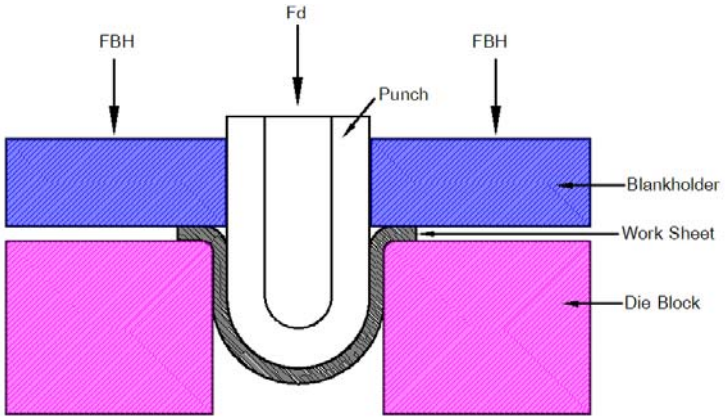


ภาพที่ 3.7 แผ่นตัดเปล่าคำนวณโดยการประมาณค่า

ซึ่งค่าที่ได้นั้นจะต้องนำไปทดสอบว่าได้หรือไม่ตามขนาดที่ต้องการหลังการขึ้นรูป และส่วนมากค่าที่ได้จากการคำนวณจะไม่ใช่ค่าตามความเป็นจริง เป็นเพียงค่าใกล้เคียงเท่านั้น โดยนำค่าที่ได้จากการคำนวณไปเป็นค่าที่กำหนดของชิ้นงานแรกเมื่อเริ่มลองผิดลองถูกแล้วปรับขนาดต่อไป

3.4.2 แรงกดชิ้นงาน (Blank Holder Force)

ปริมานความต้องการของแรงกดชิ้นจะต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับชนิดของวัสดุนั้นๆ จากภาพที่ 3.8 ในการกดชิ้นงานโดยอาศัยแรงกด (FBH) กดแผ่นชิ้นงาน (Work Sheet) ก่อน แล้วแรงกดขึ้นรูปลึก (Fd) ที่พั้นซ์กดผ่านช่องดายทำให้ชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรจนได้ระลึกตามที่กำหนด



ภาพที่ 3.8 การขึ้นรูปชิ้นงานในขณะเกิดการเปลี่ยนรูป

จากการคำนวณแรงใช้เพื่อชิ้นงานตามสมการที่ (2.2) ได้เท่ากับ 104.84 kN และใช้แรงกดชิ้นงานที่ตามสมการที่ (2.3) เท่ากับ 49.69 kN ทำการศึกษาโดยเทียบเป็นขนาดของแรงกดที่ระดับ 20% ,40% ,60% และ80% ของแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปได้ดังนี้

จากการคำนวณเทียบได้ $= \frac{49.69 \times 100}{104.84} =$ 47.4% เป็นค่าของแรงกดเริ่มต้น (ของชิ้นงานที่ไม่ใช้ดรอว์บีด)

ก. แรงกดชิ้นงานที่ 20% $= \frac{20 \times 104.84}{100} =$ 20.96 kN

ข. แรงกดชิ้นงานที่ 40% $= \frac{40 \times 104.84}{100} =$ 41.93 kN

ค. แรงกดชิ้นงานที่ 60% $= \frac{60 \times 104.84}{100} =$ 62.90 kN

ง. แรงกดชิ้นงานที่ 80% $= \frac{80 \times 104.84}{100} =$ 83.87 kN

ภาพที่ 3.9 ประกอบดายและพั้นซ์บนแท่นเครื่องปั้มไฮดรอลิคในการขึ้นรูปชิ้นงาน

3.5 สารหล่อลื่น (Lubricant) ใช้ทดสอบ

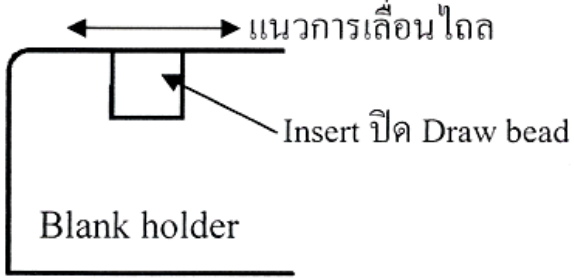
แผ่นพลาสติกโพลีเอทธีลีน

โพลีเอทธีลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE) จะมีโครงสร้างเป็นเส้นตรงลักษณะโปร่งแสงหรือขุ่น แข็งและเหนียว ราคาถูก ขึ้นรูปง่าย ทนต่อสารเคมี ก๊าซซึมผ่านได้ยาก ที่มีความหนาเท่ากับ 0.10 มม.

3.6 ดรอว์บีดชนิดเดี่ยว (Draw Bead Single)

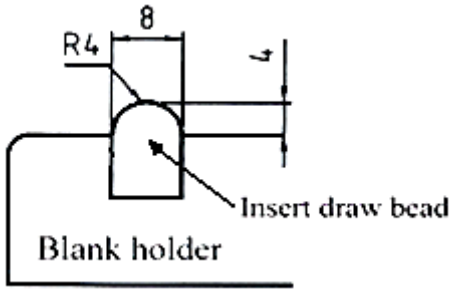
เพื่อควบคุมการไหลตัวของแผ่นชิ้นงานให้เกิดความสม่ำเสมอ ด้วยสาเหตุของรูปทรงชิ้นงานสำเร็จมีรูปทรงที่ไม่สมมาตรจึงทำให้ความต้องการของปริมาณแรงกดชิ้นงานที่แตกต่างกัน จึงต้องมีเครื่องมือที่ใช้ในการบังคับนั้น ได้แก่ ดรอว์บีด (Draw Bead) และขยายขนาดของแผ่นตัดเปล่า (Blank Size) ออกอีก 10 มม. โดยรอบ ซึ่งตัวแปรนี้ได้ทำการทดสอบทั้งสามระดับต่อไปนี้

1) ไม่ใช้ดรอว์บีด อาศัยความเสียดทานบนระนาบแผ่นกดของชิ้นงาน (Blank Holder) และแผ่นดาย (Die) ที่ราบเรียบ ดังแสดงในภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 แผ่นกดชิ้นงานที่ไม่ใช้ดรอว์บีด [2]

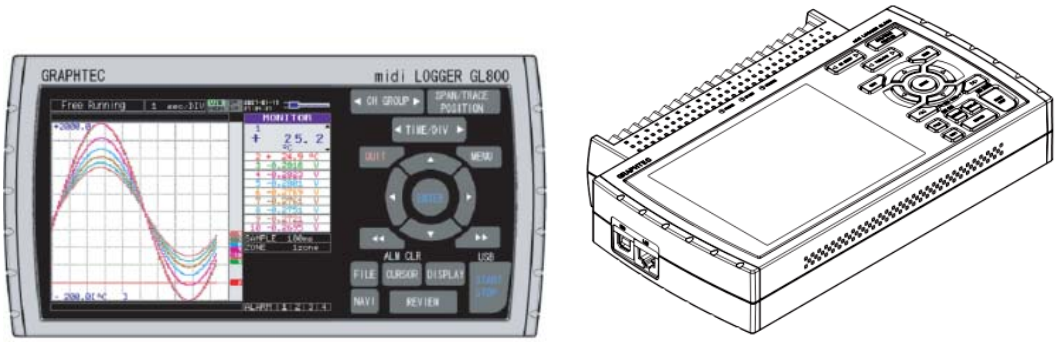
2) ดรอว์บีดชนิดส่วนโค้งครึ่งวงกลม มีความสูง 4 มม. ดังแสดงในภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 ดรอว์บีดชนิดส่วนโค้งครึ่งวงกลม (Insert in Blank Holder) [2]

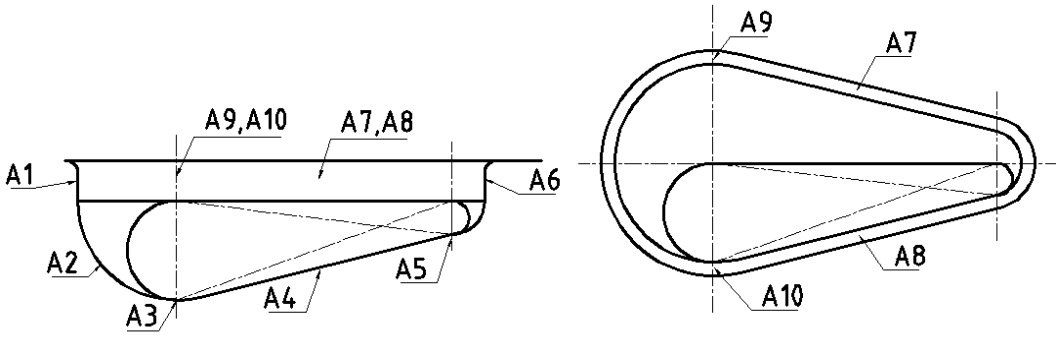
3.7 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล

หลังจากเตรียมแผ่นชิ้นงานทดสอบเริ่มในการทดลองเพื่อการเก็บข้อมูลมีขั้นตอนกำหนดตัวแปรของการทดลองอิทธิพลของตัวแปรทั้ง 4 ได้แก่ 1) รูปร่างของแผ่นตัดเปล่า (Blank Geometry) 2) ปริมาณแรงกดชิ้นงาน (Blank Holder Force) 3) ชนิดของสารหล่อลื่น (Lubricant) 4) ชนิดดรอว์บีด (Draw Bead) ทำการทดสอบตัวแปรทีละระดับบันทึกความเปลี่ยนแปลงของแรงต่อระยะลึกที่ขึ้นรูป วัดแรงด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Mini Data Logger) ดังแสดงในภาพที่ 3.12 โดยผ่านตัววัดแรงดันน้ำมัน (Pressure Transducer) ตัววัดระยะทาง (Liners Guide) ดังแสดงในภาพที่ 3.13 และจุดของการตรวจวัด 10 จุด ดังแสดงในภาพที่ 3.14 ทุกๆ ชิ้นที่ทดสอบในแต่ละระดับของอิทธิพลตัวแปรโดยนำชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปของแต่ละตัวแปรมาวัดความหนาของผิวทั้ง 10 จุด ด้วยไมโครมิเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 3.15 แล้วบันทึกผล



ภาพที่ 3.12 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Mini Data Logger) [Manual]

ภาพที่ 3.13 อุปกรณ์วัดแรงดันน้ำมัน (Pressure Transducer) [Manual]



ภาพที่ 3.14 จุดที่ใช้ในการตรวจสอบวัดความหนาบนชิ้นงาน

ภาพที่ 3.15 อุปกรณ์วัดความหนาผิวชิ้นงานด้วยไมโครมิเตอร์