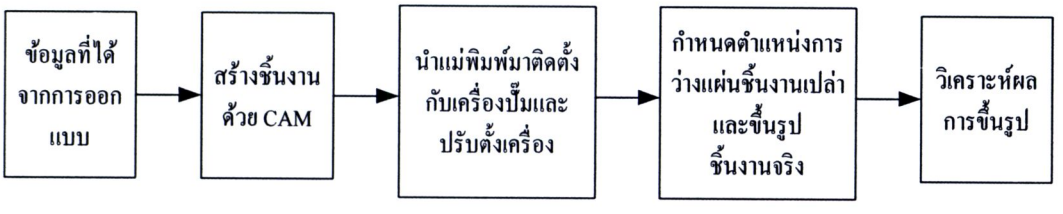
บทที่ 4
การสร้างแม่พิมพ์และการทดลองกระบวนการดึงขึ้นรูป

การกำหนดเงื่อนไขของแม่พิมพ์ดึงขึ้นรูปลึกจะประกอบไปด้วย รัศมีพันช์ รัศมีดาย ระยะช่องว่างแม่พิมพ์ รวมไปถึงลักษณะพื้นผิวของพันช์ ลักษณะพื้นผิวของดาย และแผ่นจับยึดชิ้นงาน เป็นองค์ประกอบหลักที่ใช้ในการจำลองกระบวนการดึงขึ้นรูปลึกของชิ้นงาน ในการวิเคราะห์ปัญหาทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของกระบวนการดึงขึ้นรูปลึกองค์ประกอบของแม่พิมพ์จะอยู่ในรูปของข้อมูลพื้นผิว จากข้อมูลแม่พิมพ์ดังกล่าวนำมาสร้างให้อยู่ในรูปของข้อมูลโครงสร้าง (Solid Data) เมื่อได้องค์ประกอบแม่พิมพ์ครบสมบูรณ์แล้ว จัดทำให้อยู่ในรูปของข้อมูลออกแบบเพื่อเข้าไปสู่กระบวนการ Machining Program เป็นการทำโปรแกรมเพื่อสั่งงานเครื่องจักรกลอัตโนมัติ (Computer Numerical Control, CNC) เรียกขั้นตอนนี้ว่า การทำแคม (Computer Aided Manufacturing, CAM) เป็นการเขียนโปรแกรมคำสั่งเพื่อให้เครื่องจักรแปรรูปองค์ประกอบแม่พิมพ์ตามที่ออกแบบไว้ โดยนำข้อมูลการออกแบบ (CAD Data) มาเพิ่มตัวแปรในการกัดเข้าไปในชิ้นโลหะ (Machining Condition) และเพื่อให้แม่พิมพ์สามารถนำไปใช้งานกับเครื่องปั๊มได้จะต้องทำการออกแบบอุปกรณ์เพิ่มเติม โดยขึ้นอยู่กับเงื่อนไขลักษณะการทำงานของเครื่องปั๊มในแต่ละเครื่อง ในบทนี้จะเป็นขั้นตอนของการออกแบบ การติดตั้ง การทดสอบขึ้นรูปจริง รวมไปถึงการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานหลังจากผ่านกระบวนการดึงขึ้นรูปลึก ขั้นตอนการดำเนินงานของการศึกษาในบทนี้แสดงในภาพที่ 4.1



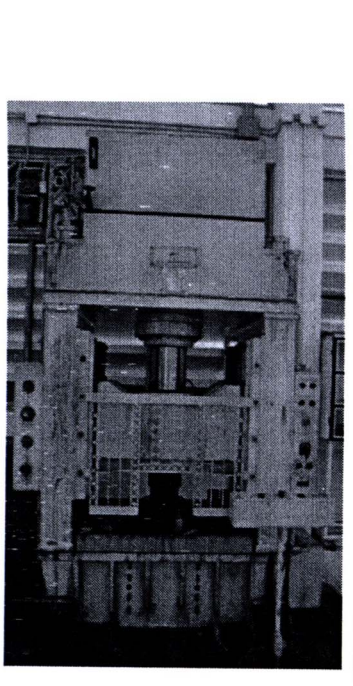
ภาพที่ 4.1 ขั้นตอนการดำเนิน การออกแบบ การสร้างชิ้นส่วนต่าง ๆ การติดตั้งแม่พิมพ์ และการทดลองขึ้นรูปจริงของการศึกษา

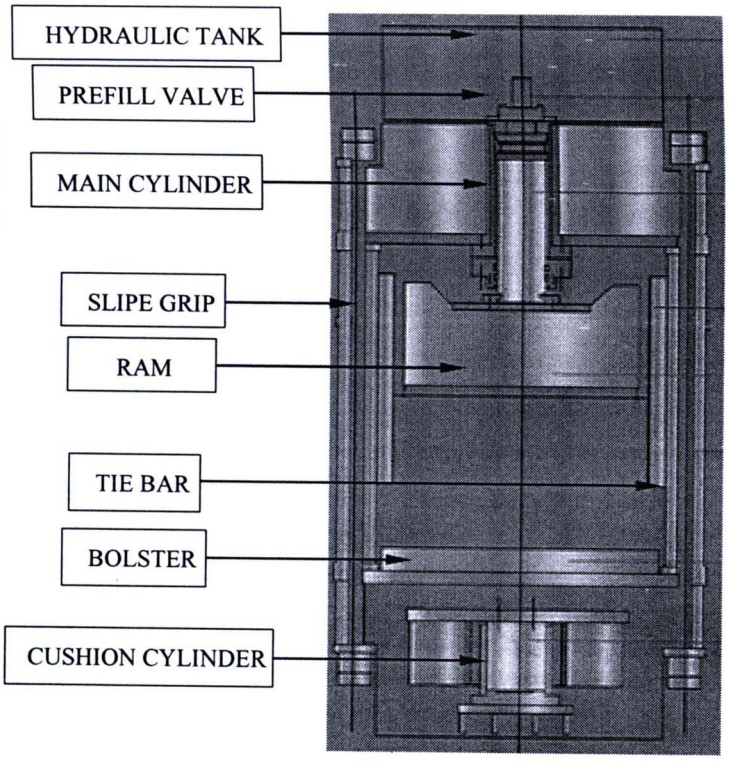
4.1 การออกแบบแม่พิมพ์

ขั้นตอนของการออกแบบแม่พิมพ์ในการศึกษานี้ เป็นการกำหนดรายละเอียดต่าง ๆ ของชิ้นส่วน การกำหนดรูปร่าง การประกอบ และการติดตั้งแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องปั๊ม รวมไปถึงการกำหนดชนิดของวัสดุที่ใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ ดังนั้นขั้นตอนในการออกแบบแม่พิมพ์ จะประกอบไปด้วย การศึกษาลักษณะการทำงานของเครื่องปั๊ม การเลือกวัสดุในการทำแม่พิมพ์ การสร้างแม่พิมพ์ และการติดตั้งเข้ากับเครื่องปั๊ม โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 การทำงานของเครื่องปั๊ม (Press Machine)

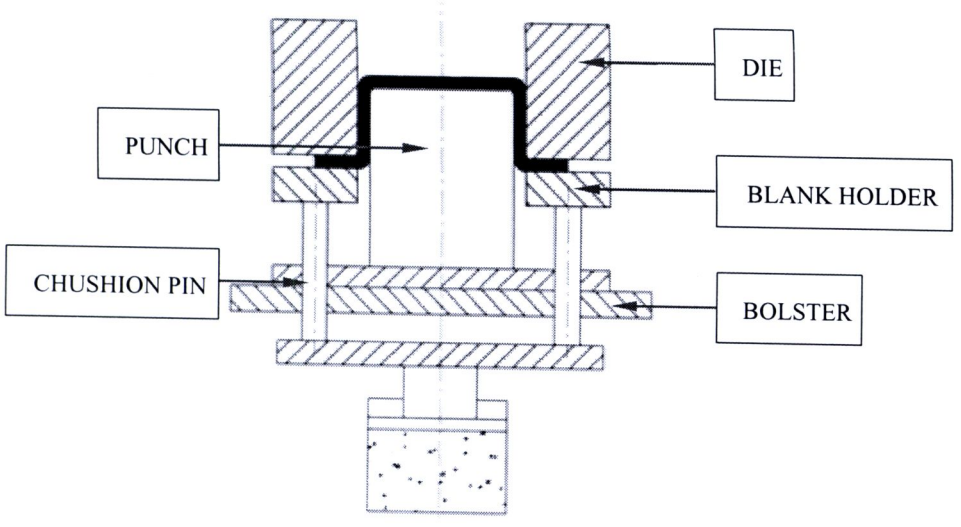
เครื่องปั๊มที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นเครื่องปั๊มที่ใช้ระบบไฮดรอลิกในการส่งกำลังโดยมีขนาด 100 ตัน ทำงานแบบจังหวะเดียว (Single press) ลักษณะของตัวเครื่องแสดงในภาพที่ 4.2 (ก) ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องประกอบไปด้วยกระบอกไฮดรอลิก 2 ชุดคือ อยู่ใต้โบลสเตอร์ของเครื่องปั๊ม และอีกตัวอยู่ด้านบนของเครื่อง รายละเอียดส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องได้แสดงดังภาพที่ 4.2 (ข) หลักการทำงานของการปั๊มคือ พันช์จะยึดติดอยู่กับโบลสเตอร์ทางด้วนล่างของเครื่อง และดายจะยึดติดอยู่กับส่วนบนหรือแรมของเครื่อง แรมจะเคลื่อนที่ลงพาดายสวมเข้ากับพันช์เพื่อขึ้นรูปชิ้นงานส่วนแรงที่ใช้ในการจับยึดชิ้นงานจะถูกกำหนดโดยการตั้งแรงดันต้านผ่านแกนส่งแรงดันจากกระบอกไฮดรอลิกด้านล่างดังแสดงในภาพที่ 4.3 การทำงานของกระบอกไฮดรอลิก สามารถควบคุมแรงดันให้คงที่และสามารถปรับตั้งได้ แรงที่กระจายบนแผ่นจับยึดชิ้นงานจะมีค่าสูงสุดที่ตำแหน่งเริ่มต้น เมื่อแผ่นโลหะถูกดึงเข้าไปในช่องดายบางส่วนก็จะเหลือพื้นที่บริเวณปีกลดลง ทำให้แรงในการจับยึดน้อยลงด้วย จากการศึกษาประเภทลักษณะของแม่พิมพ์ดึงขึ้นรูปลึกและลักษณะการทำงานของเครื่องปั๊มที่ใช้ในการทดสอบ ในการศึกษานี้ลักษณะการทำงานแม่พิมพ์เป็นแบบ แม่พิมพ์เดี่ยวแบบสองจังหวะ (Double action single die) และโครงสร้างของแม่พิมพ์เป็นแม่พิมพ์แบบกลับทาง (Inverted die)





(ก) เครื่องปั๊มในการขึ้นรูป (ข) ส่วนประกอบของเครื่องปั๊ม

ภาพที่ 4.2 เครื่องปั๊มไฮดรอลิกขนาด 100 ตัน และส่วนประกอบของเครื่อง



ภาพที่ 4.3 ลักษณะการติดตั้งแม่พิมพ์ และโครงสร้างแม่พิมพ์ที่เป็นแบบกลับทาง

4.1.2 การเลือกวัสดุทำแม่พิมพ์

วารุณี เปรมานนท์ (2552) กล่าวว่าการเลือกชนิดของวัสดุทำแม่พิมพ์ดึงขึ้นรูปลึกที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของวัสดุชิ้นงาน ขนาดของชิ้นงาน ความรุนแรงในการดึงขึ้นรูป ปริมาณการผลิต ค่าความคลาดเคลื่อนของชิ้นงาน และความเรียบผิวงานที่ต้องการ ในการศึกษานี้ได้ใช้เหล็กกล้าเครื่องมือ (Tool steel) สำหรับงานเย็น เกรด JIS-SKD11 และทำการชุบแข็ง เนื่องจากเหล็กชนิดนี้จัดเป็นเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนและธาตุผสมอื่น ๆ ในปริมาณสูง มีความสามารถในการชุบแข็งสูงเพื่อสร้างคาร์ไบด์ที่ใช้ปรับปรุงคุณสมบัติต้านทานการสึกหรอ คุณสมบัติที่สำคัญของเหล็กกล้าเครื่องมือนี้คือ มีความสามารถในการชุบแข็ง (Harden ability) มีความเหนียว ทนต่อการเสียดสี และเหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับงานเย็น เกรด JIS-SKD11 นี้เป็นเกรดที่นิยมใช้กันมากที่สุด มีธาตุผสมหลัก คือ คาร์บอน โครเมียม และโมลิบดินัม โดยมีคุณสมบัติทนต่อการสึกหรอและการเสียดสีที่ดีเยี่ยม

4.1.3 การออกแบบแม่พิมพ์

การออกแบบแม่พิมพ์ต้องคำนึงถึงความแข็งแรงที่มีต่อการเสียรูปของโครงสร้างในขณะทำการขึ้นรูป ง่ายต่อการผลิตและติดตั้ง และที่สำคัญต้องคำนึงถึงวัตถุดิบที่นำมาผลิตต้องมีขายตามท้องตลาด ในการออกแบบนั้นจะทำให้อยู่ในรูปของข้อมูลพื้นผิวการออกแบบ เมื่อทำการออกแบบและตรวจสอบความถูกต้องโดยการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกันโดยใช้โปรแกรม SOLIDWORK เพื่อเช็คระยะและตำแหน่งองค์ประกอบของแม่พิมพ์ จากนั้นตรวจสอบความแข็งแรงของโรงสร้างแม่พิมพ์โดยการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ANSYS WORKBENCH เพื่อหาค่าความปลอดภัยของแม่พิมพ์ ชลธี ไสยาวงศ์ (2004) กล่าวว่าโดยทั่วไปเหล็ก SKD11 ก่อนชุบแข็งค่า Tensile Strength จะอยู่ที่ประมาณ 600 ถึง 700 MPa และหลังชุบแข็งจะอยู่ที่ประมาณ 1200 ถึง 1700 MPa การกำหนดภาระที่กระทำต่อชิ้นส่วนแต่ละชิ้นของแม่พิมพ์ตามตารางที่ 4.1 เพื่อทดสอบความแข็งแรงของชิ้นส่วนของแม่พิมพ์

ตารางที่ 4.1 การกำหนดภาระที่กระทำต่อชิ้นส่วนต่าง ๆ ของแม่พิมพ์

ชิ้นส่วนแม่พิมพ์	ภาระที่กระทำ	ขนาด	หมายเหตุ
ดาย	ภาระเป็นแบบความดันกระทำที่ผิวชิ้นงานที่สัมผัสกับแผ่นชิ้นงานเปล่า	1.95 MPa	ขนาดของภาระที่กระทำเท่ากับ 130% ของขนาดของความดันสูงสุดในการจับยึดชิ้นงานที่ทำให้ชิ้นงานฉีกขาดในการวิเคราะห์ในบทที่ 3 (15 บาร์)
แผ่นจับยึดชิ้นงาน		1.95 MPa	
แกนส่งแรงดัน		1.95 MPa	
พันช์		600.6 MPa	ขนาดของภาระที่กระทำเท่ากับ 110% ของค่า Ultimate Strength ของแผ่นไททาเนียม (546 MPa)

จากทฤษฎีพลังงานของการเปลี่ยนรูป (Distortion Energy Theory) ทฤษฎีนี้คิดขึ้นโดย Huber, (1904) และพัฒนาโดย Von Misses, (1913) และ Hencky, (1925) ทฤษฎีนี้กล่าวว่า วัสดุจะเริ่มครากเมื่อพลังงานของการเปลี่ยนรูปต่อหน่วยปริมาตรของชิ้นงานที่อยู่ภายใต้ความเค้นรวมมีค่าเท่ากับพลังงานของการเปลี่ยนรูป เนื่องจากการครากที่เกิดขึ้นในการทดสอบการดึงอย่างง่าย ๆ ดังนั้นจากนิยามดังกล่าวสามารถเขียนความสัมพันธ์เป็นสมการที่ (4.1) และ (4.2) ดังนั้น

$$\sigma' \geq \frac{S_y}{n} \tag{4.1}$$

เมื่อ

$$\sigma' = \left[\frac{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2}{2}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{4.2}$$

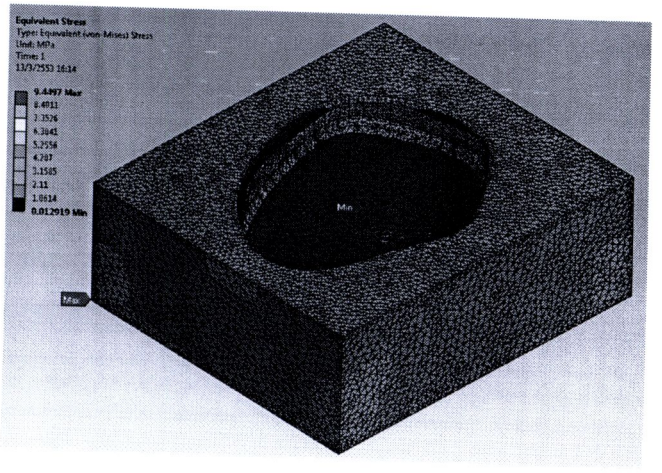
โดย σ' คือ ความเค้นฟอนมิสเซส (Von Misses Stress) มีหน่วยเป็น MPa

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ คือ ความเค้นหลักของแต่ละแก่น โดย $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ มีหน่วยเป็น MPa

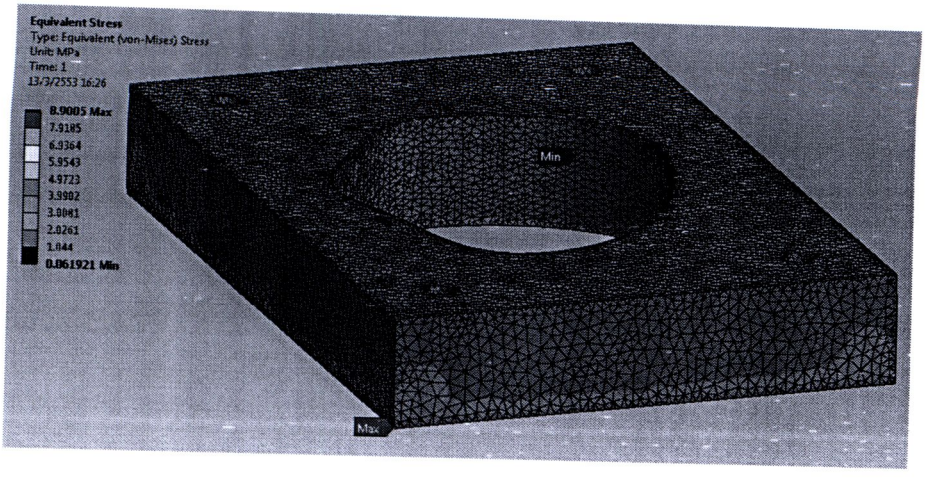
n คือ Safety factor

S_y คือ Strength of material มีหน่วยเป็น MPa

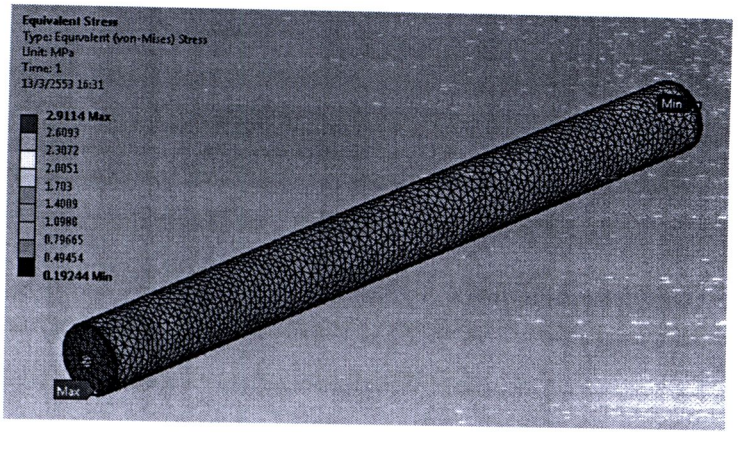
ผลการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาค่าความปลอดภัย (Safety factor) โดยพิจารณาจากความเค้นฟอนมิสเซส ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลการวิเคราะห์ได้แสดงดังภาพที่ 4.4 ถึง 4.7



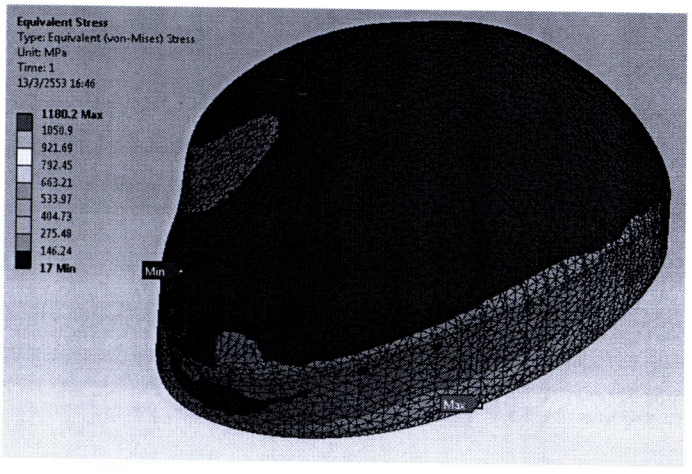
ภาพที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นฟอนมิสเซสของดาย ที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์



ภาพที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นฟอนมิสเซสของแผ่นจับยึดชิ้นงาน ที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์



ภาพที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นฟอนมิสเซสของแกนส่งแรงดัน ที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์



ภาพที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นฟอนมิสเซสของพันช์ ที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์

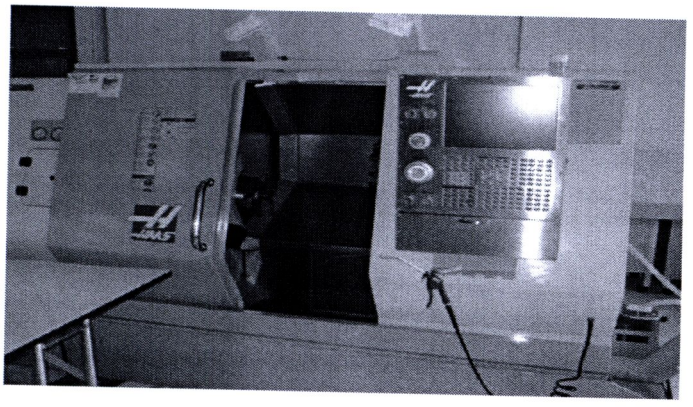
เมื่อได้ผลจากการวิเคราะห์ค่าความเค้นฟอนมิสเซส จากนั้นนำมาหาค่าความปลอดภัยของชิ้นส่วนแม่พิมพ์จากสมการที่ (4.1) โดยผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าความเค้นฟอนมิสเซสและค่าความปลอดภัยของชิ้นส่วนแม่พิมพ์

ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์	**ค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด (Max. Von Misses Stress)**	**ค่าความปลอดภัย (Safety factor)** (Tensile Strength ของแม่พิมพ์ 1200 MPa)
ดาย	9.5 MPa	126.31
แผ่นจับยึดชิ้นงาน	8.9 MPa	141.18
แกนส่งแรงดัน	2.9 MPa	413.79
พันช์	**921.6 MPa**	**1.3**

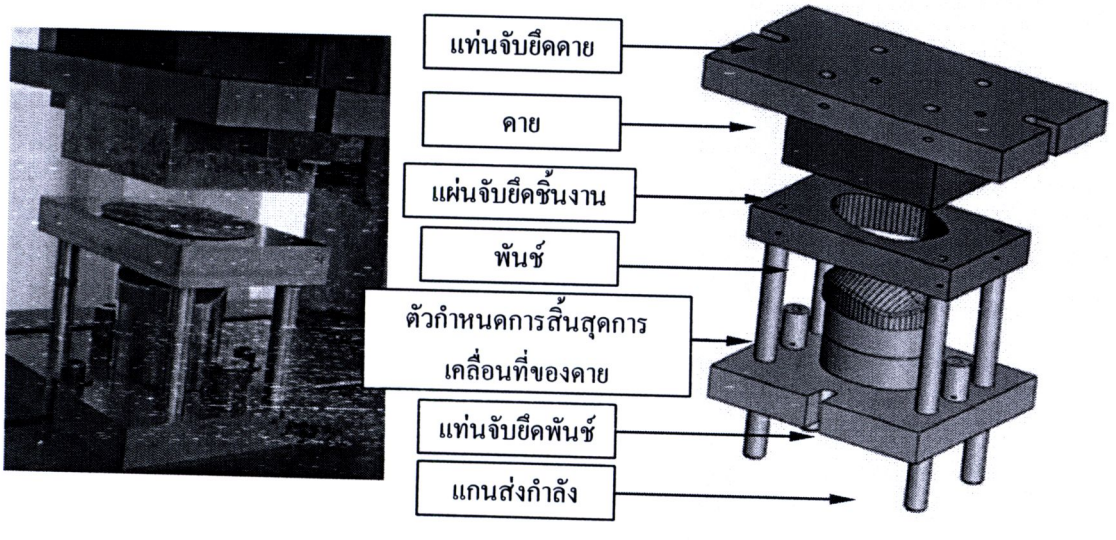
จะเห็นได้ว่าค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดของพันช์จะมีค่าที่สูงและมีค่าความปลอดภัยที่ต่ำ เนื่องจากภาระที่กระทำต่อพันช์จะเป็นผลต่อเนื่องจากการเปลี่ยนรูปของแผ่นไททาเนียม แต่อย่างไรก็ตามพันช์ที่ใช้ในการทดลองของการศึกษานี้ยังมีความปลอดภัยเนื่องจากภาระที่กระทำต่อพันช์ได้ใช้ค่าความเค้นสูงสุดของแผ่นไททาเนียมที่ใช้ในการทดลองและเพิ่มค่าดังกล่าวอีก 10 เปอร์เซ็นต์ในการทดสอบ

จากนั้นนำข้อมูลที่ทำการออกแบบดังกล่าวเข้าสู่กระบวนการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ภาพที่ 4.8 แสดงเครื่องเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ที่ใช้ในการสร้างชิ้นส่วนต่าง ๆ ของแม่พิมพ์ ขั้นตอนสุดท้ายคือนำแม่พิมพ์ที่ได้ไปชุบแข็งเพื่อป้องกันการสึกหรอและรอยขีดข่วนจากการขึ้นรูป

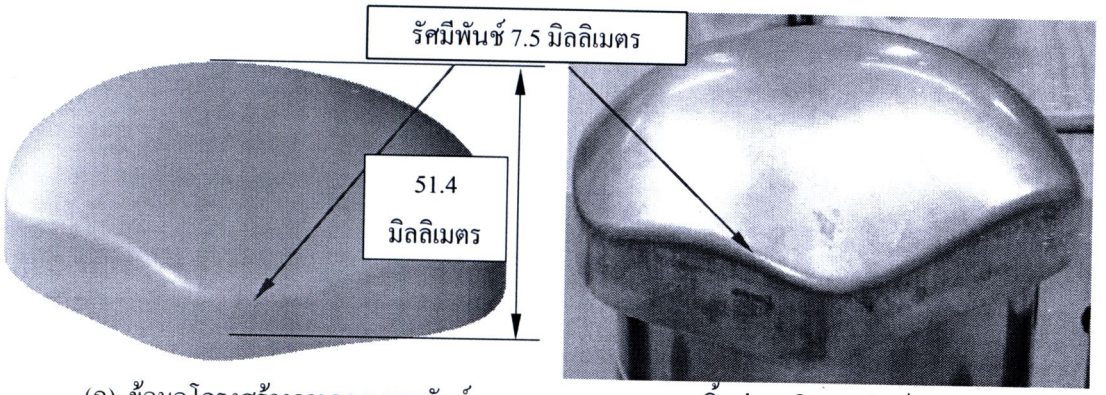


ภาพที่ 4.8 เครื่องจักรกลอัตโนมัติ ที่ใช้ในการสร้างชิ้นส่วนต่าง ๆ ของแม่พิมพ์

องค์ประกอบต่าง ๆ ของแม่พิมพ์ในการศึกษานี้ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.9 ประกอบไปด้วย พันช์ ดาย แผ่นจับยึดชิ้นงาน ชุดจับยึดดายกับแรม ชุดจับยึดพันช์กับโบลสเตอร์ แกนส่งแรงดัน และตัวกำหนดการสิ้นสุดการเคลื่อนที่ของดาย (Stopper) เพื่อป้องกันการชนกันของพันช์และดาย ก่อนติดตั้งเข้ากับเครื่องปั๊ม และภาพที่ 4.10 ถึง 4.12 แสดงลักษณะของชิ้นส่วนหลักของแม่พิมพ์ที่ได้จากเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ซึ่งได้แก่ พันช์ ดายและแผ่นจับยึดชิ้นงาน

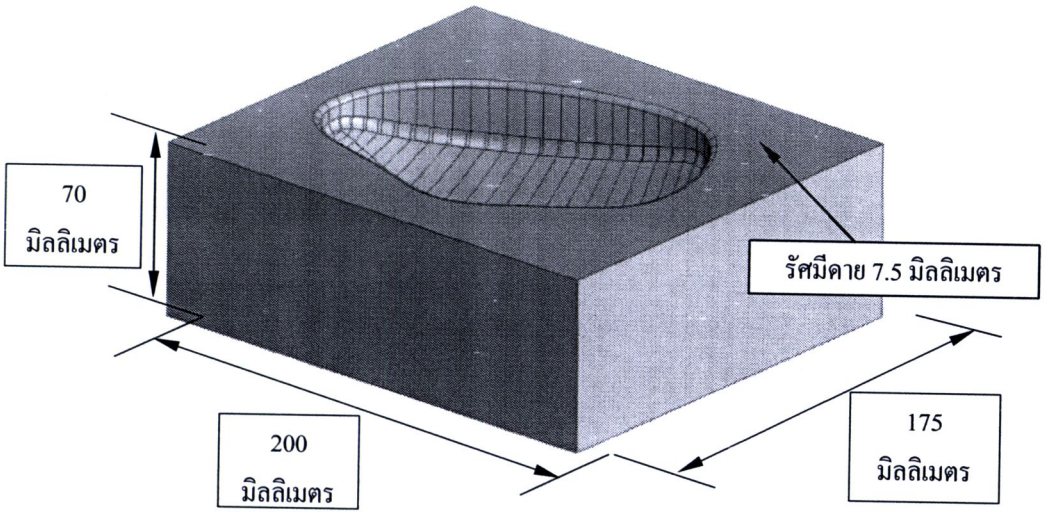


ภาพที่ 4.9 องค์ประกอบทั้งหมดของแม่พิมพ์ที่ได้จากการออกแบบ

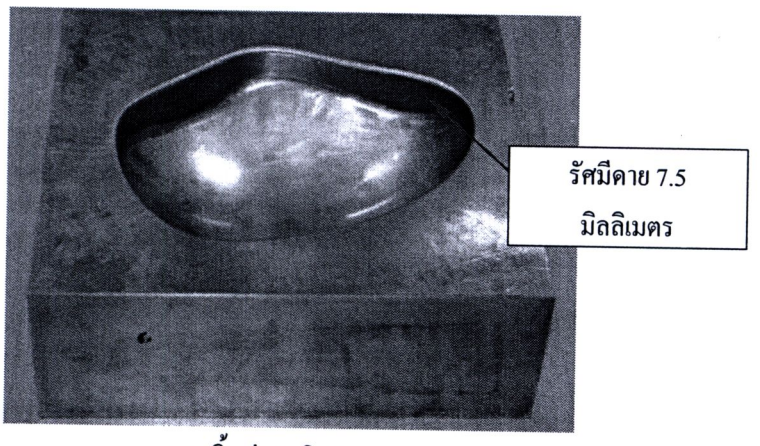


(ก) ข้อมูลโครงสร้างการออกแบบพันช์ (ข) ชิ้นส่วนจริงของพันช์

ภาพที่ 4.10 โครงสร้างการออกแบบและชิ้นงานจริงของพันช์ที่ได้จากเครื่องจักรกลอัตโนมัติ

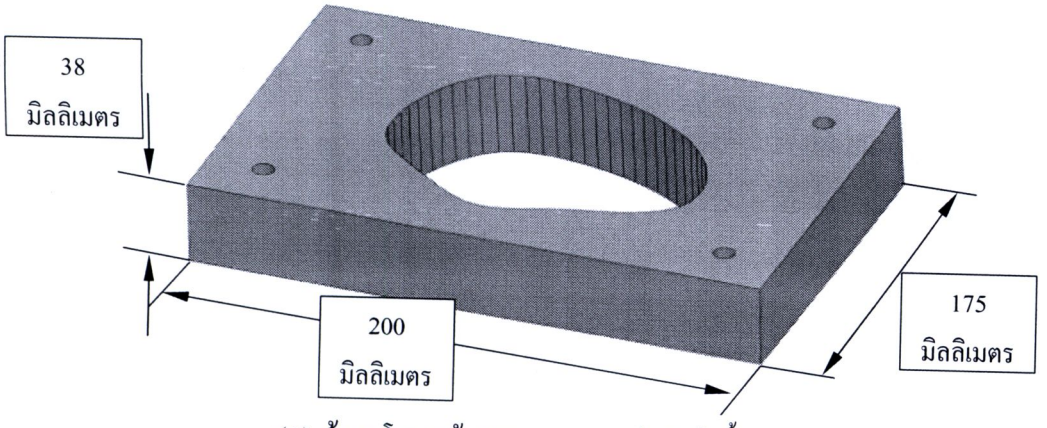


(ก) ข้อมูลโครงสร้างการออกแบบดาย



(ข) ชิ้นส่วนจริงของดาย

ภาพที่ 4.11 โครงสร้างการออกแบบและชิ้นงานจริงของดายที่ได้จากเครื่องจักรกลอัตโนมัติ

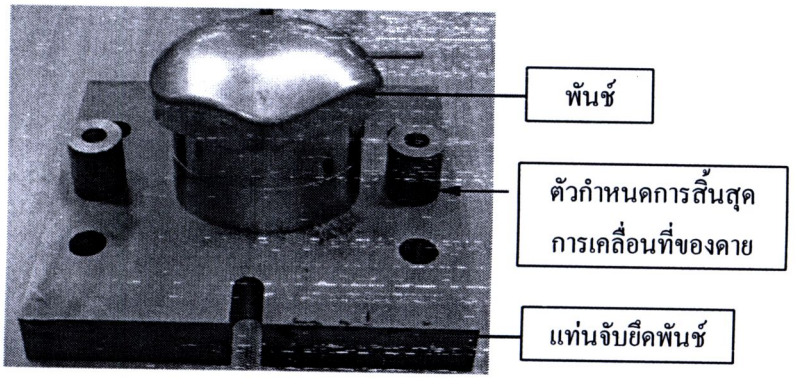


(ก) ข้อมูลโครงสร้างการออกแบบแผ่นจับยึดชิ้นงาน

(ข) ชิ้นส่วนจริงของแผ่นจับยึดชิ้นงาน

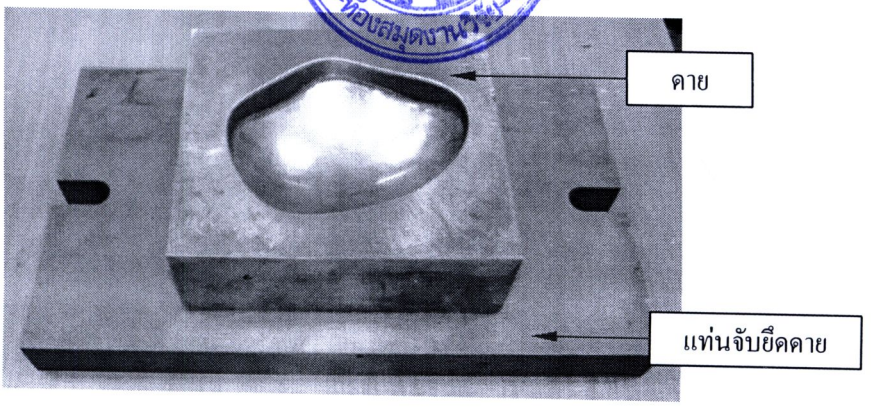
ภาพที่ 4.12 โครงสร้างการออกแบบและชิ้นงานจริงของแผ่นจับยึดชิ้นงานที่ได้จากเครื่องจักรกลอัตโนมัติ

เมื่อได้ชิ้นส่วนของพันช์ ดาย และแผ่นจับยึดชิ้นงาน ที่ผ่านการชุบแข็งแล้ว นำมาประกอบกับชิ้นส่วนอื่น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.13 ถึง 4.15 จากภาพเป็นการประกอบส่วนของพันช์ ดาย และแผ่นจับยึดชิ้นงานตามลำดับ

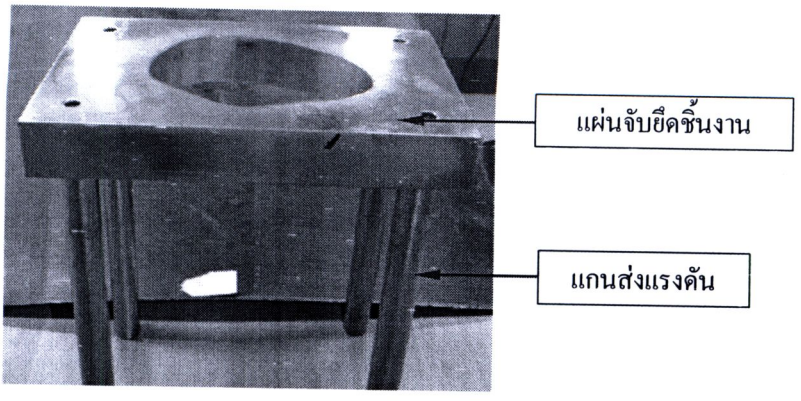


ภาพที่ 4.13 การประกอบชิ้นส่วนแท่นจับยึดเข้ากับพันช์ และการติดตั้งตัวกำหนดการสิ้นสุดการเคลื่อนที่ของดาย

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



ภาพที่ 4.14 การประกอบชิ้นส่วนแท่นจับยึดเข้ากับดาย ก่อนติดตั้งเข้ากับเครื่องปั๊ม



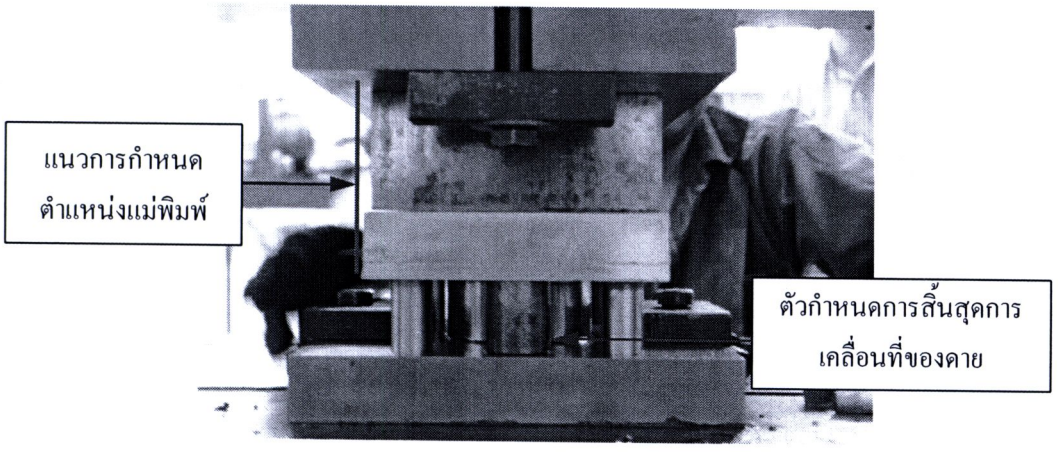
ภาพที่ 4.15 การประกอบแผ่นจับยึดชินงานกับแก่นส่งแรงดันก่อนติดตั้งเข้ากับเครื่องปั๊ม

เมื่อได้ชิ้นส่วนต่าง ๆ และนำมาประกอบเข้าด้วยกัน จากนั้นนำติดตังเข้ากับเครื่องปั๊ม ดังจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

4.2 การติดตั้งชุดแม่พิมพ์

การติดตั้งแม่พิมพ์นั้นต้องมีความถูกต้องและแม่นยำ ชิ้นส่วนต่าง ๆ ต้องอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดและอยู่ในแนวเดียวกันตามที่ได้ออกแบบไว้เพื่อป้องกันการเบียดกันของดายและพันช์ในขณะเคลื่อนที่สวมเข้าหากันระหว่างกระบวนการทำงาน และเพื่อให้ระยะช่องว่างแม่พิมพ์อยู่ในระยะที่ถูกต้อง

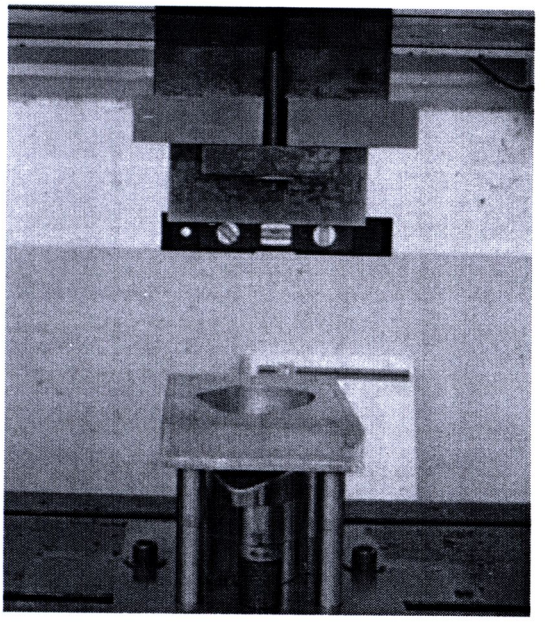
ขั้นตอนที่ 1 ในการติดตั้งเริ่มแรกให้เครื่องปั๊มเคลื่อนที่อยู่ในตำแหน่งสุดท้ายของกระบวนการการขึ้นรูปเพื่อให้ง่ายต่อการติดตั้งและวางจัดตำแหน่งของชิ้นส่วนต่าง ๆ โดยในขั้นตอนการออกแบบนั้น ในการศึกษานี้ได้กำหนดขอบข่างเป็นตัวกำหนดแนวอ่างอิงและที่สำคัญต้องติดตั้งตัวกำหนดการสิ้นสุดการเคลื่อนที่ของดาย และตรวจสอบขนาดความสูงให้ถูกต้องเนื่องจากเป็นตัวตัวกำหนดระยะสุดท้ายในการเคลื่อนที่ของดาย และเป็นตัวควบคุมระยะช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ให้คงที่ในตำแหน่งระยะสุดท้ายเมื่อสิ้นสุดกระบวนการดึงขึ้นรูปลึก ดังแสดงในภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 การติดตั้งแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องปั๊มกำหนดแนวตำแหน่งให้ตรงกันระหว่างพันช์และดาย

ขั้นตอนที่ 2 หลังจากยึดชุดแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องแล้วทำการเช็คระดับหน้าสัมผัสของดายและแผ่นจับยึดชิ้นงานต้องให้อยู่ในระนาบเดียวกันเพื่อป้องกันการเลื่อนไถลของแผ่นชิ้นงานเปล่า และให้แรงในการจับยึดมีขนาดเท่ากันทุกหน้าสัมผัสกับแผ่นชิ้นงานเปล่า ภาพที่ 4.17 แสดงการตรวจสอบระนาบหน้าสัมผัสของดาย และแผ่นจับยึดชิ้นงานโดยใช้ระดับน้ำเป็นตัวตรวจสอบ

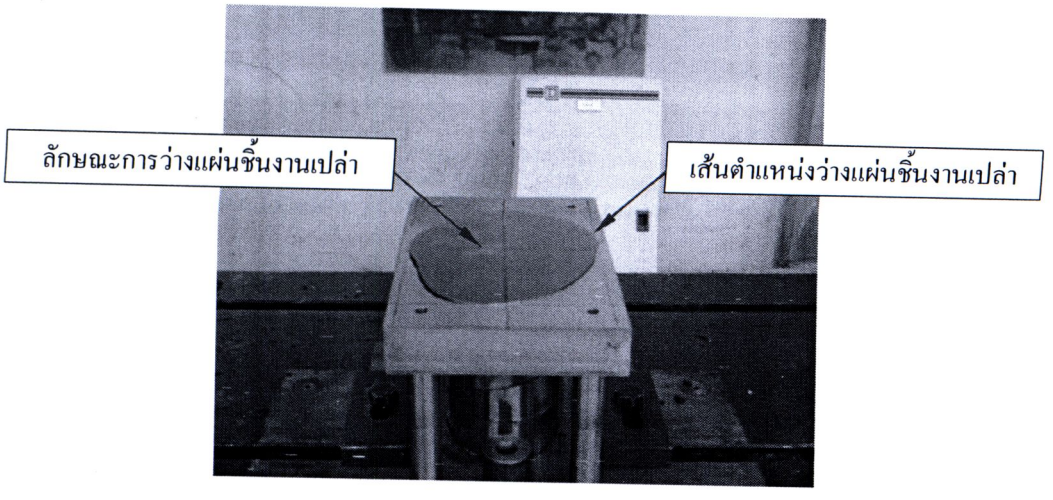
(ก) การเช็คระนาบของหน้าสัมผัสของดาย



(ข) การเช็คระนาบแผ่นจับยึดชิ้นงานด้วยระดับน้ำ

ภาพที่ 4.17 การตรวจสอบระนาบของหน้าสัมผัสของดายและแผ่นจับยึดชิ้นงานด้วยระดับน้ำ

ขั้นตอนที่ 3 หลังจากทำการเช็คการติดตั้งของชุดแม่พิมพ์เสร็จเรียบร้อยแล้ว เพื่อความถูกต้องของการทดลองจะต้องทำการกำหนดตำแหน่งการวางของแผ่นชิ้นงานบนแผ่นจับยึดชิ้นงาน โดยการลากเส้นขอบเขตการว่าง เส้นแนวกลึ่งกลาง ทั้งแผ่นจับยึดชิ้นงาน และแผ่นชิ้นงานงเปล่าดังแสดงในภาพที่ 4.18

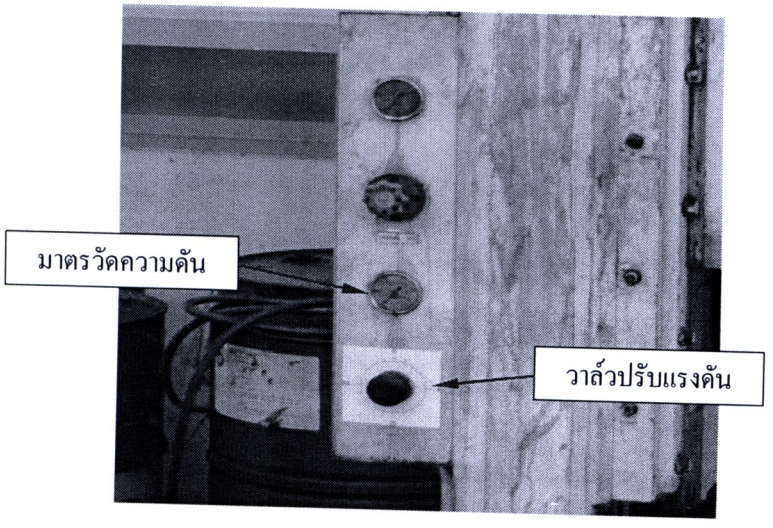


ภาพที่ 4.18 ลักษณะและตำแหน่งการวางแผ่นชิ้นงานเปล่าบนแผ่นจับยึดชิ้นงานก่อนการขึ้นรูป

เมื่อทำการติดตังชิ้นส่วนต่าง ๆ ของแม่พิมพ์และทำการกำหนดตำแหน่งของการวางแผ่นชิ้นงานเปล่าแล้ว จากนั้นจึงดำเนินการทดสอบการขึ้นรูปต่อไป

4.3 ผลการทดสอบการขึ้นรูปจริง

เนื่องจากไททาเนียมเป็นวัสดุที่มีราคาแพงและมีจำนวนจำกัด ดังนั้นในการทดลองจึงต้องให้เกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุด ผนวกกับเครื่องปั๊มที่ใช้ในการขึ้นรูปมีอายุการใช้งานนานมากอาจทำให้อุปกรณ์บางอย่างในระบบไฮดรอลิกประสิทธิภาพการทำงานอาจลดลงรวมไปถึงคุณภาพของน้ำมันไฮดรอลิกอาจเสื่อมสภาพได้ เพื่อความถูกต้องในการขึ้นรูป ในการศึกษานี้จึงได้ทำการขึ้นรูปแผ่นเหล็กที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่าย เพื่อเป็นการปรับตั้งค่าความดันที่ใช้ในการจับยึดชิ้นงานและยังเป็นการหาความเป็นไปได้ในการทดสอบการขึ้นรูปจริงของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่ายก่อนทำการขึ้นรูปจริง การปรับความดันในการจับยึดชิ้นงานจะปรับด้วยวาล์วดังแสดงในภาพที่ 4.19 ตัวเครื่องจะมีมาตรวัดความดันเพื่อให้ทราบค่าของความดันทำงาน และความดันของเครื่องจะทำงานก็ต่อเมื่อมีการจับยึดชิ้นงานและเริ่มมีการเคลื่อนที่ของดายและแผ่นจับยึดชิ้นงาน ความเร็วในการขึ้นรูปอยู่ที่ 7 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยเครื่องปั๊มที่ใช้ในการศึกษาเป็นเครื่องที่ไม่สามารถปรับความเร็วในการขึ้นรูปได้



ภาพที่ 4.19 วาล์วปรับความดันในการจับยึดชิ้นงานและมาตรวัดความดันของเครื่อง

4.3.1 ผลการทดสอบการขึ้นรูปของแผ่นเหล็ก

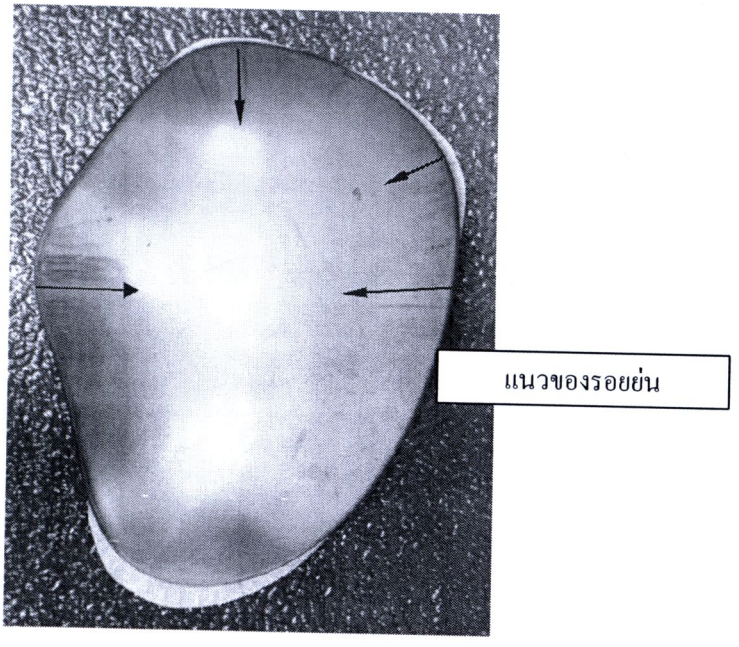
การขึ้นรูปแผ่นเหล็กโดยกำหนดเงื่อนไขในการขึ้นรูปดังตารางที่ 4.3 ในการศึกษานี้จะเน้นพิจารณาลักษณะของการเกิดรอยย่นและการฉีกขาดบนชิ้นงาน โดยการขึ้นรูปในแต่ละครั้งจะเป็นการกำหนดตำแหน่งของวาล์วที่ความดันในการจับยึดชิ้นงานต่าง ๆ และทำการขึ้นรูปแผ่นเหล็กแบบแผ่นตาข่ายควบคู่ไปด้วย

ตารางที่ 4.3 การกำหนดเงื่อนไขของการขึ้นรูปแผ่นเหล็ก

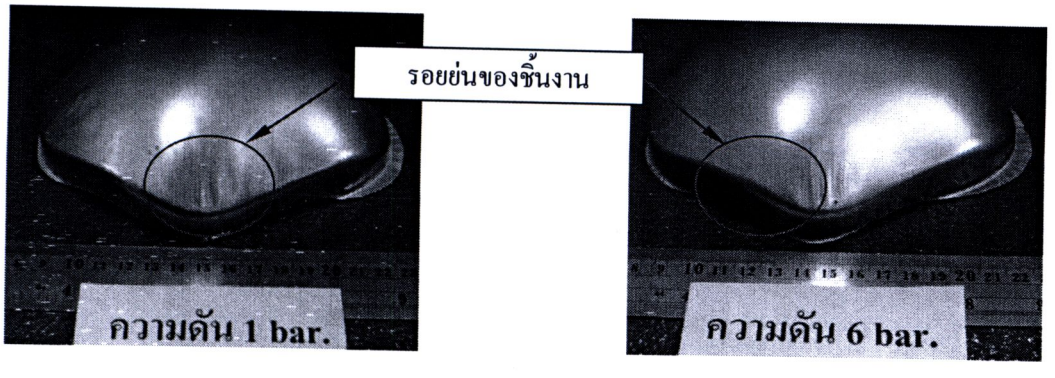
เงื่อนไขของการขึ้นรูป	ค่าที่กำหนด
ความเร็วของการเคลื่อนที่	7 มิลลิเมตรต่อวินาที
แรงในการจับยึดชิ้นงาน (ใช้ในหน่วยของความดัน)	ความดันเริ่มต้นที่ 1 บาร์ จนชิ้นงานอย่างใดอย่างหนึ่งเกิดการฉีกขาด

<u>ผลการทดสอบการขึ้นรูปของแผ่นเหล็กแบบแผ่นเรียบ</u>

ผลการขึ้นรูปแผ่นเหล็กแบบแผ่นเรียบ เมื่อพิจารณาการเกิดรอยย่นที่ชิ้นงานจะเกิดขึ้นที่บริเวณปีกและผนังของชิ้นงานโดยรอบ บริเวณส่วนบนการเกิดรอยย่นจะเกิดใกล้กับผนังของชิ้นงานและเป็นบริเวณที่มีความโค้งนูนของผิวชิ้นงาน ลักษณะการเกิดที่ส่วนบนของชิ้นงานจะมีลักษณะเป็นแนวตรงเข้าหาส่วนบนสุดของชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 4.20 เมื่อเพิ่มความดันในการจับยึดชิ้นงานการเกิดรอยย่นที่ผิวบนของชิ้นงานแคบลง ดังแสดงในภาพที่ 4.21



ภาพที่ 4.20 ลักษณะรอยย่นที่เกิดขึ้นบนผิวของชิ้นงานจริง

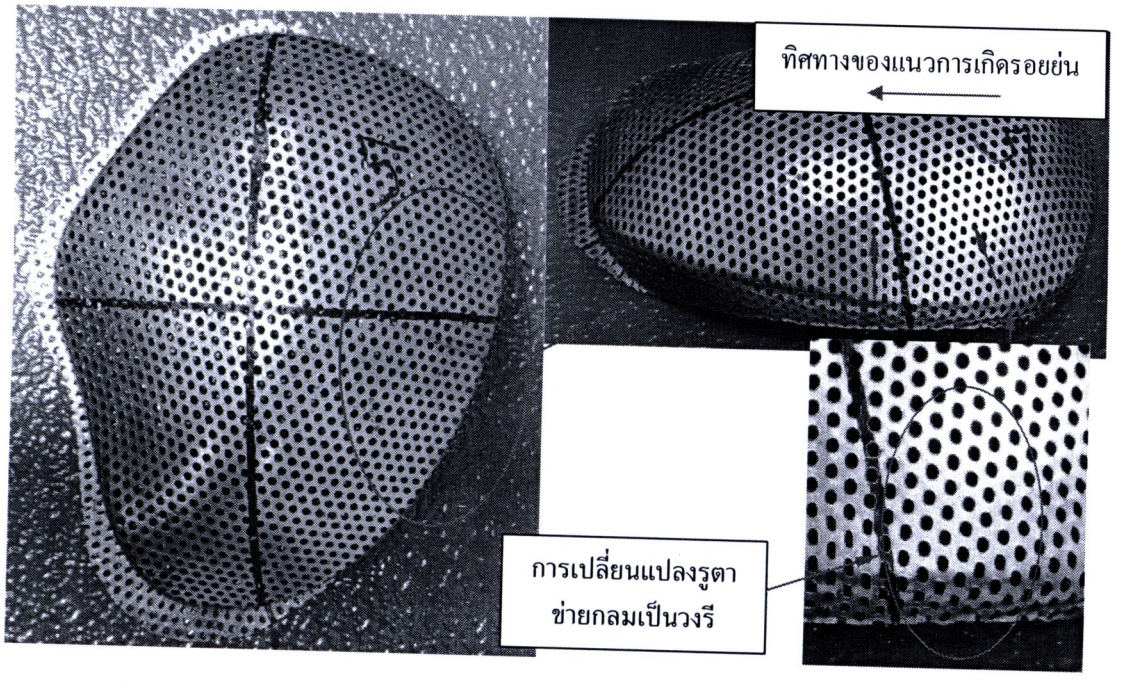


ภาพที่ 4.21 ลักษณะรอยย่นที่เกิดขึ้นบนผิวของชิ้นงานจริง

จากภาพที่ 4.21 เป็นผลการขึ้นรูปที่ขนาดความดันในการจับยึดชิ้นงานที่ 1 บาร์ และ 6 บาร์ ในการศึกษานี้ได้ทำการขึ้นรูปแผ่นเหล็กที่เป็นแบบแผ่นเรียบเริ่มต้นที่ความดัน 1 บาร์ จนถึง 6 บาร์ เนื่องจากเป็นการเปรียบเทียบกับการขึ้นรูปของแผ่นตาข่ายโดยที่แผ่นตาข่ายมีการขาดที่ 6 บาร์

<u>ผลการขึ้นรูปของแผ่นเหล็กที่เป็นแบบแผ่นตาข่าย</u>

ผลการขึ้นรูปแผ่นเหล็กที่เป็นแบบแผ่นตาข่าย เมื่อพิจารณาการเกิดรอยย่นบนผิวของชิ้นงาน การเกิดรอยย่นจะเกิดที่บริเวณปีกและผนังของชิ้นงานเท่านั้น ในบริเวณส่วนบนของชิ้นงานไม่เกิดรอยย่น ดังแสดงในภาพที่ 4.22 และลักษณะการฉีกขาดของแผ่นตาข่ายแสดงในภาพที่ 4.23



ภาพที่ 4.23 ผลการขึ้นรูปแผ่นเหล็กแบบตาข่าย ลักษณะของรูตาข่ายและทิศทางของรูตาข่ายที่เปลี่ยนไป

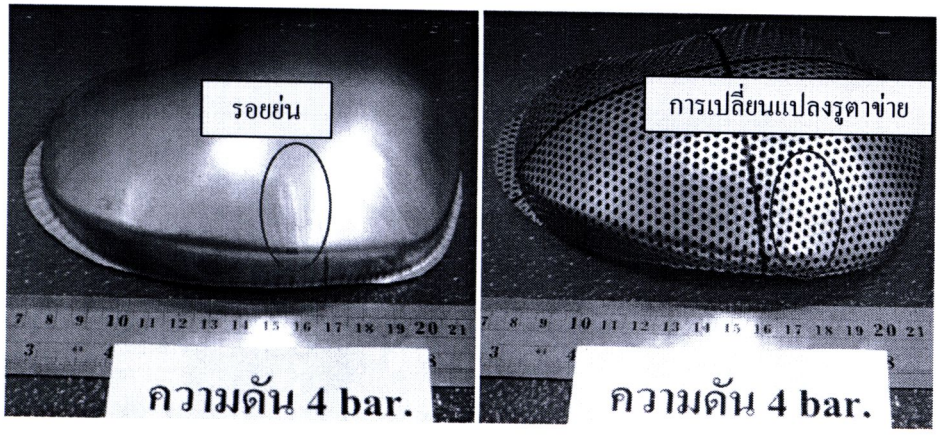
จากภาพที่ 4.23 แสดงลักษณะของเกิดรอยย่นที่ชิ้นงานแบบแผ่นตาข่ายโดยจะเกิดที่บริเวณผนังและปีกของชิ้นงาน ในบริเวณส่วนบนของชิ้นงานไม่เกิดรอยย่นแต่ลักษณะของรูตาข่ายมีการเปลี่ยนแปลงคือจากรูวงกลมกลายเป็นวงรีที่มีทิศของแกนโทเข้าหาส่วนบนของชิ้นงาน

ภาพที่ 4.24 การฉีกขาดของการขึ้นรูปแผ่นเหล็กแบบตาข่ายที่ความดัน 6 บาร์

จากภาพที่ 4.24 แสดงการฉีกขาดของชิ้นงานแบบแผ่นตาข่ายเมื่อความดันในการจับยึดงานมากขึ้น ชิ้นงานจะเกิดการฉีกขาดที่ผนังของชิ้นงานการฉีกขาดจะเกิดขึ้นที่ความดัน 6 บาร์

<u>การวิเคราะห์และการเปรียบเทียบผลการขึ้นรูปแผ่นเหล็กที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่าย</u>

การวิเคราะห์และการเปรียบเทียบผลการขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นเหล็กที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่าย จะพิจาณาการเกิดรอยย่นบนผิวส่วนบนของชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.25 การเปลี่ยนเทียบผลการขึ้นรูปของแผ่นเหล็กแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่ายที่ความดันในการจับยึดชิ้นงาน 4 บาร์

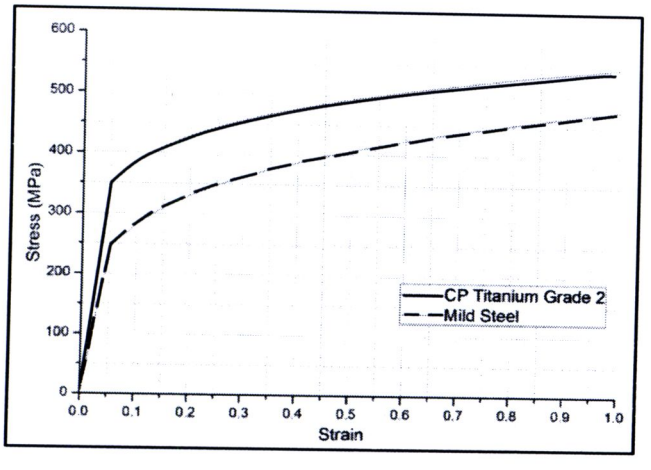
จากภาพที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบการขึ้นรูปชิ้นงานที่เป็นแผ่นเหล็กระหว่างแผ่นเรียบและแผ่นตาข่ายลักษณะของชิ้นงานที่ได้มีลักษณะที่เหมือนกัน เมื่อพิจารณาการเกิดรอยย่นแผ่นเหล็กที่เป็นแบบแผ่นเรียบจะเกิดรอยย่นที่บริเวณส่วนบนที่ใกล้กับขอบของชิ้นงาน และเมื่อพิจารณาการเกิดรอยย่นแผ่นเหล็กที่เป็นแบบแผ่นตาข่ายไม่มีการเกิดรอยย่นที่ผิวบนของชิ้นงานแต่ลักษณะของรูตาข่ายมีการเปลี่ยนแปลงจากลักษณะวงกลมกลายเป็นวงรีแทน และทิศทางแนวของรอยย่นและทิศทางของวงรีมีทิศทางเดียวกัน คือมีแนวเข้าหาส่วนบนสุดของชิ้นงาน

4.3.2 ผลการทดสอบการขึ้นรูปของแผ่นไททาเนียม

หลังจากที่ได้ทำการขึ้นรูปแผ่นเหล็กแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่ายด้วยกระบวนการดึงขึ้นรูปลึกจากหัวข้อที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่ามีความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่ายตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติเชิงกลและพฤติกรรมความแข็งของวัสดุจากการศึกษาของ P.Padmanahan (2007) ได้ทำการศึกษาการดึงขึ้นรูปของแผ่นเหล็กละมุน (Mild steel) และได้ทำการทดสอบวัสดุของแผ่นเหล็กละมุน ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และลักษณะของกราฟความเค้นและความเครียดแสดงในภาพที่ 4.26 จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมความแข็งของวัสดุ ของไททาเนียมและเหล็กมีลักษณะที่คล้ายกัน ดันนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะทำการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมของการศึกษานี้ได้

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ CP Titanium Grade 2 (Joji Satoh, 2003) และเหล็กละมุน (P.Padmanahan, 2007)

คุณสมบัติเชิงกล	**CP Titanium Grade 2** **JIS-2 TP340**	**Mild Steel**
Modulus Young (E)	105 GPa.	207 GPa.
Yield Stress (YS)	275 MPa.	206.8 MPa
Poisson's Ratio	0.37	0.28
Hardening Exponent (n)	0.149	0.226
Hardening Coefficient (k)	546 GPa	476.3 GPa
Anisotropy Coefficients (r_0, r_{45}, r_{90})	1.99, 2.22, 1.40	1.45, 1.10, 1.73



ภาพที่ 4.26 พฤติกรรมความแข็งของวัสดุ และกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นและความเครียดของไททาเนียมและเหล็กละมุน

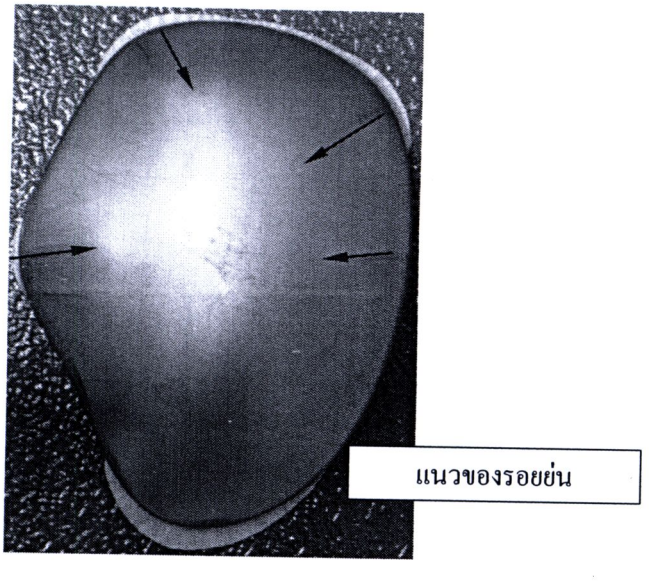
จากภาพที่ 4.26 จะเห็นได้ว่าลักษณะของพฤติกรรมความแข็งของวัสดุ และกราฟระหว่างความเค้นและความเครียดมีลักษณะที่คล้ายกัน ในการทดสอบการขึ้นรูปจริงได้กำหนดเงื่อนไขการขึ้นรูปตามตารางที่ 4.5 ดังนี้

ตารางที่ 4.5 การกำหนดเงื่อนไขของการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียม

เงื่อนไขของการขึ้นรูป	ค่าที่กำหนด
ความเร็วของการเคลื่อนที่	7 มิลลิเมตรต่อวินาที
แรงในการจับยึดชิ้นงาน (ใช้ในหน่วยของความดัน)	ความดันเริ่มต้นที่ 1 บาร์ จนชิ้นงานอย่างใดอย่างหนึ่งเกิดการฉีกขาด

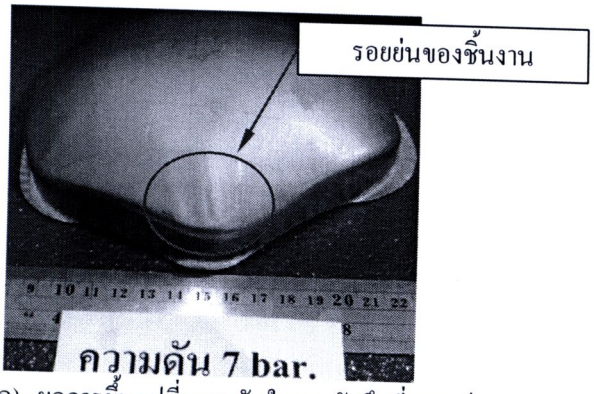
ผลการขึ้นรูปของแผ่นไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นเรียบ

ผลการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบด้วยกระบวนการดึงขึ้นรูปลึกของการศึกษานี้ เมื่อพิจารณาการรอยย่นและการฉีกขาดของชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป จะเห็นได้ว่าการเกิดรอยย่นจะเกิดขึ้นปีกชิ้นงาน ผนังของชิ้นงานโดยรอบ และบริเวณส่วนบนการเกิดรอยย่นจะเกิดใกล้กับผนังของชิ้นงานและเป็นบริเวณที่มีความโค้งนูนของผิวชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 4.27 ลักษณะและตำแหน่งของการฉีกขาดของชิ้นงานแสดงในภาพที่ 4.28

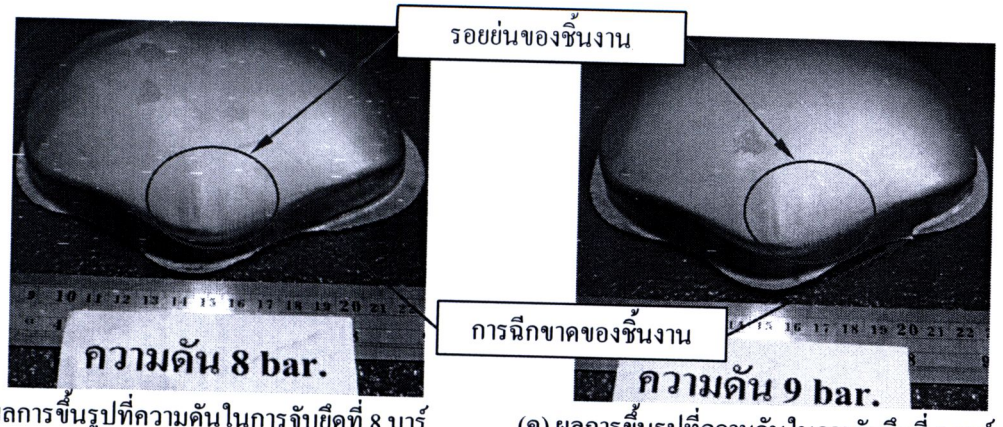


ภาพที่ 4.27 ตำแหน่งและลักษณะการเกิดรอยย่นของการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความดันในการจับยึด 7 บาร์

จากภาพที่ 4.27 แสดงตำแหน่งของการเกิดรอยย่นของแผ่นไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นเรียบจะเห็นได้ว่าที่ส่วนบนของชิ้นงานรอยย่นจะเกิดที่บริเวณที่มีความโค้งนูนของผิวชิ้นงานและใกล้กับขอบของชิ้นงาน ลักษณะของการเกิดรอยย่นจะมีลักษณะเป็นแนวตรงเข้าหาส่วนบนสุดของชิ้นงานดังแสดงในภาพ



(ก) ผลการขึ้นรูปที่ความดันในการจับยึดที่ 7 บาร์



(ข) ผลการขึ้นรูปที่ความดันในการจับยึดที่ 8 บาร์

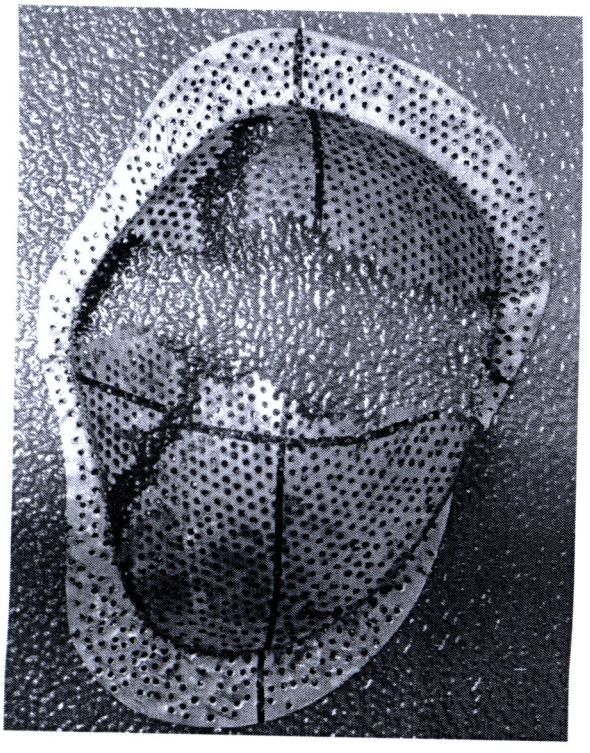
(ค) ผลการขึ้นรูปที่ความดันในการจับยึดที่ 9 บาร์

ภาพที่ 4.28 การเปรียบเทียบขนาดรอยย่นและการฉีกขาดของแผ่นไททาเนียมที่ความดันในการจับยึด 7, 8 และ 9 บาร์

จากภาพที่ 4.28 เป็นผลการขึ้นรูปที่ขนาดความดันในการจับยึดชิ้นงานที่ 7 บาร์ 8 บาร์ และ 9 บาร์ จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มความดันในการจับยึดชิ้นงานการเกิดรอยย่นของชิ้นงานยังคงเกิดในตำแหน่งเดิม แต่ ลักษณะการเกิดจะเป็นแนวตรงเข้าหาส่วนบนของชิ้นงานแต่รอยย่นที่เกิดขึ้นจะแคบลง และเมื่อพิจารณาการฉีกขาดจะฉีกขาดที่ความดันในการจับยึดชิ้นงานตั้งแต่ 8 บาร์ เป็นต้นไป ตำแหน่งการฉีกขาดจะฉีกขาดที่บริเวณรัศมีคายดังแสดงในภาพที่ 4.28 (ข) และ (ค)

ผลการขึ้นรูปของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นตาข่าย

ผลของการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นตาข่ายในการศึกษาครั้งนี้ ผลที่ได้ไม่สามารถนำมาวัดผลได้เนื่องจากในการเตรียมแผ่นชิ้นงานเปล่าใช้วิธีการเจาะด้วยสว่านทำให้เกิดความร้อน และเมื่อผ่านการเจาะแล้วแผ่นชิ้นงานเปล่าเกิดการโก่งงอต้องทำการดัดให้เรียบก่อนการขึ้นรูปเป็นสาเหตุที่ให้คุณสมบัติทางกลของแผ่นชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงผลการขึ้นรูปได้แสดงในภาพที่ 4.29



ภาพที่ 4.29 ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นเรียบ

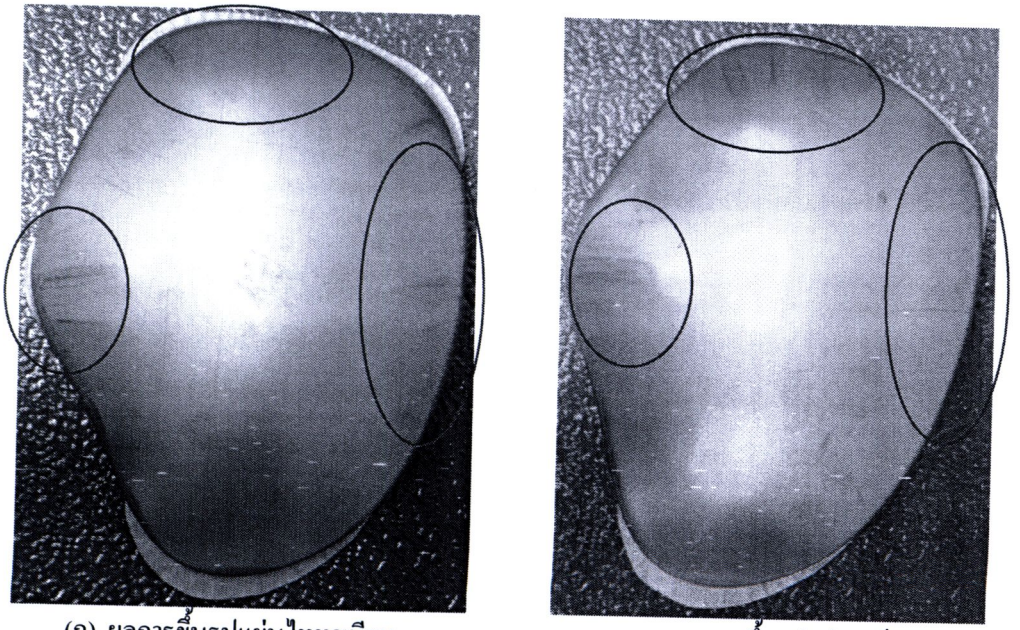
จากภาพที่ 4.29 เมื่อทำการขึ้นรูปที่ความดันในการจับยึดใด ๆ ผลของการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมที่เป็นแผ่นตาข่ายนั้นมีลักษณะเหมือนเดิมคือการฉีกขาดในลักษณะเหมือนการเปราะดังของชิ้นงาน ดังแสดงในภาพ

<u>การวิเคราะห์และการเปรียบเทียบผลการขึ้นรูปแผ่นเหล็กที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่าย</u>

การวิเคราะห์และการเปรียบเทียบผลการขึ้นรูป ความดันในการจับยึดที่เหมาะสมที่ไม่ทำให้ชิ้นงานไม่เกิดการฉีกขาดอยู่ที่ 7 บาร์ การฉีกขาดของชิ้นงานที่ความดันในการจับยึดชิ้นงานที่ 8 และ 9 บาร์ และในการขึ้นรูปครั้งนี้ไม่สามารถทำการขึ้นรูปที่ความดันน้อยกว่า 7 บาร์ ได้เนื่องจากเกิดรอยย่นที่ผนังของชิ้นงานและรอยย่นที่เกิดขึ้นไปเบียดอัดกับช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ทำให้การนำเอาชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ทำได้ยาก เมื่อพิจารณาการเกิดรอยย่นที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน การเกิดรอยย่นจะเกิดขึ้นปีกชิ้นงานและผนังของชิ้นงานโดยรอบ บริเวณที่สำคัญของการศึกษานี้คือบริเวณผิวส่วนบน การเกิดรอยย่นจะเกิดใกล้กับผนังของชิ้นงานและเป็นบริเวณที่มีความโค้งนูนของผิวชิ้นงาน ลักษณะการเกิดที่ส่วนบนของชิ้นงานจะมีลักษณะเป็นแนวตรงเข้าหาส่วนบนสุดของชิ้นงาน เมื่อเพิ่มความดันในการจับยึดชิ้นงานการเกิดรอยย่นที่ผิวบนของชิ้นงานแคบลงแต่ชิ้นงานเกิดการฉีกขาด ในส่วนของแผ่นไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นตาข่ายนั้นไม่สามารถผลมาวิเคราะห์และทำการเปรียบเทียบได้ เนื่องจากเมื่อทำการขึ้นรูปที่ความดันในการจับยึดใด ๆ ผลของการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมที่เป็นแผ่นตาข่ายนั้นมีลักษณะเหมือนเดิมคือการฉีกขาดในลักษณะเหมือนการเปราะดังของชิ้นงาน

4.3.3 การวิเคราะห์และการเปรียบเทียบผลการขึ้นรูปของแผ่นเหล็กและแผ่นไททาเนียม

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการขึ้นรูประหว่างแผ่นเหล็กและแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบ ผลที่ได้คือลักษณะการเกิดและตำแหน่งของรอยย่นเหมือนกันดังแสดงในภาพที่ 4.30



(ก) ผลการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียม (ข) ผลการขึ้นรูปแผ่นเหล็ก

ภาพที่ 4.30 การเปรียบเทียบตำแหน่งของการเกิดรอยย่นที่ผิวของชิ้นงานระหว่างแผ่นไททาเนียมและเหล็กที่เป็นแบบแผ่นเรียบ

จากภาพที่ 4.30 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งและลักษณะของการเกิดรอยย่นของชิ้นงานที่ไม่สมมาตรของการศึกษานี้มีลักษณะที่เหมือนกัน

4.4 สรุป

การสร้างแม่พิมพ์และการทดสอบกระบวนการดึงขึ้นรูปลึก โดยลักษณะการทำงานแม่พิมพ์เป็นแบบแม่พิมพ์เดี่ยวแบบสองจังหวะ และโครงสร้างของแม่พิมพ์เป็นแม่พิมพ์แบบกลับทาง ดังนั้นในการออกแบบและการสร้างแม่พิมพ์ต้องให้เหมาะสมกับเครื่องปั๊มที่ใช้ในการทดสอบจริง รวมไปถึงการเลือกชนิดของวัสดุทำแม่พิมพ์ดึงขึ้นรูปลึกต้องมีความเหมาะสมในการศึกษานี้ได้ใช้เหล็กกล้า งานเย็นเกรด JIS-SKD11 และทำการชุบเพื่อให้มีคุณสมบัติทนต่อการสึกหรอและการเสียดสี ในส่วนของการติดตั้งนั้นต้องให้มีความถูกต้องในเรื่องของการวางตำแหน่งของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นต้องให้อยู่ในแนวเดียวกันเพื่อป้องกันการชนกันของแม่พิมพ์จากเงื่อนไขของการออกแบบแม่พิมพ์และการขึ้นรูปชิ้นงานที่ไม่สมมาตรของการศึกษานี้ ผลการขึ้นรูปคือแรงดันในการจับยึดชิ้นงานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบอยู่ที่ 7 บาร์ โดยชิ้นงานไม่เกิดการฉีกขาดและจากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มแรงดันในการจับยึดรอยย่นที่เกิดจะแคบลงแต่ทำให้

ชิ้นงานเกิดการฉีกขาด ในกรณีการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นตาข่ายนั้นในการศึกษานี้ไม่สามารถนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ได้เนื่องจากในขั้นตอนของการสร้างแผ่นตาข่ายได้ใช้วิธีการเจาะด้วยสว่านทำให้เกิดความร้อนแก่แผ่นไททาเนียมและอาจทำให้คุณสมบัติทางกลของแผ่นไททาเนียมเปลี่ยนไป และรูที่เจาะนั้นไม่มีความสม่ำเสมอทำให้ไม่สามารถทำการขึ้นรูปได้ อย่างไรก็ตามทางผู้วิจัยได้ทำการขึ้นรูปแผ่นเหล็กแบบแผ่นเรียบและแผ่นตาข่ายควบคู่ไปด้วยทำให้ทราบว่า ผลที่เกิดขึ้นของการขึ้นรูปแผ่นเหล็กแบบแผ่นเรียบและแผ่นตาข่ายเมื่อนำมาเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่า บริเวณที่เกิดรอยย่นของแผ่นเรียบนั้นจะไม่เกิดกับแผ่นตาข่ายแต่ลักษณะของรูตาข่ายมีการเปลี่ยนแปลงกล่าวคือ ลักษณะของรูที่เป็นวงกลมจะกลายเป็นวงรีแทน และผลของการขึ้นรูปแผ่นเหล็กแบบแผ่นเรียบนั้นลักษณะและตำแหน่งของการเกิดรอยย่นมีลักษณะเหมือนกันกับกรณีของการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียม

ดังนั้นอิทธิผลที่มีผลต่อการเกิดรอยย่นและการฉีกขาดของชิ้นงานในกระบวนการดึงขึ้นรูปลึกของชิ้นงานที่ไม่สมมาตรของการศึกษานี้อธิบายได้ดังนี้

1) อิทธิผลที่เกิดจากแรงในการจับยึดชิ้นงาน แรงในการจับยึดชิ้นงานจะมีผลอย่างมากต่อการเกิดรอยย่นที่บริเวณปีกและผนังของชิ้นงาน แรงในการจับยึดที่น้อยจะทำให้เกิดรอยย่นที่ปีกและผนังมากและเมื่อเพิ่มแรงในการจับยึดให้สูงขึ้นรอยย่นที่เกิดขึ้นก็จะน้อยลงแต่ถ้าแรงในการจับยึดมากเกินไปชิ้นงานจะเกิดการฉีกขาดได้

2) อิทธิผลที่เกิดจากลักษณะของชิ้นงานต้นแบบและลักษณะของแผ่นชิ้นงานเปล่าที่ทำการขึ้นรูป จากผลการทดสอบขึ้นรูปจริงจะเห็นได้ว่าลักษณะที่โค้งนูนในส่วนบนและโค้งเว้าในขอบด้านข้างของชิ้นงานเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดรอยย่นถึงแม่ว่าจะมีการเพิ่มแรงในการจับยึดชิ้นงานจนกระทั่งชิ้นงานฉีกขาดก็ตามชิ้นงานก็ยังคงเกิดรอยย่น และเมื่อเปลี่ยนลักษณะของแผ่นชิ้นงานเปล่าให้เป็นลักษณะแบบตาข่ายผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่เกิดรอยย่นบนชิ้นงานที่เป็นแบบแผ่นเรียบจะไม่เกิดกับชิ้นงานที่เป็นแบบแผ่นตาข่ายแต่ลักษณะของรูตาข่ายจะมีการเปลี่ยนแปลงจากลักษณะที่เป็นวงกลมจะกลายเป็นวงรีแทน