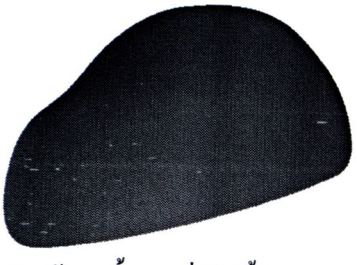
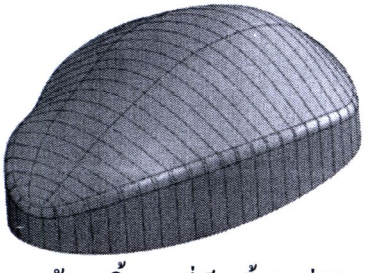
บทที่ 5
การเปรียบเทียบชิ้นงานต้นแบบ แม่พิมพ์และผลการขึ้นรูป

จากผลการศึกษาที่ผ่านมาในบทที่ 3 และ 4 เป็นขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์ของกระบวนการดึงขึ้นรูปลึกจากชิ้นงานต้นแบบ นำแม่พิมพ์ที่ได้เข้าสู่กระบวนการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดสอบขึ้นรูปจริงของแผ่นไททาเนียม และเพื่อเป็นการวัดประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการศึกษานี้ จึงมีการเปรียบเทียบชิ้นงาน โดยประกอบไปด้วย การเปรียบเทียบชิ้นงานต้นแบบกับรูปแบบของแม่พิมพ์ การเปรียบเทียบชิ้นงานที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับแม่พิมพ์ การเปรียบเทียบชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบขึ้นรูปจริงกับแม่พิมพ์ และการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบขึ้นรูปจริง ในการวัดประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการศึกษานี้จะเป็นเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างของชิ้นงาน โดยการเปรียบเทียบด้วยการเปรียบเทียบพื้นผิวแบบ 3 มิติ (3D Compare) คือเป็นลักษณะของการเปรียบเทียบโดยใช้พื้นผิวของชิ้นงานวางซ้อนทับกันเพื่อหาความแตกต่างของระยะห่างบนผิวชิ้นงาน โดยใช้โปรแกรม GEOMAGIC V.10 เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการเปรียบเทียบ ลักษณะของชิ้นงานต่าง ๆ ที่นำมาเปรียบเทียบแสดงในภาพที่ 5.1

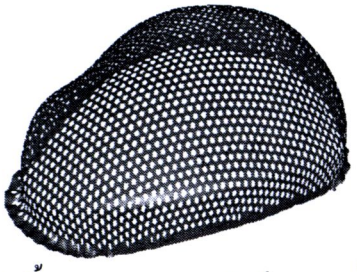


(ก) ข้อมูลชิ้นงานที่เป็นพื้นผิว

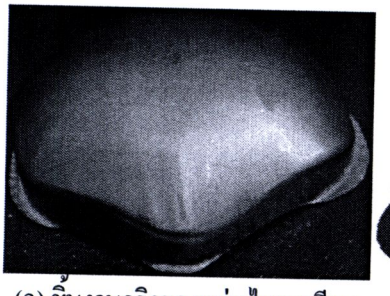


(ข) ข้อมูลชิ้นงานที่เป็นพื้นผิวที่ใช้ในการออกแบบ

(ค) ชิ้นงานแบบแผ่นเรียบที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์



(ง) ชิ้นงานแบบแผนตาข่ายที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์



(จ) ชิ้นงานจริงของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบ

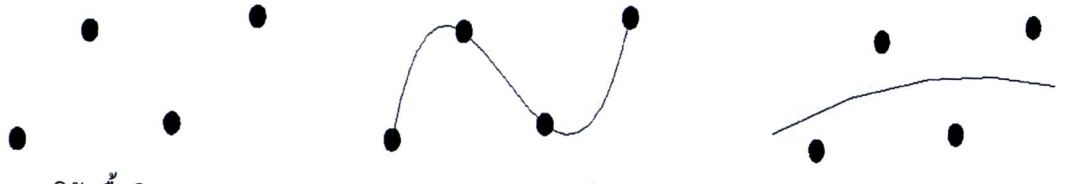
(ฉ) ชิ้นงานที่ได้จากการสแกนพื้นผิว 3 มิติ (3D Scan)

ภาพที่ 5.1 ลักษณะของชิ้นงานต่าง ๆ ที่นำมาเปรียบเทียบ

ในการศึกษานี้จะเปรียบเทียบและพิจารณาเฉพาะส่วนบนของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการ เนื่องจากขั้นตอนการทำงานเพื่อให้ได้ชิ้นงานตามที่ต้องการนั้น เมื่อได้ชิ้นงานจากกระบวนการดึงขึ้นรูปลึกแล้วจากนั้นนำชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการตัดอีกครั้ง การศึกษานี้เป็นการศึกษากระบวนการดึงขึ้นรูปลึกเท่านั้นไม่ได้รวมถึงกระบวนการตัด ดังนั้นการเปรียบเทียบของการศึกษานี้จะเปรียบเทียบในส่วนบนของชิ้นงานเท่านั้น รายละเอียดของการเปรียบเทียบและผลที่ได้ผลเป็นดังต่อไปนี้

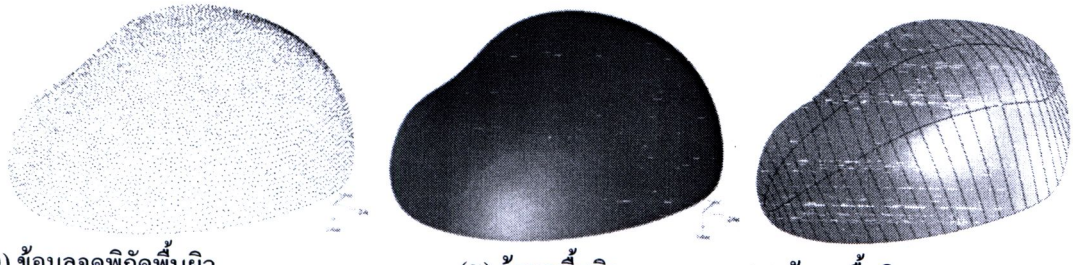
5.1 การเปรียบเทียบชิ้นงานต้นแบบกับแม่พิมพ์

จากชิ้นงานต้นแบบที่ได้ในเบื้องต้นข้อมูลอยู่ในรูปของจุดพิกัดพื้นผิว จากนั้นนำมาสร้างพื้นผิวให้กับชิ้นงานให้อยู่ในรูปข้อมูลพื้นผิวโดยการสร้างเส้นจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งบนชิ้นงานให้เชื่อมต่อกันทั้งหมด เรียกวิธีนี้ว่า อินเตอร์โพเลชัน (Interpolation) ลักษณะการสร้างเส้นแสดงในภาพที่ 5.2 (ข) จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างพื้นผิวแล้วทำให้อยู่ในรูปของข้อมูลพื้นผิวการออกแบบการสร้างพื้นผิวสามารถทำโดยการสร้างเส้นเฉลี่ยระหว่างจุดของชิ้นงาน เรียกวิธีนี้ว่า แอพโพลซิเมชัน (Approximation) ลักษณะการสร้างแสดงในภาพที่ 5.2 (ค) จากข้อมูลพื้นผิวและข้อมูลพื้นผิวการออกแบบนำไปเปรียบเทียบเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของชิ้นงาน (ข้อมูลพื้นผิวการออกแบบจะใช้พื้นผิวของพันช์เป็นตัวเปรียบเทียบแทน เพราะพื้นผิวของพันช์จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของชิ้นส่วนอื่น ๆ ของแม่พิมพ์) ภาพที่ 5.3 แสดงลักษณะของข้อมูลพื้นผิวของชิ้นงานที่อยู่ในรูปของ จุดพิกัดพื้นผิว ข้อมูลพื้นผิว และพื้นผิวการออกแบบ



(ก) จุดพิกัดพื้นผิวในภาพตัดขวาง (ข) ลักษณะการสร้างพื้นผิวด้วยวิธี Interpolation ในภาพตัดขวาง (ค) ลักษณะการสร้างพื้นผิวด้วยวิธี Approximation ในภาพตัดขวาง

ภาพที่ 5.2 ลักษณะการสร้างข้อมูลพื้นผิวของชิ้นงาน



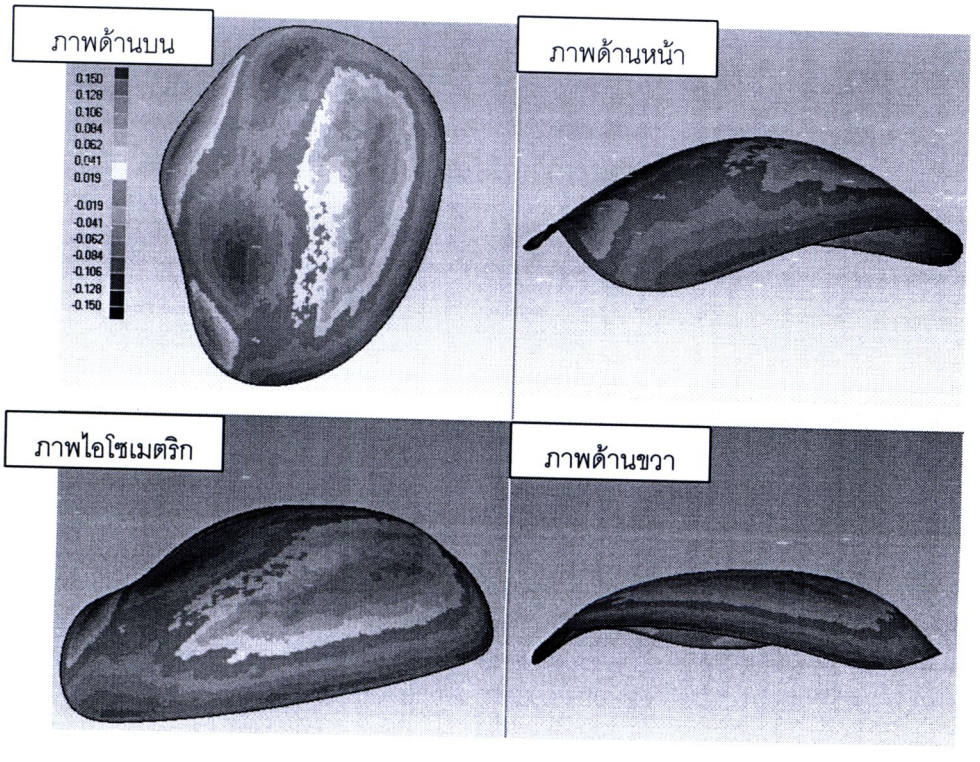
(ก) ข้อมูลจุดพิกัดพื้นผิว (ข) ข้อมูลพื้นผิว (ค) ข้อมูลพื้นผิวการออกแบบ

ภาพที่ 5.3 ลักษณะรูปร่างของข้อมูลพื้นผิวชิ้นงานในรูปแบบต่าง ๆ

ขั้นตอนในเปรียบเทียบในการศึกษานี้ได้ใช้โปรแกรม GEOMAGIC V.10 โดยพิจารณาถึงความแตกต่างของขนาดรูปร่างและลักษณะของชิ้นงานต้นแบบกับแม่พิมพ์ คำสั่งที่ใช้ในโปรแกรมคือ คำสั่ง Best fit alignment ในการเปรียบเทียบเป็นการนำพื้นผิวของชิ้นงานมาว่างทับกันเพื่อให้ทราบว่าชิ้นงานทั้งสองมีระยะห่างกันเพียงใด โดยกำหนดเงื่อนไขและขั้นตอนในการซ้อนทับดังนี้

1) กำหนดตัวแทนของตำแหน่งบนผิวชิ้นงานในการเปรียบเทียบ 1500 ตำแหน่ง
2) กำหนดค่าคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.01 มิลลิเมตร
3) ใช้คำสั่ง การเปรียบเทียบพื้นผิวแบบ 3 มิติ
4) กำหนดชิ้นงานเริ่มต้นเป็นชิ้นงานอ้างอิง

ผลจากการเปรียบเทียบชิ้นงานด้วยคำสั่ง การเปรียบเทียบพื้นผิวแบบ 3 มิติ แสดงในภาพที่ 5.4



ภาพที่ 5.4 ผลการเปรียบเทียบพื้นผิวแบบ 3 มิติ ระหว่างชิ้นงานต้นแบบกับแม่พิมพ์ในมุมมองที่ 3 (Third angle)

จากภาพที่ 5.4 เป็นผลของการเปรียบเทียบพื้นผิวของชิ้นงานต้นแบบกับแม่พิมพ์ โดยใช้ชิ้นงานต้นแบบเป็นชิ้นงานอ้างอิงเนื่องจากเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการสร้างแม่พิมพ์ การแสดงผลนั้นจะแสดงอยู่ในรูปของระดับสี โดยที่แต่ละช่วงสีจะเป็นตัวกำหนดช่วงของระยะห่างชิ้นงานต้นแบบกับแม่พิมพ์ ผลการเปรียบเทียบที่ได้แสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลของการเปรียบเทียบพื้นผิวของชิ้นงานต้นแบบกับพื้นผิวของแม่พิมพ์

ผลการเปรียบเทียบ	ระยะห่าง
ระยะห่างสูงสุด (Maximum Distant Positive)	0.147 มิลลิเมตร
ระยะห่างต่ำสุด (Maximum Distant Negative)	-0.107 มิลลิเมตร
ค่าเฉลี่ยของระยะห่างทั้งหมด (Average Distant)	-0.001 มิลลิเมตร
ค่าเฉลี่ยของระยะห่างสูงสุด (Average Distant Positive)	0.044 มิลลิเมตร
ค่าเฉลี่ยของระยะห่างต่ำสุด (Average Distant Negative)	-0.039 มิลลิเมตร

ลักษณะรูปร่างของแม่พิมพ์มีระยะห่างจากชิ้นงานต้นแบบสูงสุด 0.147 มิลลิเมตร ระยะต่ำสุด 0.107 มิลลิเมตร และค่าเฉลี่ยของระยะห่าง 0.001 มิลลิเมตร (ค่าที่เป็นลบแสดงว่าเป็นระยะที่ต่ำกว่าชิ้นงานต้นแบบ)

5.2 การเปรียบเทียบแม่พิมพ์กับชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง

การเปรียบเทียบแม่พิมพ์กับชิ้นงานจากการทดลองทั้งจากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์และจากการทดสอบขึ้นรูปชิ้นงานจริงเพื่อให้ทราบถึงผลที่เกิดขึ้นของชิ้นงานในส่วนของขนาดและลักษณะรูปร่างของชิ้นงาน จากผลการเปรียบเทียบชิ้นงานต้นแบบกับแม่พิมพ์ ผลที่ได้มีระยะห่างเฉลี่ยทั้งหมด -0.001 มิลลิเมตร ในการศึกษานี้จึงใช้ลักษณะพื้นผิวของแม่พิมพ์เป็นชิ้นงานอ้างอิงในการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูปและจากการทดสอบขึ้นรูปจริง และแม่พิมพ์ยังมีผลโดยตรงต่อลักษณะรูปร่างของชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป ผลการเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างเป็นดังต่อไปนี้

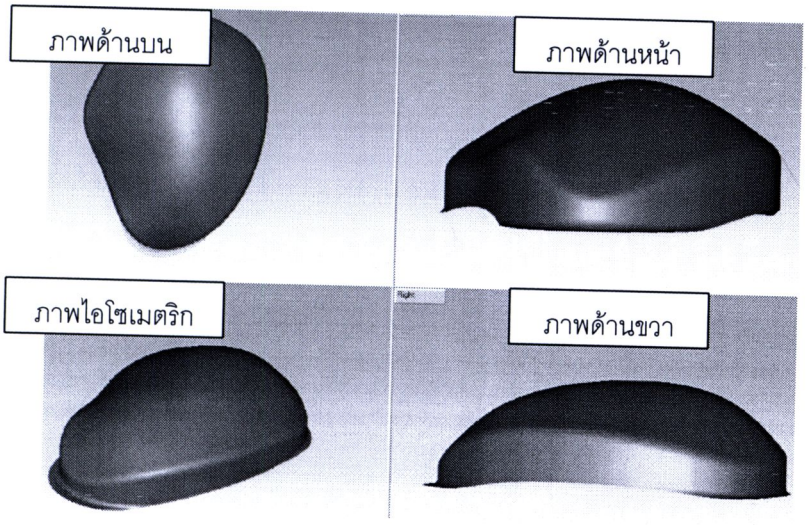
5.2.1 การเปรียบเทียบขนาดของแม่พิมพ์กับชิ้นงานที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

จากผลการจำลองกระบวนการดึงขึ้นรูปลึกของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบและแผ่นตาข่ายในบทที่ 3 ในการศึกษานี้จึงได้นำผลดังกล่าวมาเปรียบเทียบโดยใช้ผลการขึ้นรูปที่ความดันในการจับยึดสูงสุดที่ไม่ทำให้ชิ้นงานฉีกขาด ชิ้นงานที่นำมาเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.2

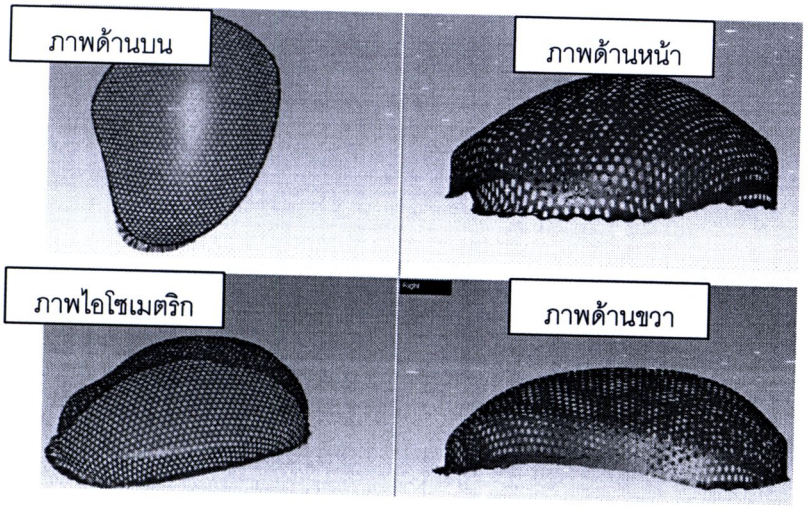
ตารางที่ 5.2 ชิ้นงานจากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ที่นำมาเปรียบเทียบ

แผ่นไททาเนียม	ความเร็วในการขึ้นรูป	ความดันในการจับยึดชิ้นงาน
แบบแผ่นเรียบ	50, 100 และ 150 มิลลิเมตรต่อวินาที	12 บาร์
แบบแผ่นตาข่าย		3 บาร์

ลักษณะของชิ้นงานที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบและแผ่นตาข่ายแสดงในภาพที่ 5.5 และ 5.6 ตามลำดับ



ภาพที่ 5.5 พื้นผิวที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูปของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบในมุมมองที่ 3

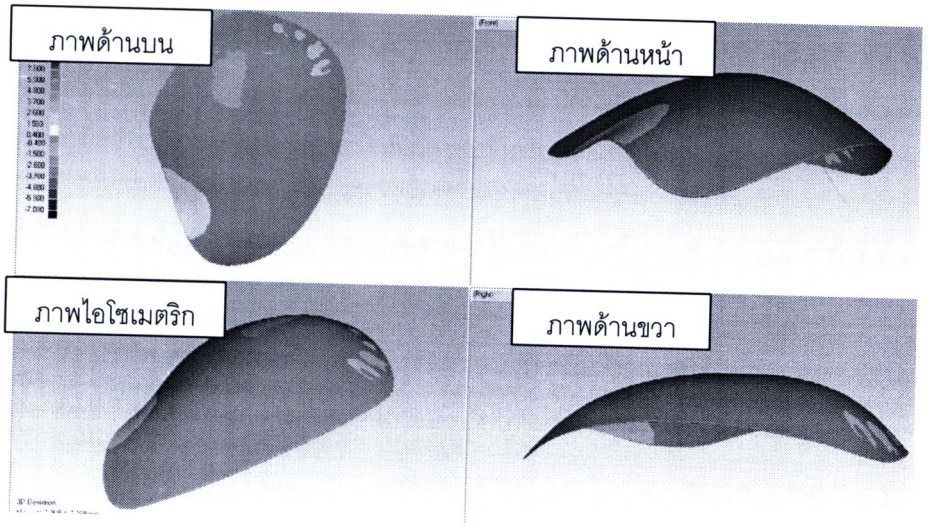


ภาพที่ 5.6 พื้นผิวที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูปของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบในมุมมองที่ 3

นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับแม่พิมพ์ โดยใช้โปรแกรม GEOMAGIC V.10 ใช้คำสั่ง Best fit alignment ในการเปรียบเทียบ คือเป็นการนำพื้นผิวของชิ้นงานมาว่างทับกันโดยกำหนดเงื่อนไขและขั้นตอนดังนี้

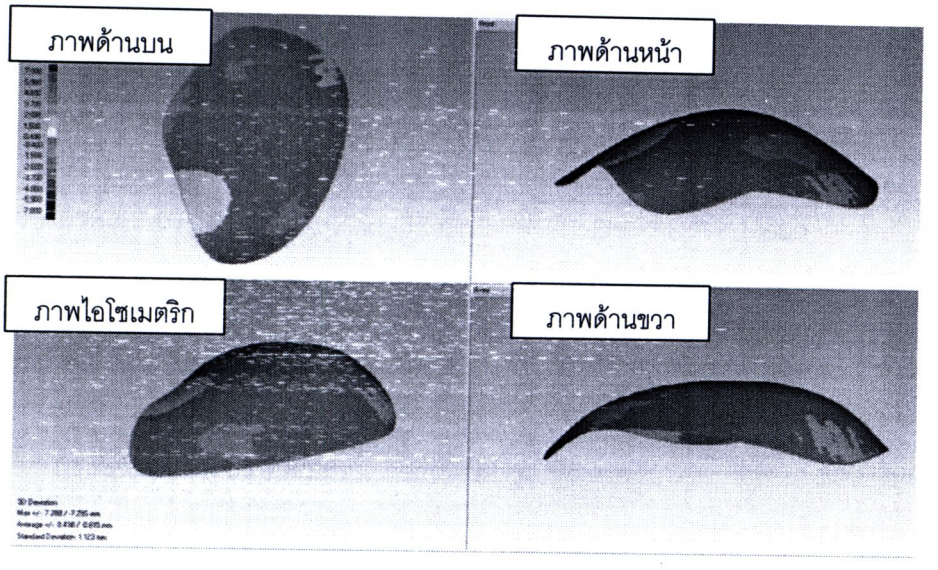
1) กำหนดตัวแทนของตำแหน่งบนผิวชิ้นงานในการเปรียบเทียบ 1500 ตำแหน่ง
2) กำหนดค่าคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.01 มิลลิเมตร
3) ใช้คำสั่ง การเปรียบเทียบพื้นผิวแบบ 3 มิติ
4) กำหนดชิ้นงานเริ่มต้นเป็นชิ้นงานอ้างอิง

ผลจากการเปรียบเทียบชิ้นงานด้วยคำสั่งการเปรียบเทียบพื้นผิวแบบ 3 มิติ ของชิ้นงานที่เป็นแผ่นเรียบแสดงในภาพที่ 5.7



ภาพที่ 5.7 ผลการเปรียบเทียบพื้นผิวแบบ 3 มิติ ระหว่างแม่พิมพ์กับผลการจำลองการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูป 50 มิลลิเมตรต่อวินาที และความดันในการจับยึด 12 บาร์ ในมุมมองที่ 3

ผลจากการเปรียบเทียบชิ้นงานด้วยคำสั่งการเปรียบเทียบพื้นผิวแบบ 3 มิติ ของชิ้นงานที่เป็นแผ่นตาข่ายแสดงในภาพที่ 5.8



ภาพที่ 5.8 ผลการเปรียบเทียบพื้นผิวแบบ 3 มิติ และระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์กับผลการจำลองการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นตาข่ายที่ความเร็วในการขึ้นรูป 50 มิลลิเมตรต่อวินาที และความดันในการจับยึด 3 บาร์ ในมุมมองที่ 3

จากภาพที่ 5.7 และ 5.8 เป็นผลของการเปรียบเทียบแม่พิมพ์กับชิ้นงานที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูป 50 มิลลิเมตรต่อวินาที ความดันในการจับยึด 12 บาร์ และแผ่นตาข่ายที่ความเร็วในการขึ้นรูป 50 มิลลิเมตรต่อวินาที ความดันในการจับยึด 3 บาร์ ตามลำดับ ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบที่ความเร็วในการขึ้นรูปต่าง ๆ ได้แสดงในตารางที่ 5.3 เป็นผลของการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบ และในตารางที่ 5.4 เป็นผลของการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นตาข่าย

ตารางที่ 5.3 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์กับผลการจำลองการขึ้นรูปของแผ่นไททาเนียม แบบแผ่นเรียบ

ความเร็วในการขึ้นรูป (มิลลิเมตรต่อวินาที)	50	100	150
ความดันในการจับยึดชิ้นงาน (บาร์)	12		
ระยะห่างสูงสุด (มิลลิเมตร)	7.268	7.236	7.193
ระยะห่างต่ำสุด (มิลลิเมตร)	-7.298	-7.298	-7.197
ค่าเฉลี่ยของระยะห่างทั้งหมด (มิลลิเมตร)	-0.291	-0.273	-0.270
ค่าเฉลี่ยของระยะห่างสูงสุด (มิลลิเมตร)	0.357	0.424	0.428
ค่าเฉลี่ยของระยะห่างต่ำสุด (มิลลิเมตร)	-0.696	-0.688	-0.681

ตารางที่ 5.4 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์กับผลการจำลองการขึ้นรูปของแผ่นไททาเนียม แบบแผ่นตาข่าย

ความเร็วในการขึ้นรูป (มิลลิเมตรต่อวินาที)	50	100	150
ความดันในการจับยึดชิ้นงาน (บาร์)	12		
ระยะห่างสูงสุด (มิลลิเมตร)	7.288	7.267	7.266
ระยะห่างต่ำสุด (มิลลิเมตร)	-7.295	-7.300	-7.297
ค่าเฉลี่ยของระยะห่างทั้งหมด (มิลลิเมตร)	-0.210	-0.204	-0.229
ค่าเฉลี่ยของระยะห่างสูงสุด (มิลลิเมตร)	0.438	0.337	0.409
ค่าเฉลี่ยของระยะห่างต่ำสุด (มิลลิเมตร)	-0.615	-0.616	-0.629

การวิเคราะห์ผล

จากผลที่ได้โดยใช้แม่พิมพ์เป็นชิ้นงานอ้างอิงในการเปรียบเทียบ จะเห็นได้ว่าลักษณะรูปร่างของชิ้นงานที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์มีลักษณะเหมือนกับแม่พิมพ์ และเมื่อพิจารณาที่ระยะห่างของชิ้นงานหลังจากนำชิ้นงานมาวางทับกับแม่พิมพ์ จะเห็นได้ว่าที่ระยะห่างสูงสุดและต่ำสุดของชิ้นงานจะอยู่ที่บริเวณ

ขอบของชิ้นงานโดยมีระยะห่างประมาณ ± 0.7 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากตัวโปรแกรม แต่เมื่อพิจารณาจากช่วงของระดับสีจะเห็นได้บริเวณส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงสีในระดับเดียวกันโดยมีระยะห่างประมาณ ± 0.15 มิลลิเมตร และค่าเฉลี่ยของระยะห่างทั้งหมดประมาณ -0.2 มิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่าชิ้นงานโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าแม่พิมพ์ (แม่พิมพ์เป็นชิ้นงานอ้างอิง) และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วในการขึ้นรูปจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันของขนาดและรูปร่างลักษณะของชิ้นงานน้อยมากทั้งในกรณีของชิ้นงานที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแผ่นตาข่าย

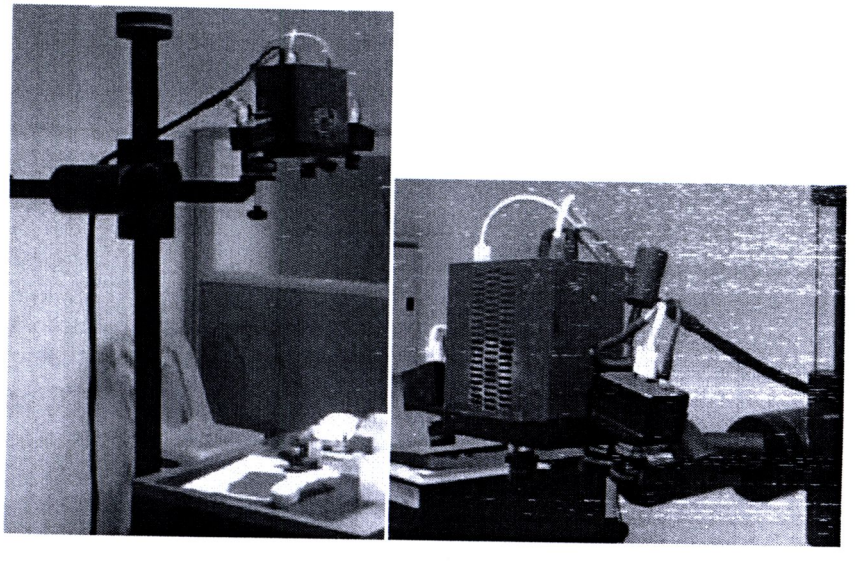
5.2.2 การเปรียบขนาดของแม่พิมพ์กับชิ้นงานจริง

จากผลการทดสอบการขึ้นรูปจริงของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบในบทที่ 4 ทำการสร้างพื้นผิวให้กับชิ้นงานเพื่อนำมาทำการเปรียบเทียบกับแม่พิมพ์ ผลการทดสอบการขึ้นรูปจริงที่นำมาสร้างพื้นผิวแสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าของความเร็วในการขึ้นรูปและความดันในการจับยึดชิ้นงานที่จะนำมาเปรียบเทียบ

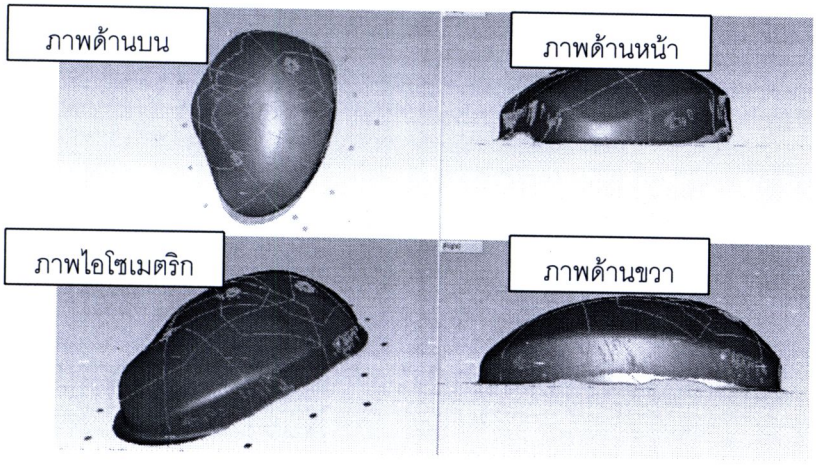
ความเร็วในการขึ้นรูป	7 มิลลิเมตรต่อวินาที		
ไททาเนียมแบบแผ่นเรียบ	ความดันในการจับยึด 7 บาร์	ความดันในการจับยึด 8 บาร์	ความดันในการจับยึด 9 บาร์

จากชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบการขึ้นรูปจริงของกระบวนการดึงขึ้นรูปลึก นำมาสร้างเป็นข้อมูลพื้นผิวของชิ้นงาน ในการสร้างพื้นผิวชิ้นงานสร้างโดยใช้เครื่องสแกนพื้นผิว 3 มิติ ดังแสดงในภาพที่ 5.9

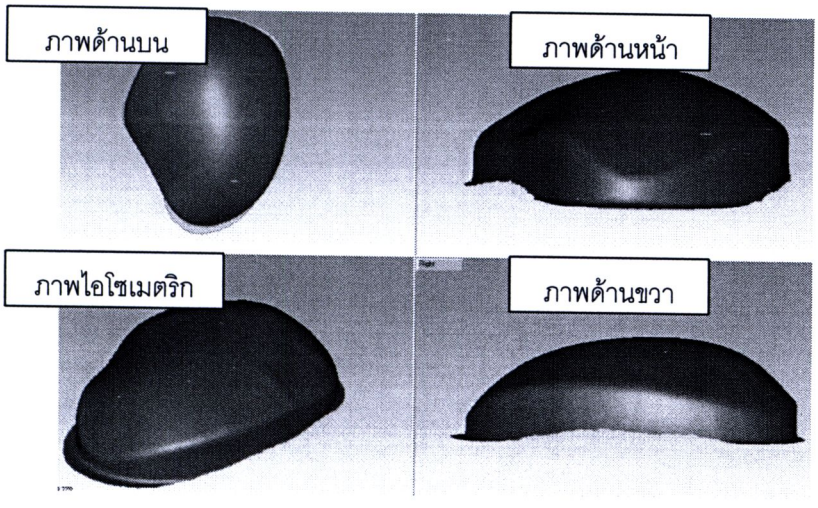


ภาพที่ 5.9 ลักษณะของเครื่องสแกนพื้นผิว 3 มิติ ที่ใช้ในการสร้างพื้นผิวชิ้นงาน

โดยลักษณะการทำงานของเครื่องเป็นการถ่ายภาพด้วยกล้อง 3 ตัว นำภาพที่ได้ไปประมวนผลด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างพื้นผิวของชิ้นงาน ลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานที่ได้จะเป็นลักษณะพื้นผิวที่ซ้อนทับกัน ในการศึกษานี้ได้ใช้โปรแกรม GEOMAGIC V.10 ในการปรับปรุงพื้นผิวชิ้นงาน จากลักษณะพื้นผิวที่ซ้อนกันให้เป็นพื้นผิวเป็นชิ้นเดียวกัน ลักษณะของชิ้นงานที่ได้จากเครื่องสแกนพื้นผิว 3 มิติ และชิ้นงานที่ได้ปรับพื้นผิวแล้วแสดงในภาพที่ 5.10 และ 5.11 ตามลำดับ



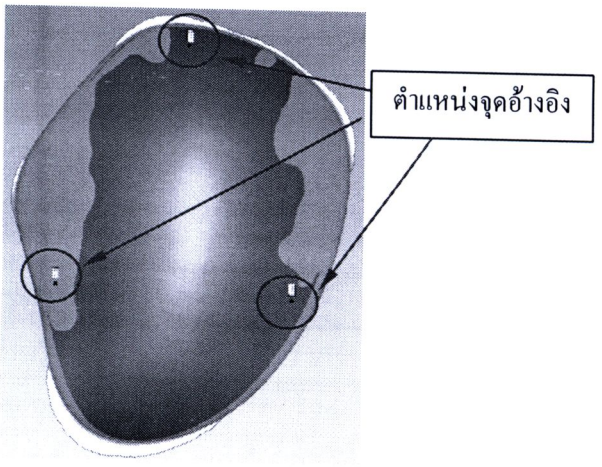
ภาพที่ 5.10 ลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานที่ได้จากเครื่องสแกนพื้นผิว 3 มิติ ในลักษณะมุมมองที่ 3



ภาพที่ 5.11 ลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานที่ได้ปรับปรุงพื้นผิวด้วยในลักษณะมุมมองที่ 3

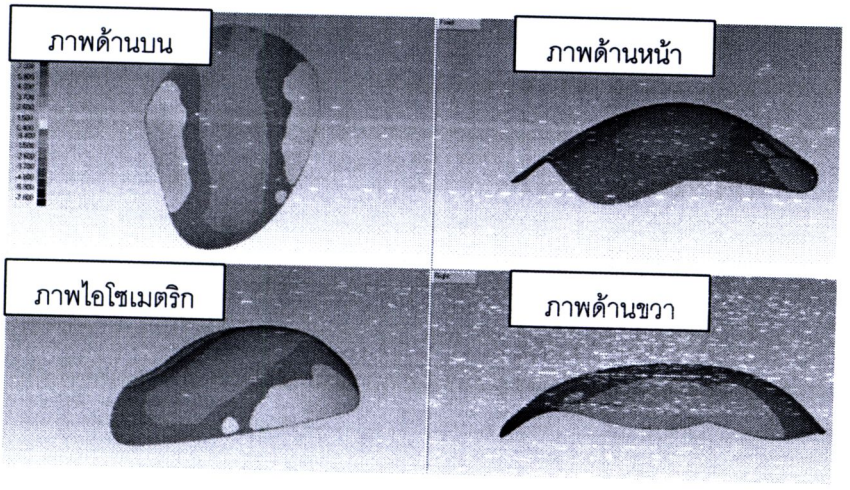
การเปรียบเทียบแม่พิมพ์กับชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบขึ้นรูปจริง โดยใช้โปรแกรม GEOMAGIC V.10 โดยใช้คำสั่ง Objects alignment คือเป็นการนำพื้นผิวของชิ้นงานมาว่างทับกันโดยกำหนดจุดหรือตำแหน่งอ้างอิงของผิวชิ้นงาน 3 จุด และโดยเป็นตำแหน่งที่ผิวชิ้นงานทั้งสองสัมผัสกัน และในการเปรียบเทียบนี้ไม่สามารถใช้คำสั่ง Best fit alignment ได้เนื่องจากมีความแตกต่างของขนาดและรูปร่างลักษณะ

ของชิ้นงานมากเกินไปจึงไม่สามารถกำหนดตัวแทนตำแหน่งในการเปรียบเทียบได้ ตำแหน่งของการกำหนดจุดอ้างอิง 3 จุดแสดงดังภาพที่ 5.12



ภาพที่ 5.12 จุดอ้างอิงของการซ้อนทับของแม่พิมพ์กับชิ้นงานที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูป

ผลจากการเปรียบเทียบชิ้นงานด้วยคำสั่งการเปรียบเทียบพื้นผิวแบบ 3 มิติ ของชิ้นงานที่เป็นแผ่นเรียบแสดงในภาพที่ 5.13



ภาพที่ 5.13 ผลการเปรียบเทียบพื้นผิวแบบ 3 มิติ ระหว่างแม่พิมพ์กับผลการจำลองการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูป 7 มิลลิเมตรต่อวินาที และความดันในการจับยึด 7 บาร์ ในมุมมองที่ 3

จากภาพที่ 5.13 เป็นการแสดงผลของการเปรียบเทียบแม่พิมพ์กับชิ้นงานที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบที่ความเร็วในการขึ้นรูปอยู่ที่ 7 มิลลิเมตรต่อวินาที ความดันในการจับยึด

อยู่ที่ 7 บาร์ โดยผลที่แสดงจะอยู่ในรูปของระดับสีโดยที่แต่ละช่วงสีจะเป็นตัวกำหนดช่วงของระยะห่างของแม่พิมพ์กับชิ้นงานโดยให้แม่พิมพ์เป็นชิ้นงานอ้างอิง ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบด้วยโปรแกรม GEOMAGIC V.10 ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 5.6 เป็นผลของการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูปไททาเนียมแบบแผ่นเรียบ

ตารางที่ 5.6 ผลการเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์กับผลการขึ้นรูปจริงของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบ

ความเร็วในการขึ้นรูป	7 มิลลิเมตรต่อวินาที		
ความดันในการจับยึดชิ้นงาน	7 บาร์	8 บาร์	9 บาร์
ระยะห่างสูงสุด (มิลลิเมตร)	7.26	7.295	6.340
ระยะห่างต่ำสุดสุด (มิลลิเมตร)	-7.299	-7.299	-6.408
ค่าเฉลี่ยของระยะห่างทั้งหมด (มิลลิเมตร)	-0.262	-0.022	-0.006
ค่าเฉลี่ยของระยะห่างสูงสุด (มิลลิเมตร)	0.742	0.721	0.912
ค่าเฉลี่ยของระยะห่างต่ำสุด (มิลลิเมตร)	-0.961	-0.968	-1.024

การวิเคราะห์ผล

จากผลที่ได้โดยใช้แม่พิมพ์เป็นชิ้นงานอ้างอิงในการเปรียบเทียบ จะเห็นได้ว่าลักษณะรูปร่างของชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปจริงมีลักษณะเหมือนกับแม่พิมพ์ และเมื่อพิจารณาที่ระยะห่างของชิ้นงานหลังจากนำชิ้นงานมาวางทับกับแม่พิมพ์ จะเห็นได้ว่าที่ระยะห่างสูงสุดและต่ำสุดของชิ้นงานจะอยู่ที่บริเวณขอบของชิ้นงานโดยมีระยะห่างประมาณ ± 0.7 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากตัวโปรแกรม แต่เมื่อพิจารณาจากช่วงของระดับสีจะเห็นได้บริเวณส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงสีในระดับเดียวกันโดยมีระยะห่างประมาณ ± 0.15 มิลลิเมตร และค่าเฉลี่ยของระยะห่างทั้งหมดที่ความดันในการจับยึดชิ้นงาน 7 บาร์ประมาณ -0.2 มิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่าผิวของชิ้นงานโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าแม่พิมพ์ (แม่พิมพ์เป็นชิ้นงานอ้างอิง) และความดันในการจับยึดชิ้นงาน 8 และ 9 บาร์ เป็นความดันที่ทำให้ชิ้นงานมีการฉีกขาดค่าเฉลี่ยของระยะห่างทั้งหมดอยู่ที่ -0.022 และ -0.006 มิลลิเมตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มแรงในการจับยึดชิ้นงานให้สูงขึ้นนั้นอาจส่งผลให้ชิ้นงานมีความใกล้เคียงกับแม่พิมพ์

5.3 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดสอบขึ้นรูปจริง

การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดสอบขึ้นรูปจริง ในการศึกษานี้จะพิจารณาใน 2 ประเด็นคือ 1) การเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างของชิ้นงานทั้งสองโดยใช้ลักษณะรูปร่างของแม่พิมพ์เป็นตัวอ้างอิง 2) พิจารณาตำแหน่งของการเกิดรอยย่นและการฉีกขาด โดยในการทดสอบการขึ้นรูปจริงนั้นความเร็วของการขึ้นรูปของเครื่องปั๊มอยู่ที่ 7 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังนั้นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลอง

ทางไฟไนต์เอลิเมนต์จึงใช้ความเร็วในการขึ้นรูปอยู่ที่ 50 มิลลิเมตรต่อวินาที (ความสามารถในการประมวลผลจำกัดความเร็วในการขึ้นรูปอยู่ที่ 50 มิลลิเมตรต่อวินาที) เพราะเป็นความเร็วที่ใกล้กับการขึ้นรูปจริงมากที่สุด

5.3.1 การเปรียบเทียบชิ้นงานจากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดสอบขึ้นรูปจริง

จากผลการเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างของชิ้นงานที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดสอบขึ้นรูปจริงในหัวข้อที่ผ่านมา โดยในการเปรียบเทียบใช้ลักษณะรูปร่างของแม่พิมพ์เป็นชิ้นงานอ้างอิง ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบได้แสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ผลการเปรียบเทียบชิ้นงานจากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดสอบขึ้นรูปจริง

ชิ้นงาน	ผลการจำลองแบบแผ่นเรียบ	ผลการจำลองแบบแผ่นตาข่าย	ผลการขึ้นรูปจริงแบบแผ่นเรียบ
ความเร็วในการขึ้นรูป	50 มิลลิเมตรต่อวินาที		7 มิลลิเมตรต่อวินาที
ความดันในการจับยึดชิ้นงาน	12 บาร์	3 บาร์	7 บาร์
ระยะห่างสูงสุด (มิลลิเมตร)	7.268	7.288	7.26
ระยะห่างต่ำสุดสุด (มิลลิเมตร)	-7.298	-7.295	-7.299
ค่าเฉลี่ยของระยะห่างทั้งหมด (มิลลิเมตร)	-0.291	-0.210	-0.262
ค่าเฉลี่ยของระยะห่างสูงสุด (มิลลิเมตร)	0.357	0.438	0.742
ค่าเฉลี่ยของระยะห่างต่ำสุด (มิลลิเมตร)	-0.696	-0.615	-0.961

<u>การวิเคราะห์ผล</u>

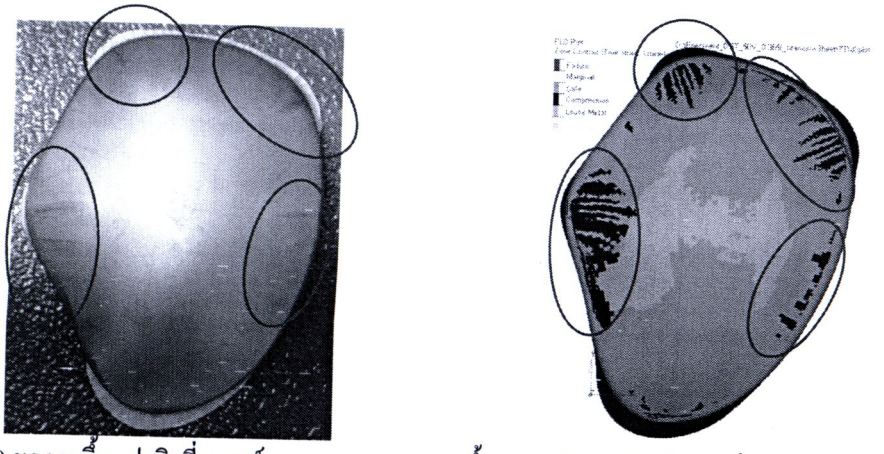
จากผลที่ได้จากการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 5.7 แสดงให้เห็นว่าผลการเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างของชิ้นงานที่เป็นแบบแผ่นเรียบที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดสอบขึ้นรูปจริงมีค่าใกล้เคียงกันโดยพิจารณาจาก ค่าเฉลี่ยของระยะห่างทั้งหมดของชิ้นงาน โดยชิ้นงานที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์มีระยะห่างจากลักษณะรูปร่างของแม่พิมพ์ -0.291 มิลลิเมตร (ต่ำกว่าลักษณะรูปร่างของแม่พิมพ์) และชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบขึ้นรูปจริงมีระยะห่างจากลักษณะรูปร่างของแม่พิมพ์ -0.210 มิลลิเมตร (ต่ำกว่าลักษณะรูปร่างของแม่พิมพ์) ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างของชิ้นงานที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์และชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบขึ้นรูปจริงมีระหว่างแตกต่างกัน -0.081 มิลลิเมตร และต่ำกว่าลักษณะรูปร่างของแม่พิมพ์ ในส่วนชิ้นงานที่เป็นแบบแผ่นตาข่ายนั้นไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบได้เนื่อง จากการทดสอบขึ้นรูปจริงของแผ่นตาข่ายไม่สามารถทำได้ดังได้กล่าวในบทที่ 4

5.3.2 การเปรียบเทียบผลของการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมแผ่นเรียบโดยพิจารณาการเกิดรอยย่นและการฉีกขาด

จากผลการจำลองการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแผ่นตาข่ายที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์ การพิจารณาการฉีกขาดจะพิจารณาจากการเกิดฉีกขาด และการเกิดรอยย่นจะพิจารณาจากการเกิดการอัด ที่ผิวของชิ้นงาน ดังนั้นจากผลการทดลองในบทที่ 3 ในการจำลองการขึ้นรูปของแผ่นไททาเนียม

แบบแผ่นเรียบ ที่ความเร็วในการขึ้นรูป 50 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยเป็นความเร็วที่ใกล้เคียงกับการขึ้นรูปจริงมากที่สุด ความดันในการจับยึดชิ้นงานสูงสุดที่ไม่ทำให้ชิ้นงานฉีกขาดอยู่ที่ 12 บาร์ และจากผลการทดสอบการขึ้นรูปจริงของชิ้นงานในบทที่ 4 ความเร็วในการขึ้นรูป 7 มิลลิเมตรต่อวินาที ความดันในการจับยึดชิ้นงานสูงสุดที่ไม่ทำให้ชิ้นงานฉีกขาดอยู่ที่ 7 บาร์ ดังนั้นการเปรียบเทียบผลการขึ้นรูปของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบจะพิจาณาดังนี้

พิจารณาที่ความดันในการขึ้นรูปเดียวกัน

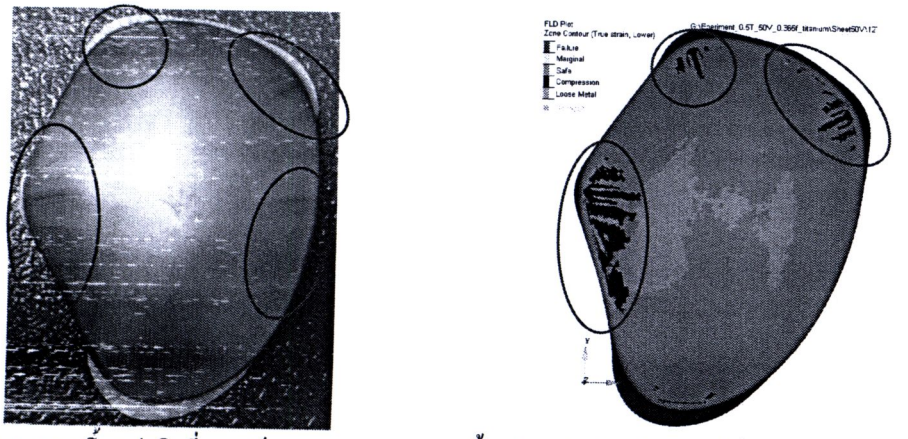


(ก) ผลการขึ้นรูปจริงที่ 7 บาร์ (ข) ผลการขึ้นรูปจากไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ความดัน 7 บาร์

ภาพที่ 5.14 การเปรียบเทียบผลการขึ้นรูปจริงกับผลการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ความดัน 7 บาร์

จากภาพที่ 5.14 เป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการขึ้นรูปชิ้นงานจริงกับผลที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ความดันในการจับยึดชิ้นงานเดียวกัน คือที่ความดันในการจับยึดชิ้นงานที่ 7 บาร์ จากภาพแสดงให้เห็นว่าบริเวณการเกิดรอยย่นของผลทดสอบการขึ้นรูปจริงกับบริเวณที่การอัด ของผลที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ตำแหน่งและบริเวณที่เกิดอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน

พิจารณาที่ความดันในการจับยึดสูงสุดก่อนชิ้นงานเกิดการฉีกขาด



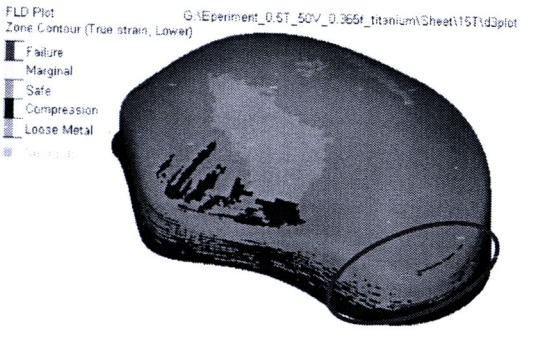
(ก) ผลการขึ้นรูปจริงที่ 7 บาร์ (ข) ผลการขึ้นรูปจากไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ความดัน 7 บาร์

ภาพที่ 5.15 การเปรียบเทียบผลการขึ้นรูปจริงที่ 7 บาร์ และผลการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ 12 บาร์

จากภาพที่ 5.15 เป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการขึ้นรูปชิ้นงานจริงกับผลที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ความดันในการจับยึดสูงสุดก่อนชิ้นงานเกิดการฉีกขาด คือที่ความดันในการจับยึดชิ้นงานของทดสอบขึ้นรูปจริงที่ 7 บาร์ และการจำลองการขึ้นรูปทางไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ 12 บาร์ จากภาพแสดงให้เห็นว่าบริเวณการเกิดรอยย่นของผลทดสอบการขึ้นรูปจริงกับบริเวณที่เกิดความเค้นอัด ของผลที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ตำแหน่งและบริเวณที่เกิดอยู่ในตำแหน่งเดียวกันเป็นส่วนใหญ่ และมีบ่างส่วนที่ผลไม่ตรงกันเกินรอยย่นที่การทดสอบจริงบริเวณด้านข้างแต่ผลทางไฟไนต์เอลิเมนต์ไม่เกิดขึ้น

พิจารณาที่ความดันในการจับยึดต่ำสุดที่ชิ้นงานเกิดการฉีกขาด

(ก) ผลการขึ้นรูปจริงที่ 8 บาร์



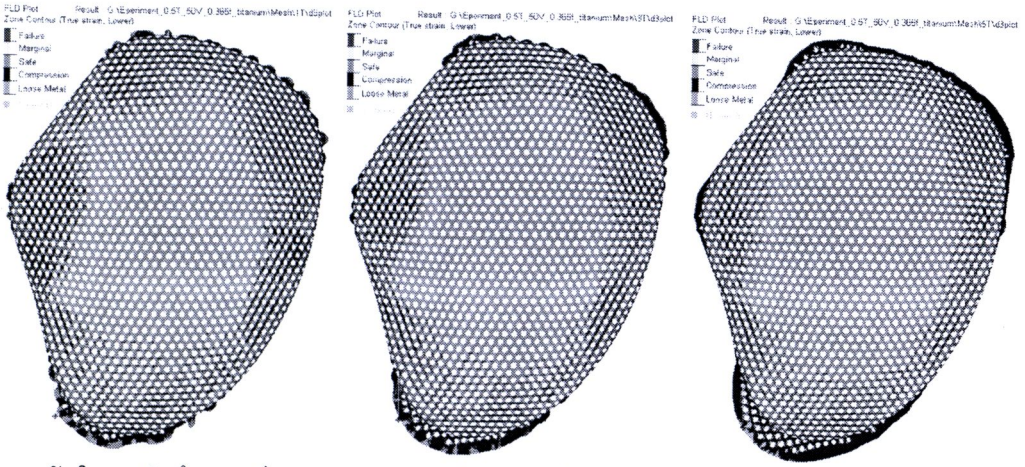
(ข) ผลการขึ้นรูปจากไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ความดัน 10 บาร์

ภาพที่ 5.16 การเปรียบเทียบตำแหน่งการฉีกขาดผลการขึ้นรูปจริงที่ 8 บาร์ และผลการขึ้นรูปจากไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ความดัน 15 บาร์

จากภาพที่ 5.16 แสดงตำแหน่งของการเกิดฉีกขาดของชิ้นงานที่ได้การการขึ้นรูปจริงและการขึ้นรูปที่ได้จากการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ คือที่ความดันในการจับยึดชิ้นงานของทดสอบขึ้นรูปจริงที่ 8 บาร์ และการจำลองการขึ้นรูปทางไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ 15 บาร์ จากภาพแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งที่เกิดขึ้นอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน

5.3.3 การเปรียบเทียบผลของการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นตาข่าย

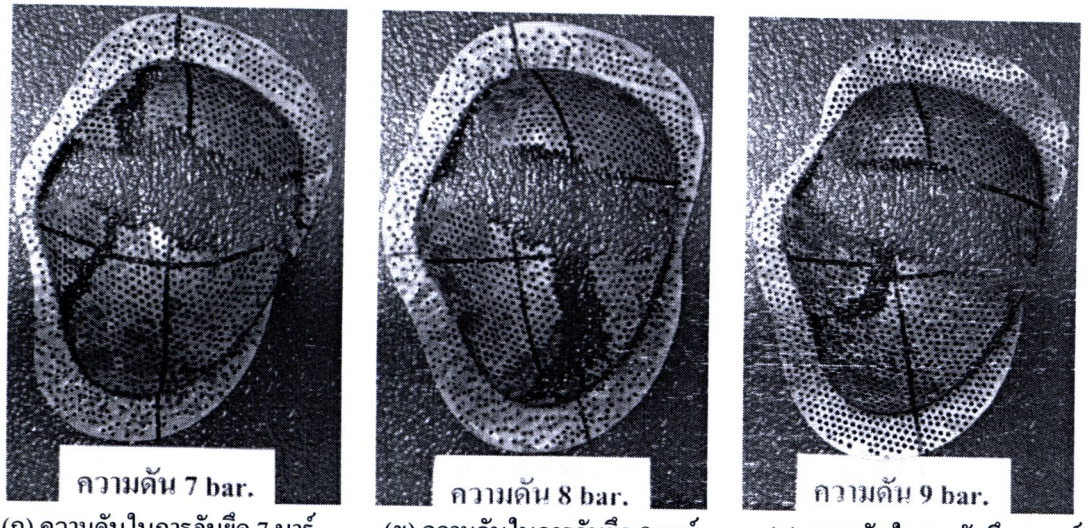
ในส่วนของการทดสอบการขึ้นรูปจริงของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นตาข่ายนั้นผลที่ได้ไม่สามารถนำมาอภิปรายผลได้เนื่องจาก ในการศึกษาได้ทำการเจาะแผ่นไททาเนียมด้วยสว่านทำให้เกิดร้อนในระหว่างการเจาะและเกิดการโก่งงอของแผ่นก่อนทำการขึ้นรูปได้ทำการดัดเพื่อให้อยู่ในลักษณะที่เรียบด้วยเหตุนี้จึงทำให้คุณสมบัติทางกลของไททาเนียมเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงไม่สามารถนำข้อมูลการขึ้นรูปจริงมาเปรียบเทียบได้ ดังแสดงในภาพที่ 5.17 และ 5.18



(ก) ความดันในการจับยึด 1 บาร์ (ข) ความดันในการจับยึด 3 บาร์ (ค) ความดันในการจับยึด 5 บาร์

ภาพที่ 5.17 การเกิดการอัดของชิ้นงานที่ความดันในการจับยึดเป็น 1, 3 และ 5 บาร์ ของไททาเนียมแบบแผ่นตาข่าย

จากภาพที่ 5.17 แสดงผลการจำลองการขึ้นรูปที่ขนาดแรงในการจับยึดชิ้นงานที่ความดัน 1 บาร์ 3 บาร์ และ 5 บาร์ ตามลำดับ การเกิด การอัด จะเกิดกระจายทั่วบริเวณขอบของชิ้นงาน เมื่อเพิ่มแรงในการจับยึดชิ้นงานบริเวณชิ้นงานที่เกิด การอัด จะลดลง

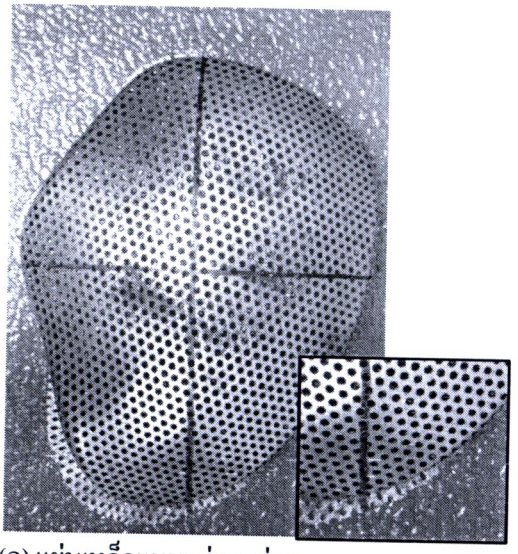


(ก) ความดันในการจับยึด 7 บาร์ (ข) ความดันในการจับยึด 8 บาร์ (ค) ความดันในการจับยึด 9 บาร์

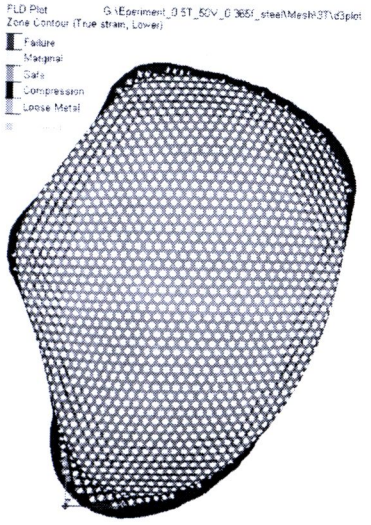
ภาพที่ 5.18 ผลการขึ้นรูปจริงของไททาเนียมแบบแผ่นตาข่ายที่ความดัน 7, 8 และ 9 บาร์

จากภาพที่ 5.18 แสดงผลการขึ้นรูปจริงของไททาเนียมแบบแผ่นตาข่ายที่ความดันในการจับยึดชิ้นงานที่ 7, 8 และ 9 บาร์ ตามลำดับ จะเห็นได้ชิ้นงานเกิดการฉีกขาดที่ทุกความดันในการจับยึด และการฉีกขาดนั้นเกิดขึ้นที่บริเวณตรงกลางของชิ้นงาน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เห็นถึงข้อแตกต่างกันของการจำลองการขึ้นรูปทาง

ไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดสอบการขึ้นรูปจริงของแผ่นตาข่าย ทางผู้จัดทำจึงได้ทำการจำลองการขึ้นรูปทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของแผ่นเหล็กแบบตาข่ายเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับการทดสอบขึ้นรูปจริงของแผ่นเหล็กแบบแผ่นตาข่ายด้วยดังแสดงในภาพที่ 5.19



(ก) แผ่นเหล็กแบบแผ่นตาข่าย
ในการจับยึด 3 บาร์



(ข) ผลการขึ้นรูปจากไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่ความดัน
ที่ความในการจับยึด 3 บาร์

ภาพที่ 5.19 การเปรียบเทียบผลการขึ้นรูปจริงของแผ่นเหล็กแบบแผ่นตาข่ายที่ความดันในการจับยึด 3 บาร์ และผลการขึ้นรูปจากไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ความดันในการจับยึด 3 บาร์

จากภาพที่ 5.19 แสดงการเปรียบเทียบผลการขึ้นรูปจริงของแผ่นเหล็กแบบแผ่นตาข่ายที่ความดันในการจับยึด 3 บาร์ และผลการขึ้นรูปจากไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ความดันในการจับยึด 3 บาร์ จากภาพจะเห็นได้ว่าในชิ้นงานจริงจะไม่เกิดรอยย่นขณะเดียวกันในชิ้นงานที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์เกิดการอัด แต่ค่าเกิดขึ้นยังไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดรอยย่นกับชิ้นงานจริง

5.4 สรุป

การเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างของชิ้นงานดังที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังนี้

1) สร้างชิ้นงานต้นแบบของการศึกษานี้ โดยเริ่มจากข้อมูลที่เป็นแบบจุด แล้วนำมาสร้างพื้นผิวจากนั้นนำพื้นผิวที่ได้มาสร้างเป็นข้อมูลในการออกแบบ และเมื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างของพื้นผิว ผลที่ได้คือ

- ลักษณะรูปร่างของรูปแบบแม่พิมพ์มีลักษณะเหมือนกับลักษณะรูปร่างของชิ้นงานต้นแบบ
- รูปแบบแม่พิมพ์ มีค่าเฉลี่ยของระยะห่างทั้งหมด 0.001 มิลลิเมตร เมื่อเทียบกับชิ้นงานต้นแบบและพื้นผิวของรูปแบบแม่พิมพ์จะอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าพื้นผิวชิ้นงานต้นแบบ

2) การเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างของชิ้นงานที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ จากการทดสอบขึ้นรูปจริง และรูปแบบแม่พิมพ์ ผลที่ได้คือ

- ลักษณะรูปร่างของชิ้นงานได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดสอบขึ้นรูปมีลักษณะเหมือนกับรูปแบบของแม่พิมพ์

- ชิ้นงานได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดสอบขึ้นรูปจริง มีค่าเฉลี่ยของระยะห่างทั้งหมด 0.2 มิลลิเมตร เมื่อเทียบกับรูปแบบแม่พิมพ์ และพื้นผิวของชิ้นงานที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดสอบขึ้นรูปจริงจะอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าพื้นผิวของรูปแบบแม่พิมพ์

- การเปรียบเทียบชิ้นงานได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดสอบขึ้นรูปจริง มีค่าเฉลี่ยของระยะห่างทั้งหมด 0.081 มิลลิเมตร โดยชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบขึ้นรูปจริงจะอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าชิ้นงานที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

3) ผลการเกิดรอยย่นและการฉีกขาดของชิ้นงาน ที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดสอบขึ้นรูปจริง ในกรณีที่เป็นแผ่นเรียบตำแหน่งการเกิดรอยย่นและการฉีกขาดของชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน ในกรณีของแผ่นตาข่ายชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบขึ้นรูปจริงชิ้นงานไม่เกิดรอยย่นแต่รูตาข่ายจะมีการเปลี่ยนแปลงแทนและชิ้นงานที่เป็นแบบแผ่นตาข่ายลักษณะการเกิดการอัด ของชิ้นงานจะมีการกระจายตัวทั่วบริเวณขอบของชิ้นงานนั้นแสดงให้เห็นแผ่นตาข่ายจะช่วยในการกระจายตัวของการเกิดการอัดของชิ้นงานทำให้ลดการเกิดของรอยย่นต่อชิ้นงาน