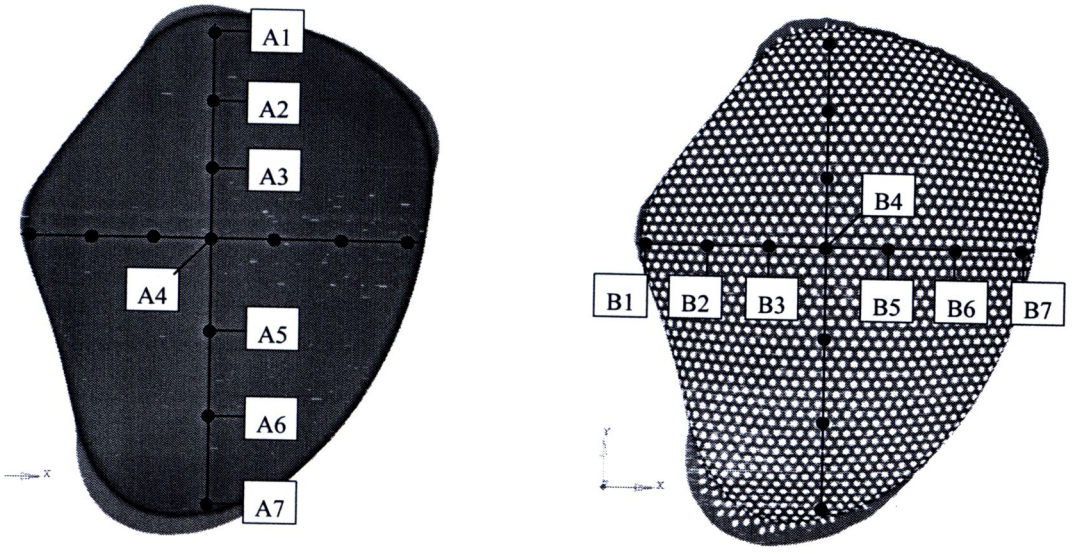
บทที่ 6
สรุปผลและการวิเคราะห์

จากการศึกษากระบวนการดึงขึ้นรูปลึกโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และการทดสอบขึ้นรูปจริงของชิ้นงานเฉพาะที่ไม่สมมาตรของการศึกษานี้เพื่อพิจารณาถึงอิทธิผลที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการฉีกขาดและเกิดรอยย่น โดยในการศึกษาเป็นการศึกษาเปรียบเทียบชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบและลักษณะชิ้นงานที่เป็นแบบแผ่นตาข่าย ผลการศึกษาที่ผ่านมาสามารถสรุปและวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

6.1 สรุปผลการศึกษา

การวิเคราะห์ผลที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลการขึ้นรูปในตำแหน่งต่าง ๆ โดยแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความหนาที่ลดลง (%Thickness Reduce) เปรียบเทียบค่าความเค้น และเปรียบเทียบความเครียดของชิ้นงาน การกำหนดตำแหน่งในการวัดได้แสดงในภาพที่ 6.1 ผลที่ได้เป็นดังนี้

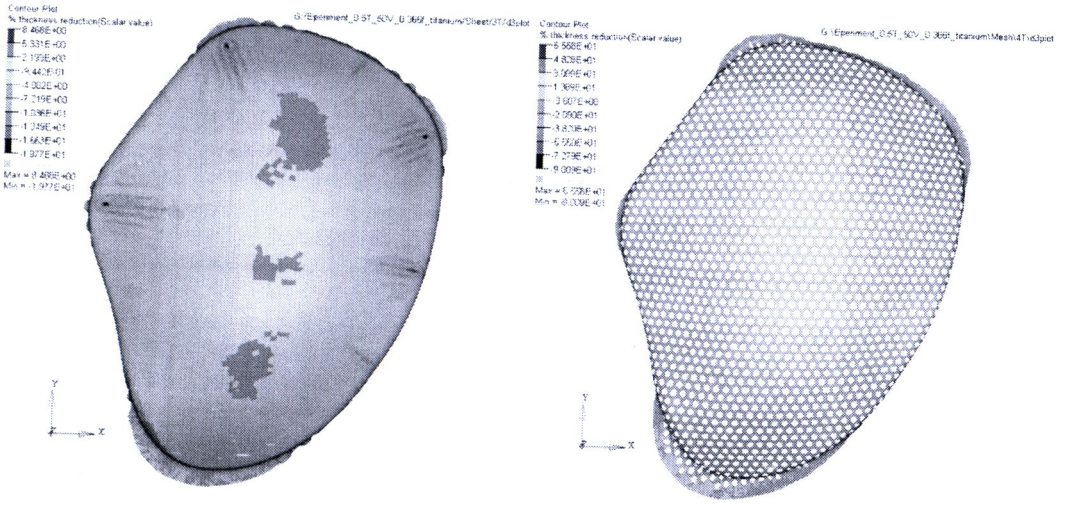


ภาพที่ 6.1 ตำแหน่งของการวัดชิ้นงานแผ่นเรียบและแผ่นตาข่าย

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

6.1.1 เปอร์เซ็นต์ความหนาที่ลดลงของชิ้นงาน

เปอร์เซ็นต์ความหนาที่ลดลงของชิ้นงานที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์ แสดงในรูปของระดับสี เปอร์เซ็นต์ความหนาที่ลดลงของชิ้นงานจะแบ่งด้วยช่วงสีต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 6.2

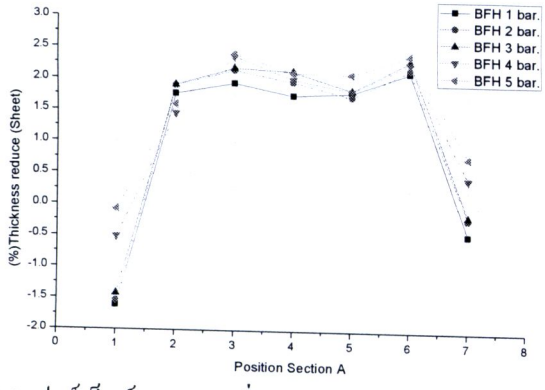


ภาพที่ 6.2 เปอร์เซ็นต์ความหนาที่ลดลงของความหนาของไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแผ่นตาข่าย ที่ความดันในการจับยึด 4 บาร์

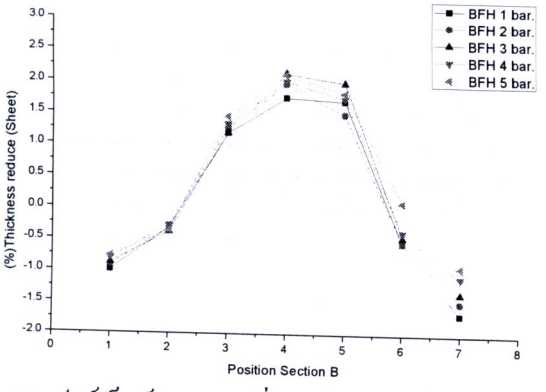
จากภาพเป็นระดับของเปอร์เซ็นต์ความหนาที่ลดลงของชิ้นงานจากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ของการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่าย ที่ความดันในการจับยึดชิ้นงานที่ 4 บาร์ ในส่วนของแผ่นแบบตาข่ายจากภาพจะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ความหนาที่ลดลงมีค่าใกล้เคียงกันทั่วทั้งชิ้นงาน และจากการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ความหนาที่ลดลงของชิ้นงานในแต่ละตำแหน่งและที่ความดันในการจับยึดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ความหนาของไททาเนียมที่ลดลงจากไฟไนต์เอลิเมนต์

ตำแหน่งการวัดบนผิวชิ้นงาน	เปอร์เซ็นต์ความหนาที่ลดลง									
	แผ่นเรียบ	แผ่นตาข่าย	แผ่นเรียบ	แผ่นตาข่าย	แผ่นเรียบ	แผ่นตาข่าย	แผ่นเรียบ	แผ่นตาข่าย	แผ่นเรียบ	แผ่นตาข่าย
	แรงจับยึดชิ้นงาน 1 บาร์		แรงจับยึดชิ้นงาน 2 บาร์		แรงจับยึดชิ้นงาน 3 บาร์		แรงจับยึดชิ้นงาน 4 บาร์		แรงจับยึดชิ้นงาน 5 บาร์	
A1	-1.605	-1.347	-1.538	-1.206	-1.426	-1.57	-0.5116	-1.228	-0.07516	-1.166
A2	1.764	1.024	1.901	1.168	1.908	1.296	1.453	1.086	1.594	1.186
A3	1.935	0.9357	2.145	1.151	2.174	0.9719	2.358	1.056	2.4	1.063
A4 (B4)	1.747	0.8775	1.964	0.896	2.126	0.9947	2.005	0.9436	2.104	1.149
A5	1.795	1.036	1.73	1.002	1.835	1.067	1.825	1.075	2.09	1.232
A6	2.124	1.171	2.169	1.434	2.296	1.369	2.264	1.56	2.388	1.091
A7	-0.4445	-0.1333	-0.1882	-0.06312	-0.15	-0.09035	0.4438	-0.0384	0.7839	0.0159
B1	-0.994	-0.6926	-0.9146	-0.6034	-0.8772	-0.5955	-0.8064	-0.4101	-0.7737	-0.4059
B2	-0.314	-0.1665	-0.318	-0.1423	-0.3845	-0.1129	-0.2787	0.00708	-0.3633	0.03054
B3	1.184	1.121	1.267	1.158	1.186	1.279	1.329	1.241	1.445	1.178
B4 (A4)	1.747	0.8775	1.964	0.896	2.126	0.9947	2.005	0.9436	2.104	1.149
B5	1.694	1.247	1.487	1.225	1.985	1.115	1.738	1.171	1.823	1.209
B6	-0.5302	-0.3066	-0.529	-0.3078	-0.4413	-0.249	-0.3598	-0.02632	0.1084	0.01027
B7	-1.665	-1.256	-1.475	-1.334	-1.329	-1.021	-1.069	-1.038	-0.9094	-0.8388

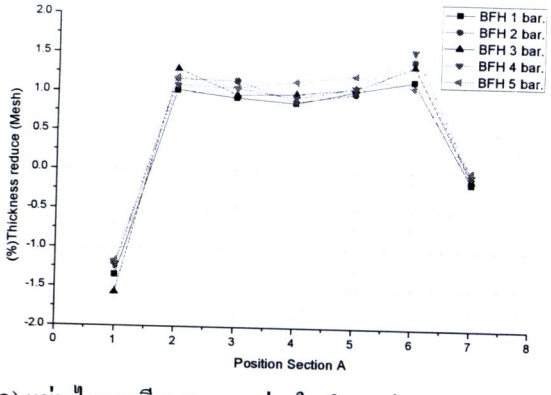


(ก) เปอร์เซ็นต์ความหนาที่ลดลงในตำแหน่งแนว A

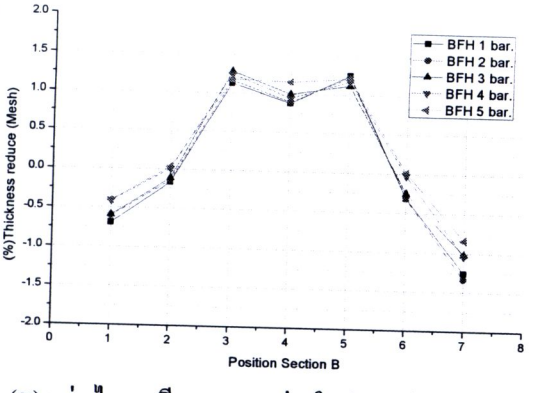


(ข) เปอร์เซ็นต์ความหนาที่ลดลงในตำแหน่งแนว B

ภาพที่ 6.3 เปอร์เซ็นต์ความหนาที่ลดลงของชิ้นงานของแผ่นไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นเรียบ



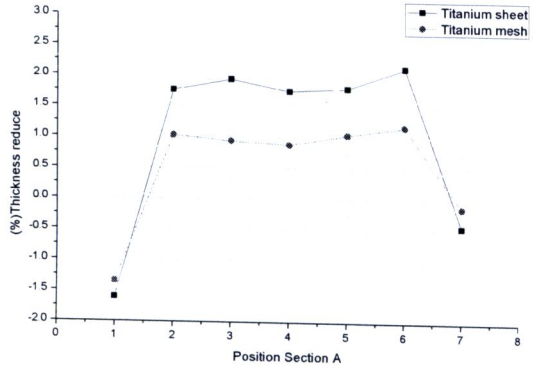
(ก) แผ่นไททาเนียมแบบตาข่ายในตำแหน่งแนว A



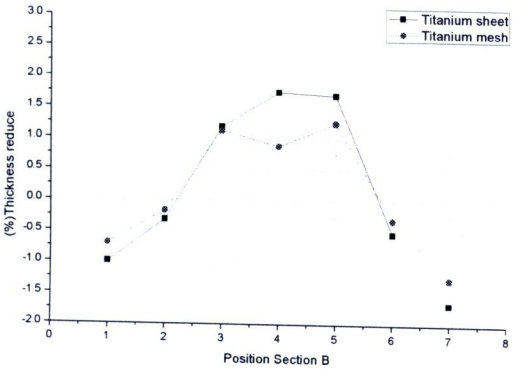
(ข) แผ่นไททาเนียมแบบตาข่ายในตำแหน่งแนว B

ภาพที่ 6.4 เปอร์เซ็นต์ความหนาที่ลดลงของชิ้นงานของแผ่นไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นตาข่าย

จากภาพที่ 6.3 และ 6.4 แสดงเปอร์เซ็นต์ความหนาที่ลดลงของชิ้นงานของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบและแผ่นตาข่าย จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงความหนาของชิ้นงานที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์ทั้งของแผ่นไททาเนียม บริเวณที่ขอบของชิ้นงานจะมีแนวโน้มความหนาของชิ้นงานที่เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 1 และ 7 ทั้งในแนว A และ B จะเห็นได้ว่าความหนาจะมากกว่าส่วนกลางของชิ้นงาน

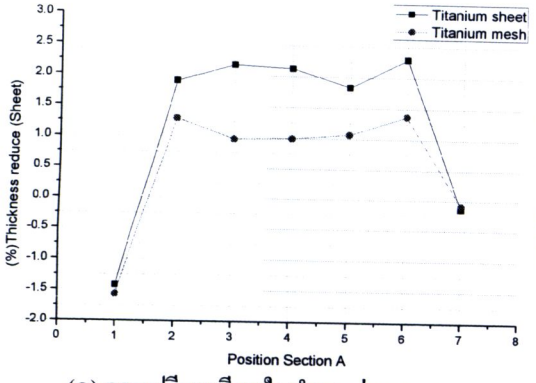


(ก) การเปรียบเทียบในตำแหน่งแนว A

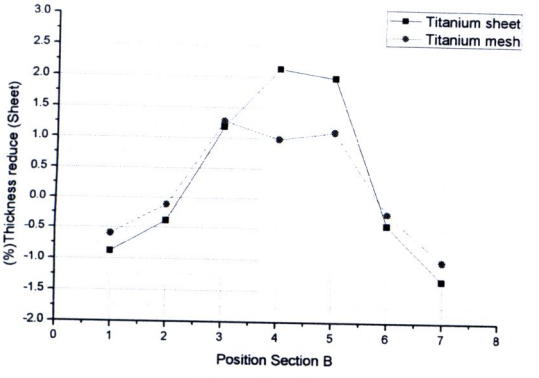


(ข) การเปรียบเทียบในตำแหน่งแนว B

ภาพที่ 6.5 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความหนาที่ลดลงของชิ้นงานในตำแหน่งต่าง ๆ ของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่ายที่ความดันในการจับยึด 1 บาร์



(ก) การเปรียบเทียบในตำแหน่งแนว A



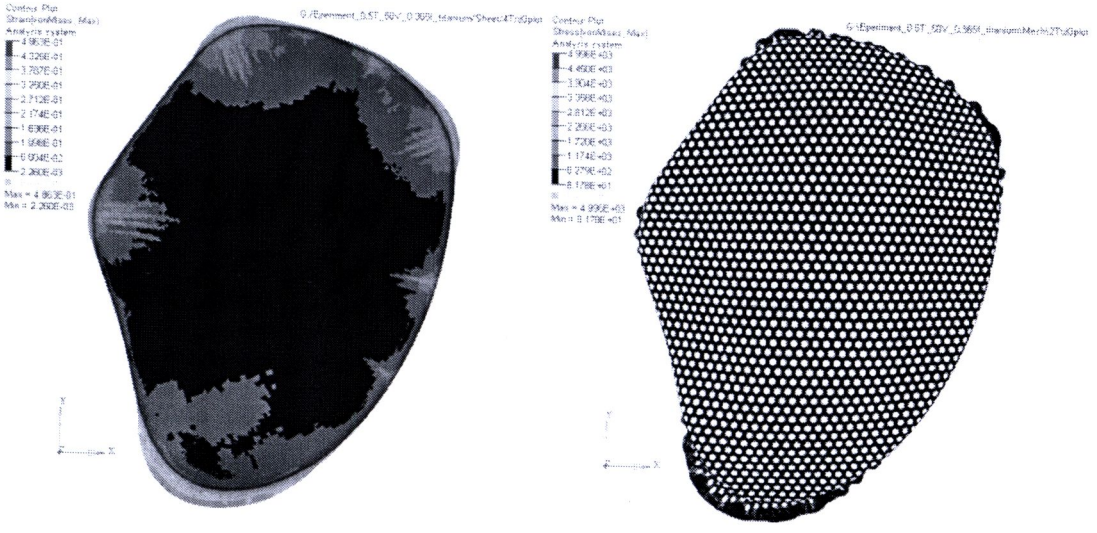
(ข) การเปรียบเทียบในตำแหน่งแนว B

ภาพที่ 6.6 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความหนาที่ลดลงของชิ้นงานในตำแหน่งต่าง ๆ ของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่ายที่ความดันในการจับยึด 3 บาร์

จากภาพที่ 6.5 และ 6.6 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความหนาที่ลดลงของชิ้นงานที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่ายของแผ่นไททาเนียม จากกราฟแสดงผลของผลของความหนาที่ลดลงของชิ้นงานที่ความดัน 1 บาร์ และ 3 บาร์ ตามลำดับ ที่ความดัน 1 บาร์ การเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นไททาเนียมทั้งในแนว A ตำแหน่งที่ 1 และ 7 ในแนว B ตำแหน่งที่ 1, 2, 6 และ 7 ความหนาของชิ้นงานของแผ่นเรียบจะสูงกว่าแผ่นตาข่าย เมื่อเพิ่มความดันในการจับยึดชิ้นงานที่ 3 บาร์ พิจารณาในแนว A จากภาพจะเห็นได้ว่าบริเวณขอบของแผ่นไททาเนียมที่เป็นแผ่นเรียบจะสูงกว่าแผ่นตาข่ายเล็กน้อยหรือมีค่าใกล้เคียงกัน

6.2.2 ผลการศึกษาการเปรียบเทียบค่าความเค้นของชิ้นงาน

ค่าความเค้นของชิ้นงานที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแผ่นตาข่ายที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์จะแสดงในรูปของระดับสีจำแนกค่าความเค้นของชิ้นงาน โดยใช้สีต่าง ๆ แสดงช่วงของความเค้นที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 6.7

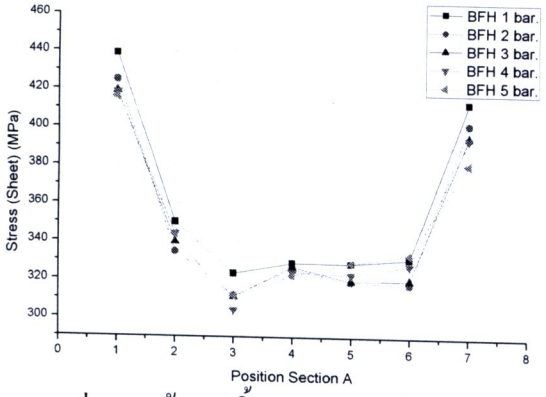


ภาพที่ 6.7 ค่าความเค้นของไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแผ่นตาข่าย ที่ความดันในการจับยึด 4 บาร์

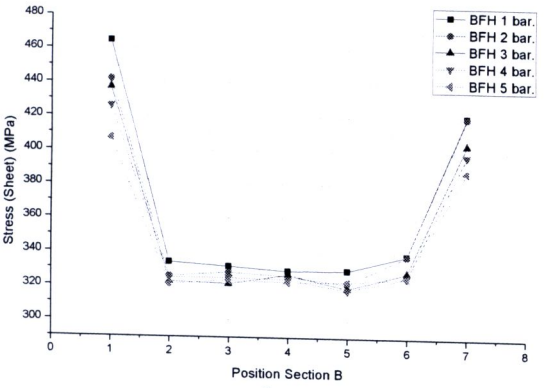
จากภาพเป็นการแสดงระดับสีของค่าความเค้นของชิ้นงานที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ของการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบและแผ่นตาข่าย ที่ความดันในการจับยึดชิ้นงานที่ 4 บาร์ จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความเค้นของชิ้นงานของการขึ้นรูปที่เกิดขึ้นจะสูงในบริเวณขอบของชิ้นงาน และจะเพิ่มสูงขึ้นที่บริเวณขอบของชิ้นงานที่มีความโค้งนูน และลดลงในส่วนบริเวณตรงกลางของชิ้นงาน ในส่วนของแผ่นตาข่ายจากภาพจะเห็นได้ว่าค่าความเค้นจะมีค่าใกล้เคียงกันทั้งชิ้นงาน และจากการวัดค่าความเค้นได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.2 เป็นผลของค่าความเค้นของแผ่นไททาเนียม

ตารางที่ 6.2 ค่าความเค้นของไททาเนียมจากไฟไนต์เอลิเมนต์

ตำแหน่งการวัดบนผิวชิ้นงาน	ค่าความเค้น (MPa)									
	แผ่นเรียบ	แผ่นตาข่าย	แผ่นเรียบ	แผ่นตาข่าย	แผ่นเรียบ	แผ่นตาข่าย	แผ่นเรียบ	แผ่นตาข่าย	แผ่นเรียบ	แผ่นตาข่าย
	แรงจับยึดชิ้นงาน 1 บาร์		แรงจับยึดชิ้นงาน 2 บาร์		แรงจับยึดชิ้นงาน 3 บาร์		แรงจับยึดชิ้นงาน 4 บาร์		แรงจับยึดชิ้นงาน 5 บาร์	
A1	438.9	401.3	425.1	398.9	418.9	394.2	418.3	392.6	416.1	387
A2	350.2	301.4	334.9	295.5	339.8	292.4	344.2	294.9	344.1	292.7
A3	323.5	284.6	312.2	296.8	311.3	282.6	304.3	293.1	311.7	299.2
A4 (B4)	329.1	282.8	326.1	281.3	327	280.1	324.2	279.3	322.6	289.8
A5	328.9	277.7	319.4	263.5	319.8	252.8	323	256.4	329.2	269.8
A6	331.5	277	318.2	268.1	320.4	260.2	328.1	264	333.8	257.9
A7	413.5	380.3	402.4	376.9	395.8	387.5	394.7	373	381.4	368.7
B1	464.6	431	441.9	425.6	437	422.1	426.1	394.2	407.1	384.2
B2	334	284.1	325.6	275.5	322.6	269.3	325.1	278.9	321	262.4
B3	331.6	291.2	328.2	269.6	321.6	290	325	274.3	323.6	272.5
B4 (A4)	329.1	282.8	326.1	281.3	327	280.1	324.2	279.3	322.6	289.8
B5	329.5	289.6	321.8	291.5	319.2	285.6	318.2	295	323.1	275.7
B6	338.5	294.7	338.3	291.1	328.3	304.4	325.6	308.9	325.5	299.1
B7	420.6	376.8	420.1	372.1	404.3	378.6	397.7	378.2	388.1	373.5

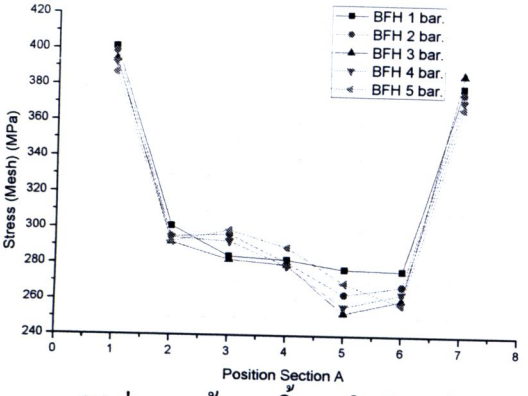


(ก) ค่าความเค้นของชิ้นงานในตำแหน่งแนว A

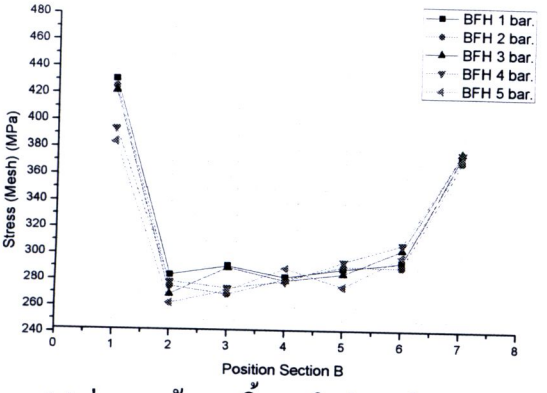


(ข) ค่าความเค้นของชิ้นงานในตำแหน่งแนว B

ภาพที่ 6.8 ค่าความเค้นของชิ้นงานในตำแหน่งต่าง ๆ ของแผ่นไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นเรียบ



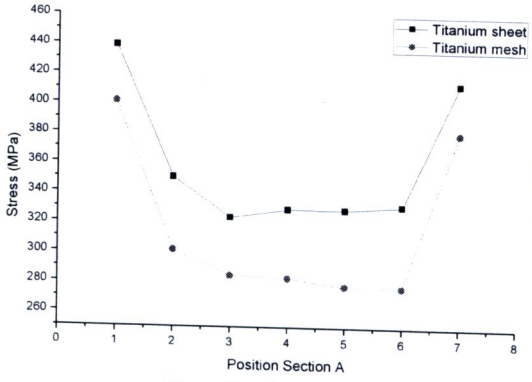
(ก) ค่าความเค้นของชิ้นงานในตำแหน่งแนว A



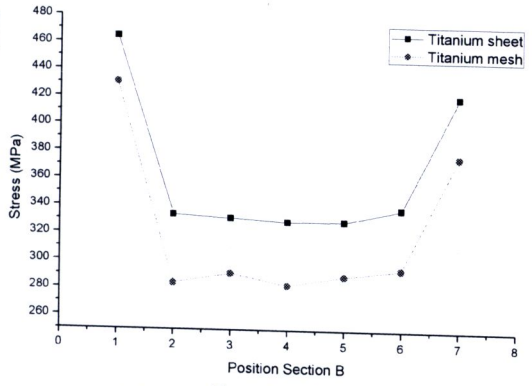
(ข) ค่าความเค้นของชิ้นงานในตำแหน่งแนว B

ภาพที่ 6.9 ค่าความเค้นของชิ้นงานในตำแหน่งต่าง ๆ ของแผ่นไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นตาข่าย

จากภาพที่ 6.8 และ 6.9 แสดงค่าความเค้นบนแผ่นไททาเนียม จากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าความเค้นที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์ทั้งแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่าย ลักษณะของกราฟบริเวณที่ขอบของชิ้นงานจะมีแนวโน้มค่าความเค้นของชิ้นงานที่สูง โดยจะเห็นว่าที่ตำแหน่งที่ 1 และ 7 ของแนว A และ B มีค่าที่สูง ส่วนบริเวณตรงกลางของชิ้นงานค่าของความเค้นที่เกิดขึ้นจะอยู่ในระดับเดียวกัน

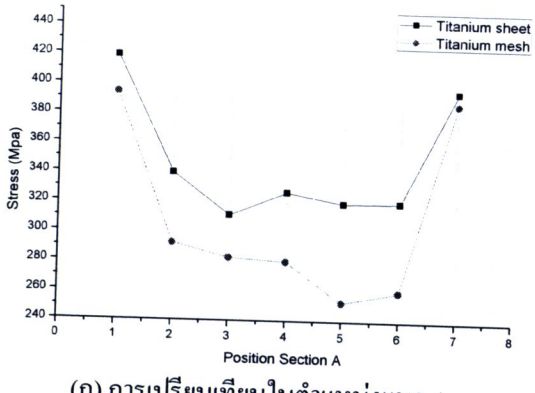


(ก) การเปรียบเทียบในตำแหน่งแนว A

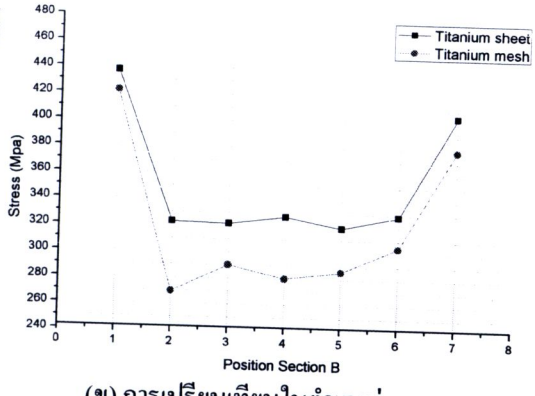


(ข) การเปรียบเทียบในตำแหน่งแนว B

ภาพที่ 6.10 การเปรียบเทียบค่าความเค้นของชิ้นงานในตำแหน่งต่าง ๆ ของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่ายที่ความดันในการจับยึด 1 บาร์



(ก) การเปรียบเทียบในตำแหน่งแนว A



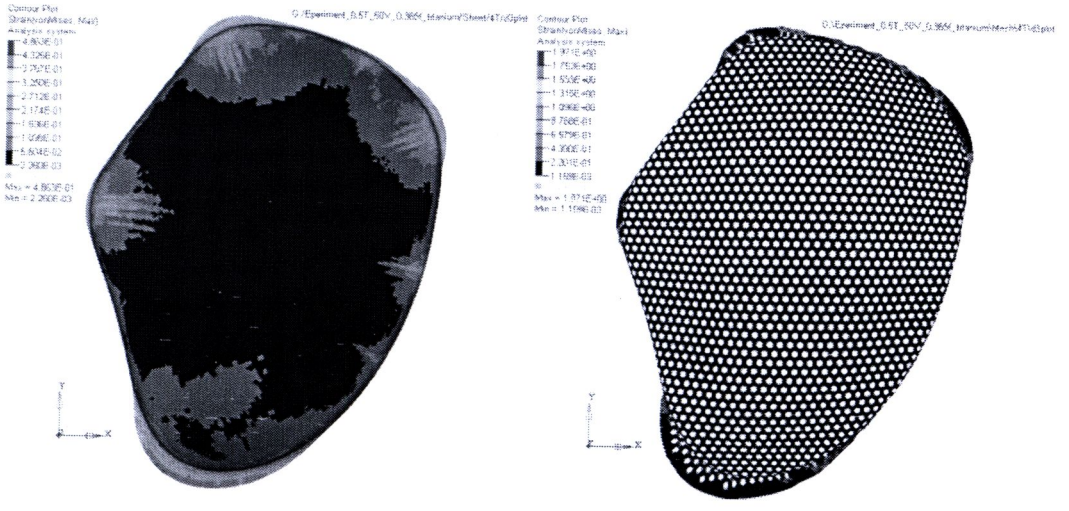
(ข) การเปรียบเทียบในตำแหน่งแนว B

ภาพที่ 6.11 การเปรียบเทียบค่าความเค้นของชิ้นงานในตำแหน่งต่าง ๆ ของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่ายที่ความดันในการจับยึด 3 บาร์

จากภาพที่ 6.10 และ 6.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นที่เกิดขึ้นของชิ้นงานที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่ายของแผ่นไททาเนียม ที่ความดันในการจับยึดชิ้นงานที่ความดัน 1 บาร์ และ 3 บาร์ ตามลำดับ ที่ความดัน 1 บาร์ จะเห็นได้ว่าค่าความเค้นที่เกิดของแบบแผ่นเรียบจะมีค่ามากกว่าแบบแผ่นตาข่าย ทั้ง ที่ความดัน 3 บาร์ ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นยังคงมีลักษณะเหมือนกันกับที่ความดัน 1 บาร์ ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นของแผ่นเรียบมีค่ามากกว่าแผ่นตาข่าย

6.1.3 ผลการศึกษาการเปรียบเทียบค่าความเครียดของชิ้นงาน

ค่าความเครียดของชิ้นงานที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแผ่นตาข่ายที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์จะแสดงในรูประดับสีจำแนกค่าความเครียดของชิ้นงาน โดยใช้สีต่าง ๆ แสดงช่วงของความเครียดที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 6.12

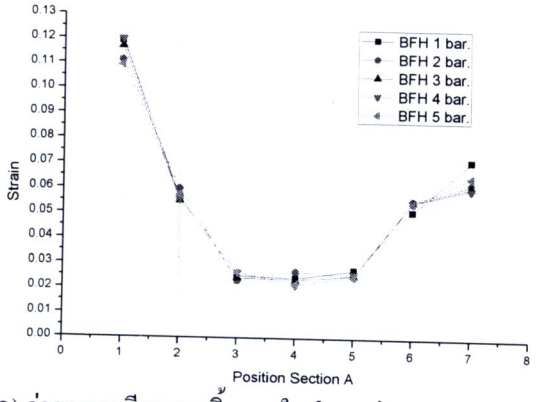


ภาพที่ 6.12 ค่าความเครียดของไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแผ่นตาข่าย ที่ความดัน 4 บาร์

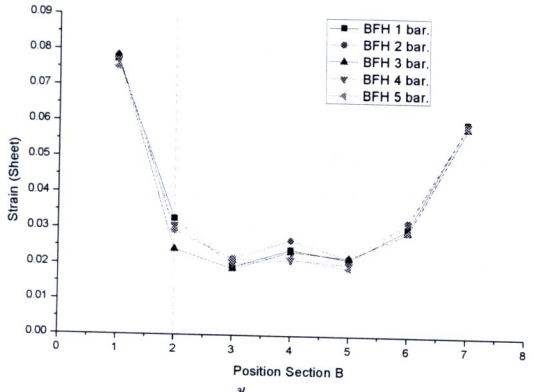
จากภาพเป็นการแสดงระดับของค่าความเครียดของชิ้นงานที่ได้จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ของการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบและแผ่นตาข่ายที่ความดันในการจับยึดชิ้นงานที่ 4 บาร์ จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความเครียดของชิ้นงานของการขึ้นรูปที่เกิดขึ้นจะสูงในบริเวณขอบของชิ้นงานและเพิ่มสูงขึ้นที่บริเวณขอบของชิ้นงานที่มีความโค้งนูน และลดลงในส่วนบริเวณตรงกลางของชิ้นงาน ในส่วนของแผ่นตาข่ายจากภาพจะเห็นได้ว่าค่าความเครียดจะมีค่าใกล้เคียงกันทั่วทั้งชิ้นงาน และจากการวัดค่าความเครียดได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.3 เป็นผลของค่าความเครียดของแผ่นไททาเนียม

ตารางที่ 6.3 ค่าความเครียดของไททาเนียมจากไฟไนต์เอลิเมนต์

ตำแหน่งการวัดบนผิวชิ้นงาน	ค่าความเครียด									
	แผ่นเรียบ	แผ่นตาข่าย	แผ่นเรียบ	แผ่นตาข่าย	แผ่นเรียบ	แผ่นตาข่าย	แผ่นเรียบ	แผ่นตาข่าย	แผ่นเรียบ	แผ่นตาข่าย
	แรงจับยึดชิ้นงาน 1 บาร์		แรงจับยึดชิ้นงาน 2 บาร์		แรงจับยึดชิ้นงาน 3 บาร์		แรงจับยึดชิ้นงาน 4 บาร์		แรงจับยึดชิ้นงาน 5 บาร์	
A1	0.1191	0.07771	0.1113	0.06658	0.1169	0.07218	0.1198	0.07435	0.1093	0.07806
A2	0.05631	0.03042	0.05975	0.02814	0.05503	0.02683	0.05563	0.02613	0.05739	0.02514
A3	0.02506	0.02243	0.02325	0.01826	0.02423	0.01942	0.02663	0.01991	0.02636	0.02346
A4 (B4)	0.0242	0.02302	0.0269	0.02388	0.02365	0.02032	0.02141	0.01962	0.02195	0.02323
A5	0.02757	0.0241	0.0254	0.01957	0.02531	0.01581	0.02612	0.01658	0.02471	0.01861
A6	0.05123	0.04974	0.05574	0.05183	0.05524	0.04786	0.05525	0.04347	0.0547	0.0493
A7	0.07163	0.05497	0.06233	0.05394	0.06126	0.05174	0.0603	0.04893	0.06527	0.05239
B1	0.07713	0.06044	0.07809	0.06086	0.07826	0.05831	0.07699	0.05301	0.07511	0.05153
B2	0.03267	0.02037	0.0294	0.01674	0.0241	0.0175	0.03077	0.0171	0.02952	0.01622
B3	0.01931	0.01899	0.02163	0.01888	0.01881	0.01367	0.02029	0.0118	0.02139	0.01451
B4 (A4)	0.0242	0.02302	0.0269	0.02388	0.02365	0.02032	0.02141	0.01962	0.02195	0.02323
B5	0.02155	0.01838	0.02185	0.01971	0.02198	0.01851	0.0203	0.02058	0.01918	0.02254
B6	0.03031	0.0281	0.03224	0.02695	0.02926	0.02451	0.03199	0.02743	0.02937	0.02373
B7	0.07862	0.0536	0.07822	0.04913	0.0772	0.04744	0.07529	0.04154	0.07476	0.04006

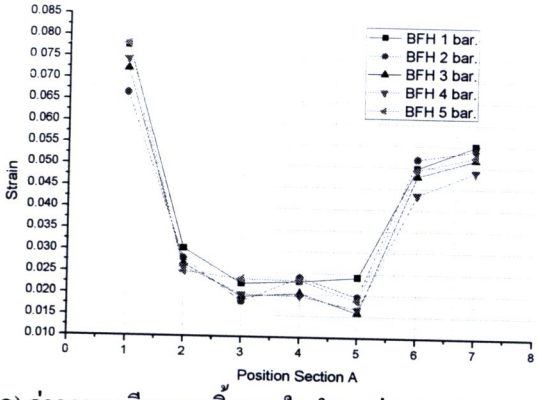


(ก) ค่าความเครียดของชิ้นงานในตำแหน่งแนว A

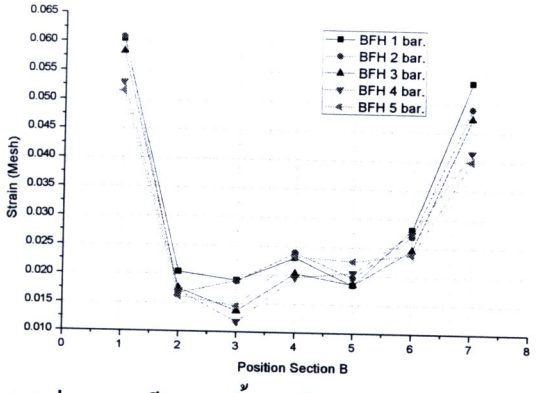


(ข) ค่าความเครียดของชิ้นงานในตำแหน่งแนว B

ภาพที่ 6.13 ค่าความเครียดของชิ้นงานในตำแหน่งต่าง ๆ ของแผ่นไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นเรียบ



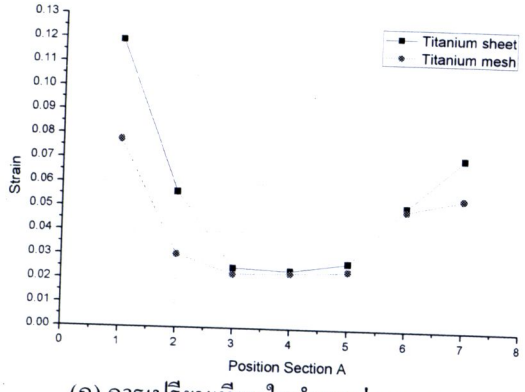
(ก) ค่าความเครียดของชิ้นงานในตำแหน่งแนว A



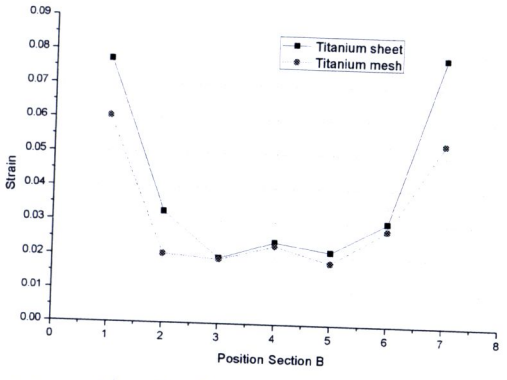
(ข) ค่าความเครียดของชิ้นงานในตำแหน่งแนว B

ภาพที่ 6.14 ค่าความเครียดของชิ้นงานในตำแหน่งต่าง ๆ ของแผ่นไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นตาข่าย

จากภาพที่ 6.13 และ 6.14 แสดงค่าความเครียดบนแผ่นไททาเนียม จากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าความเครียดที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์ทั้งแผ่นเรียบและแผ่นตาข่าย ลักษณะของกราฟบริเวณที่ขอบของชิ้นงานจะมีแนวโน้มค่าความเครียดของชิ้นงานที่สูง โดยจะเห็นว่าที่ตำแหน่งที่ 1 และ 7 ของแนว A และ B มีค่าที่สูง ส่วนบริเวณตรงกลางของชิ้นงานค่าของความเครียดที่เกิดขึ้นจะอยู่ในระดับเดียวกัน

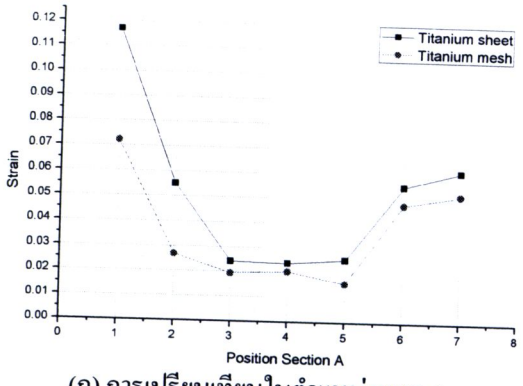


(ก) การเปรียบเทียบในตำแหน่งแนว A

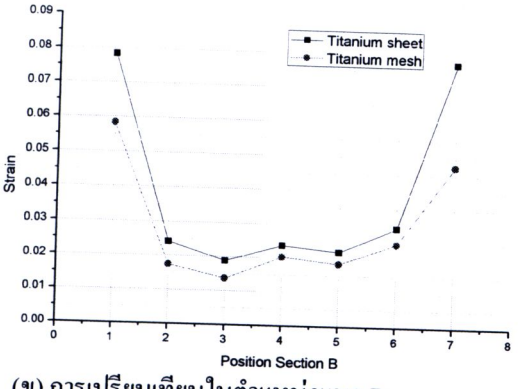


(ข) การเปรียบเทียบในตำแหน่งแนว B

ภาพที่ 6.15 การเปรียบเทียบค่าความเครียดของชิ้นงานในตำแหน่งต่าง ๆ ของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่ายที่ความดันในการจับยึด 1 บาร์



(ก) การเปรียบเทียบในตำแหน่งแนว A



(ข) การเปรียบเทียบในตำแหน่งแนว B

ภาพที่ 6.16 การเปรียบเทียบค่าความเครียดของชิ้นงานในตำแหน่งต่าง ๆ ของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่ายที่ความดันในการจับยึด 3 บาร์

จากภาพที่ 6.15 และ 6.16 แสดงการเกรียบเทียบค่าความเครียดที่เกิดขึ้นของชิ้นงานที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่ายของแผ่นไททาเนียม ที่ความดัน 1 บาร์ และ 3 บาร์ ตามลำดับ ความดัน 1 บาร์ จะเห็นได้ว่าค่าความเครียดที่เกิดของแบบแผ่นเรียบจะมีค่ามากกว่าแบบแผ่นตาข่ายทั้ง ที่ความดัน 3 บาร์ ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นยังคงมีลักษณะเหมือนกันกับที่ความดัน 1 บาร์ ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นของแผ่นเรียบมีค่ามากกว่าแผ่นตาข่าย

การวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความหนาที่ลดลง ค่าความเค้นและค่าความเครียดของการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแผ่นตาข่าย และผลจากการศึกษาในบทที่ 3 และ 4 แสดงให้เห็นว่าการเกิดรอยย่นของชิ้นงานจะเกิดตรงกับบริเวณที่มีค่าความหนาของชิ้นงาน ค่าความเค้นและความเครียดสูง ดังนั้นในการออกแบบแม่พิมพ์ในการศึกษานี้ต้องหาวิธีในการลดความเค้นและความเครียดในบริเวณนี้เพื่อลดการเกิดรอยย่นที่จะเกิดขึ้นบนชิ้นงาน และการใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์กระบวนการ

ดึงขึ้นรูปลึกเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการทำนายตำแหน่งที่เกิดข้อบกพร่องของชิ้นงาน ดังจะเห็นจากตำแหน่งของการเกิดรอยย่นที่ได้จากการทดสอบขึ้นรูปจริงกับผลที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์เกิดขึ้นที่ตำแหน่งเดียวกัน

6.2 การวิเคราะห์ผลการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการศึกษากระบวนการดึงขึ้นรูปลึกของแผ่นไททาเนียมชนิด CP Titanium Grade 2: JIS-2 TP340 โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดลอง ชิ้นงานต้นแบบที่นำมาศึกษาเป็นชิ้นงานเฉพาะที่ไม่สมมาตร คือเป็นลักษณะของกะโหลกศีรษะของคนไทยตรงบริเวณขมับ เพื่อหาความเป็นไปได้ในการออกแบบแม่พิมพ์ หาค่าที่เหมาะสมสำหรับการกำหนดเงื่อนไขของการออกแบบแม่พิมพ์และเงื่อนไขของกระบวนการดึงขึ้นรูปลึกของชิ้นงาน แผ่นไททาเนียมที่ใช้ในการศึกษามีความหนา 0.5 มิลลิเมตร โดยมีลักษณะที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่าย ลักษณะของโครงสร้างการทำงานของแม่พิมพ์เป็นโครงสร้างแม่พิมพ์แบบกลับทาง โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ คือโปรมแกรม HYPERFORM V.9 ซึ่งเป็นโปรมแกรมสำหรับการวิเคราะห์และจำลองกระบวนการดึงขึ้นรูปโดยเฉพาะ การสร้างแม่พิมพ์ที่จะใช้ในการทำสอบขึ้นรูปชิ้นงานจริงใช้เหล็กเครื่องมือสำหรับงานเย็น SKD11 และทำการชุบแข็งแม่พิมพ์เพื่อป้องการสึกหลอและการเกิดรอยขีดข่วน และเครื่องปั๊มที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด 100 ตัน ในการศึกษานี้ได้ทำการขึ้นรูปแผ่นเหล็กที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแผ่นตาข่ายควบคู่ไปด้วย เพื่อใช้ในการปรับตั้งการทำงานของเครื่องปั๊มและประเมินความเป็นไปได้ขอบงการขึ้นรูปแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่าย ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

6.2.1 ปัจจัยต่าง ๆ ในการออกแบบแม่พิมพ์สำหรับกระบวนการดึงขึ้นรูปลึก

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มขอบด้านข้างของชิ้นงานต้นแบบเป็นระยะ 8 มิลลิเมตร และให้ปากขอบอยู่ในระนาบเดียวกัน เพื่อให้ง่ายต่อการกำหนดรัศมีพันช์ และรัศมีดาย ผลที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการทดสอบขึ้นรูปจริงการเกิดรอยย่นตรงบริเวณผนังและจะเบียดกับช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ทำให้ไม่สามารถนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้ ในกรณีที่ใช้แรงในการจับยึดที่ต่ำและอาจทำให้แม่พิมพ์เกิดความเสียหายได้ ความในการจับยึดชิ้นงานของการทดสอบขึ้นรูปจริงที่เหมาะสมอยู่ที่ 7 บาร์ และชิ้นงานเกิดการฉีกขาดที่ความดันในการจับยึดอยู่ที่ 8 บาร์ ขึ้นไป และการฉีกขาดเกิดขึ้นที่บริเวณรัศมีดาย ดังนั้นสรุปปัจจัยในการออกแบบแม่พิมพ์ของการศึกษานี้คือ

1) ผนังของชิ้นงานควรน้อยที่สุดเพื่อเป็นการลดเวลาที่เนื้อโลหะอยู่ในบริเวณผนังขณะทำการขึ้นรูปเป็นการลดรอยย่นที่อาจจะเกิดขึ้นที่ผนังของชิ้นงาน ทั้งยังเป็นการลดความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับแม่พิมพ์และยังเป็นการลดวัสดุที่นำมาใช้ในการขึ้นรูป

2) การกำหนดรัศมีดายต้องมีขนาดสูงกว่า 2.5 มิลลิเมตร เพื่อเป็นการลดการฉีกขาดที่บริเวณรัศมีดาย และต้องทำการหาความเหมาะสมของรัศมีดายต่อไป เนื่องจากว่าการที่เพิ่มรัศมีดายมากเกิดไปนั้นมีผลต่อพื้นที่ในการจับยึดชิ้นงาน และอาจมีผลต้อการเกิดรอนย่นได้

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

6.2.2 เปรียบเทียบการขึ้นรูปของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่าย

จากการจำลองการขึ้นรูปด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดสอบขึ้นรูปจริง เมื่อพิจารณาแรงในการจับยึดชิ้นงานที่ทำให้ชิ้นงานไม่เกิดการฉีกขาดและมีการเกิดรอยย่นที่น้อยที่สุด ผลที่ได้เป็นดังนี้

ผลที่ได้จากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

1) แรงที่ใช้ในการจับยึดชิ้นงานของแผ่นไททาเนียมแบบแผ่นที่ทำให้ชิ้นงานไม่เกิดการฉีกขาดและมีรอยย่นน้อยที่สุดอยู่ความดัน 12 บาร์ ในทุกความเร็วของการขึ้นรูป และมีค่ามากกว่าแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นตาข่ายโดยที่แรงในการจับยึดชิ้นงานที่เหมาะสมในทุกความเร็วอยู่ที่ 3 บาร์

2) ลักษณะการเกิดความเค้นอัด ในกรณีของแผ่นเรียบจะเกิดแบบกระจุกตัวในบริเวณที่ผิวส่วนบนที่มีความโค้งนูน ส่วนแผ่นตาข่ายนั้นการเกิดจะเกิดแบบกระจายตัวทั่วบริเวณพื้นผิว

3) บริเวณส่วนกลางของผิวบนของชิ้นงานการเกิดความเค้นอัดจะไม่เกิดขึ้นทั้งในแผ่นไททาเนียมที่เป็นแบบแผ่นเรียบและแบบแผ่นตาข่าย

ผลที่ได้จากการทดสอบขึ้นรูปชิ้นงานจริง

ผลการขึ้นรูปจริงของแผ่นไททาเนียมไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบได้ เนื่องจากผลการขึ้นรูปแบบแผ่นตาข่ายนั้นชิ้นงานเกิดการฉีกขาดในลักษณะการแตกในระหว่างการขึ้นรูป เนื่องมาจากการสร้างรูตาข่ายของการศึกษานี้ได้สร้างด้วยวิธีการเจาะด้วยสว่านทำให้เกิดความร้อนกับชิ้นงานทำให้คุณสมบัติทางกลเปลี่ยน และขนาดระยะของรูที่เจาะไม่มีความสม่ำเสมอ แต่ถึงอย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ได้ทำการขึ้นรูปแผ่นเหล็กแบบแผ่นเรียบและแผ่นตาข่ายควบคู่ไปด้วย โดยที่แผ่นตาข่ายนั้นเป็นแผ่นที่มีขายทั่วไปและผลิตด้วยวิธีการปั๊ม ดังนั้นจึงสรุปการเปรียบเทียบการขึ้นรูปโลหะแผ่นเรียบและแผ่นตาข่ายได้ว่า

1) เมื่อพิจารณาแรงที่ใช้ในการจับยึดชิ้นงาน เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่ไม่เกิดการฉีกขาดและเกิดรอยย่นน้อยที่สุดชิ้นงานที่เป็นแบบแผ่นเรียบจะต้องใช้แรงในการจับยึดที่สูงกว่าชิ้นงานที่เป็นแบบแผ่นตาข่าย ชิ้นงานที่เป็นแบบตาข่ายมีความสามารถในการรับแรงในการจับยึดชิ้นงานในการขึ้นรูปจะลดลง

2) เมื่อพิจารณาการเกิดรอยย่นที่ผิวบนของชิ้นงาน รูตาข่ายจะช่วยในการกระจ่ายตัวของความเค้นอัดไม่ให้เกิดแบบกระจุกตัวที่เป็นผลให้เกิดรอยย่น รูตาข่ายสามารถลดการเกิดรอยย่นของผิวชิ้นงานได้ แต่ลักษณะของรูตาข่ายมีการเปลี่ยนแปลงจากวงกลมเป็นวงรี

6.2.3 อิทธิผลที่มีผลต่อการเกิดรอยย่นและการฉีกขาด

เมื่อพิจารณาการเกิดรอยย่นและการฉีกขาดบนชิ้นงาน ชิ้นงานที่เป็นแบบแผ่นเรียบ เมื่อเพิ่มแรงในการจับยึดชิ้นงานการเกิดรอยย่นจะเกิดน้อยลง และเมื่อเพิ่มแรงในการจับยึดจนกระทั้งชิ้นงานเกิดการฉีกขาดรอยย่นยังคงเกิดขึ้นในตำแหน่งเดิมคือในตำแน่งที่มีการโค้งนูนของชิ้นงาน ในส่วนของแผ่นตาข่ายโดยพิจารณาการขึ้นรูปของแผ่นเหล็กรอยย่นจะไม่เกิดขึ้นที่ส่วนบนของชิ้นงานแต่ลักษณะของรูตาข่ายไม่การเปลี่ยนแปลง ดังนั้นสรุปได้ว่า

1) อิทธิผลของแรงในการจับยึดชิ้นงาน ถ้าแรงในการจับยึดชิ้นงานน้อยโอกาสที่จะเกิดรอยย่นก็มีสูง และเมื่อเพิ่มแรงในการจับยึดชิ้นงานให้สูงขึ้นรอยย่นที่เกิดบนผิวชิ้นงานก็จะน้อยลงแต่ก็อาจทำให้ชิ้นงานเกิดการฉีกขาดได้

2) อิทธิผลของรูปลักษณะของชิ้นงานต้นแบบ จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มแรงในการจับยึดชิ้นงานจนกระทั้งชิ้นงานเกิดการฉีกขาด การเกิดรอยย่นที่ผิวบนของชิ้นงานที่มีความโค้งนูนยังคงเกิดขึ้น นั้นหมายความว่าลักษณะของชิ้นงานที่มีความโค้งนูนเป็นอิทธิผลหนึ่งที่ทำให้เกิดรอยย่น

3) อิทธิผลของลักษณะของแผ่นชิ้นงานเปล่าที่นำมาขึ้นรูป จะเห็นได้ว่าที่แรงในการจับยึดชิ้นงานก่อนที่ชิ้นงานจะเกิดการฉีกขาดในการขึ้นรูปแผ่นตาข่ายจะไม่เกิดรอยย่นกับผิวชิ้นงาน นั้นหมายความว่ารูตาข่ายสามารถช่วยลดการเกิดรอยย่นของชิ้นงานได้

6.3 ข้อเสนอแนะ

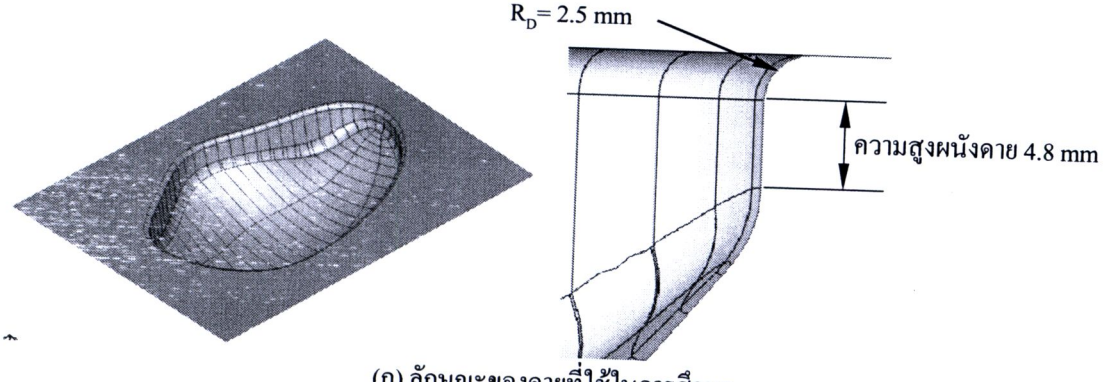
จากผลการศึกษาที่ผ่านมาสามารถสรุปข้อเสนอแนวทางในการปรับปรุงแม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับกระบวนการดึงขึ้นรูปลึกของชิ้นงานต้นแบบนี้คือ

1) การกำหนดผนังดายต้องให้น้อยที่สุดเพื่อเป็นการลดการเกิดรอยย่นที่อาจจะเกิดขึ้นที่ผนังของชิ้นงานและลดเวลาในการไหลตัวของโลหะในกระการขึ้นรูป

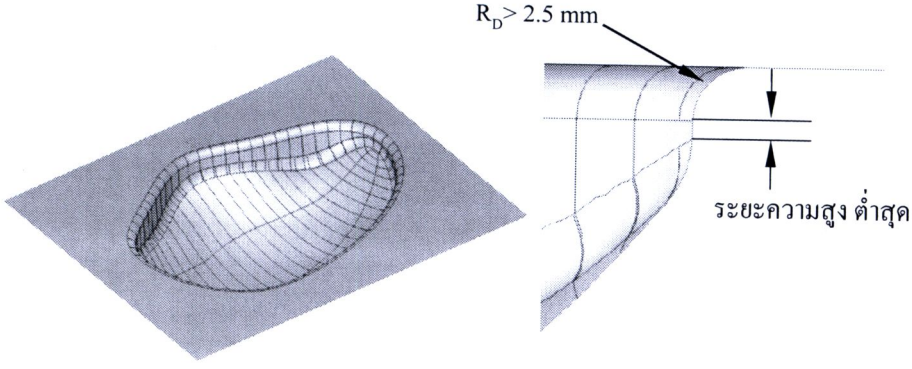
2) การเพิ่มรัศมีของดายให้สูงขึ้นเพื่อเป็นการป้องกันการฉีกขาดของรัศมีดายและยังเป็นการลดความเค้นและความเครียดที่เกิดจากการดัดตรงบริเวณนี้

3) การสร้างผนังของดายให้มีความลาดเอียงเพื่อเป็นการลดความเค้นและความเครียดบริเวณส่วนบนของชิ้นงาน และเป็นการช่วยในการไหลตัวของโลหะระหว่างกระบวนการดึงขึ้นรูปลึก

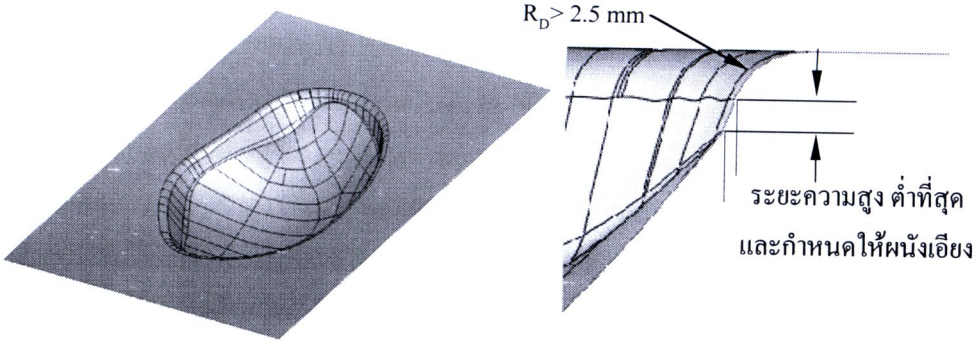
ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงลักษณะของแม่พิมพ์แสดงในภาพที่ 6.17 จากภาพเป็นการลดขนาดของผนังชิ้นงาน การเพิ่มรัศมีของดาย



(ก) ลักษณะของดายที่ใช้ในการศึกษา



(ข) ลักษณะของดายที่ได้แก้ไข ให้ผนังชิ้นงานมีระยะความสูง ต่ำสุด



(ค) ลักษณะของดายที่ได้แก้ไข ให้ผนังชิ้นงานมีระยะความสูง ต่ำสุดและกำหนดให้ผนังเอียง

ภาพที่ 6.17 ลักษณะของดายที่ได้เสนอแนะในการปรับปรุงที่ผนังของและรัศมีของดาย