

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการตรวจสอบสมบัติต่างๆของชิ้นงานตัวอย่างในบทที่ 4 ทำให้ทราบถึงผลของปัจจัยในกระบวนการขึ้นรูปที่มีต่อสมบัติของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ โดยปัจจัยของกระบวนการขึ้นรูป คือ ชนิดของวัสดุสร้างความพรุนที่ใช้ในการขึ้นรูป ปริมาณของวัสดุสร้างความพรุนที่ผสมในชิ้นงาน แรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา พบว่ามีผลกระทบต่อสมบัติต่างๆของชิ้นงานตัวอย่าง ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ความพรุน ความหนาแน่นบัลค์ เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น ความแข็งของวัสดุ ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ โมดูลัสของยังภายใต้แรงกด และโครงสร้างของชิ้นงาน

5.1 เปอร์เซ็นต์ความพรุน

สำหรับชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ผลกระทบของ ปริมาณฟองน้ำที่ผสมในชิ้นงาน แรงกดขึ้นรูป และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ปัจจัยทั้งหมดข้างต้น จะส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงาน โดยพบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการเผาภายใต้อุณหภูมิต่ำที่ เมื่อผสมปริมาณฟองน้ำลงในชิ้นงานมากขึ้น จะส่งผลให้ชิ้นงานมีเปอร์เซ็นต์ความพรุนสูงมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากฟองน้ำที่ผสมลงไปก่อนการเผาจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างอนุภาค และทำให้เกิดเป็นช่องว่างภายหลังการเผา ถ้าหากผสมฟองน้ำในปริมาณมากขึ้น ก็จะทำให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อชิ้นงานมากขึ้นตามลำดับ

ผลกระทบของแรงกดขึ้นรูป จะส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงาน โดยจะพบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการเผาที่ระดับอุณหภูมิต่ำที่ เมื่อเพิ่มแรงกดในการขึ้นรูป ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงานลดลง และจะลดลงด้วยอัตราที่น้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากฟองน้ำที่ใช้เป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่น เมื่อได้รับแรงก็จะเกิดการหดตัวตามแรงที่กระทำ และเมื่อแรงเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งแล้ว จะทำให้ฟองน้ำหดตัวเพิ่มขึ้นไม่ได้อีก ซึ่งจะเป็นจุดที่ทำให้ชิ้นงานมีความพรุนน้อยที่สุด

ผลกระทบจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเทอร์ จะส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงาน จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า ชิ้นงานผ่านการขึ้นรูปด้วยการใช้แรงกด และปริมาณฟองน้ำคองที่ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผา จะทำให้ความพรุนของชิ้นงานลดลง

สำหรับชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ผลกระทบของปริมาณผงแป้งที่ผสมลงในชิ้นงาน แรงกดขึ้นรูป และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเทอร์ ที่มีต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ จากการทดลองที่ได้ พบว่า เมื่อปริมาณผงแป้งที่ผสมลงในชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ชิ้นงานมีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เนื่องจากผงแป้งจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างอนุภาคของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ ถ้าหากผสมแป้งปริมาณมากขึ้น ผงแป้งก็จะแทรกตัวในเนื้อชิ้นงานมากขึ้น และทำให้เกิดช่องว่างภายในชิ้นงานมากขึ้นเช่นกัน

ผลกระทบจากแรงกดขึ้นรูปของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการใช้ผงแป้ง จะส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงาน จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า เมื่อเพิ่มแรงกดขึ้นรูป จะทำให้ชิ้นงานมีความพรุนลดลงจนมีค่าคงที่ ที่ระดับแรงกด 10-30 MPa และจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีก ที่ระดับแรงกดมากกว่า 30 MPa ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เมื่อออกแรงกดขึ้นรูปชิ้นงาน จะทำให้อนุภาคของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์และผงแป้งชิดตัวกันมากขึ้น ทำให้ความพรุนของชิ้นงานลดลงตามไปด้วย จนถึงระดับหนึ่งที่อนุภาคของผงชิดกันมากจนไม่สามารถที่ชิดได้มากกว่าที่เป็นอยู่ และไม่มีทางออกให้กับน้ำและผงแป้ง ซึ่งเมื่อนำชิ้นงานดังกล่าวไปเผา จะทำให้น้ำและผงแป้งหาทางออกด้วยการดันเนื้อชิ้นงานให้เกิดเป็นโพรง ทำให้ชิ้นงานมีความพรุนเพิ่มมากขึ้น

ผลกระทบจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเทอร์ จะส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง จากการทดลองทำให้ทราบว่า ชิ้นงานผ่านการขึ้นรูปด้วยแรงกด และใช้ปริมาณผงแป้งคงที่ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผา จะทำให้ความพรุนของชิ้นงานลดลง ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ

เมื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงานที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ได้จากงานวิจัยอื่น ตามตารางที่ 5.1 จะพบว่า ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำจะมีช่วงเปอร์เซ็นต์ความพรุนที่กว้างครอบคลุมงานวิจัยอื่นๆ คือ 14-76 เปอร์เซ็นต์ ส่วนชิ้นงานที่ใช้ผงแป้งจะมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบข้อมูลผลการทดลองกับการสำรวจงานวิจัย

งานวิจัย	%porosity (%)	Density (g/cm ³)	Hardness (HV)	Compressive Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	Pore Size (μm)
1. ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ	14-76	1.2-1.9	27-113	1-44	6-368	5-30
2. ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง	17-45	1.4-1.9	29-121	5-67	30-612	5-30
3. Roy DM (1975)	-	0.8	-	272	-	600
4. Rodrige (1998)	45-69	-	-	2-15 (Bending)	-	80
5. Raynaud (1998)	Dense	-	-	70-150. (Bending)	-	-
6. Ribeiro (1998)	-	0.4-0.7	-	-	-	100-500
7. Supachai (1999)	-	0.49	156	203	-	500
8. Thomas ME (1999)	55-70	1.18	-	5.7	463	-
9. Aizawa (2000)	17-55	0.9-1.25	-	-	-	280-780
10. สมเกียรติ (พ.ศ.2535)	60-74	0.6-1.25	-	-	-	150-500
11. นฤมล (พ.ศ.2535)	Dense	-	-	14.8	965	-
ค่าสูงสุด	74	1.25	156	272	965	780
ค่าต่ำสุด	17	0.4	156	2	463	80

หมายเหตุ

ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด จะไม่รวมข้อมูลของงานวิจัย 1. และ 2.

"-" คือ ไม่ได้มีการทำการทดลองหรือศึกษาสมบัตินั้นๆ

"Dense" คือ วัสดุที่มีความหนาแน่น ไม่มีรูพรุน

5.2 ความหนาแน่นบัลค์

สำหรับชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ผลกระทบของ ปริมาณฟองน้ำที่ผสมในชิ้นงาน แรงกดขึ้นรูป และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นบัลค์ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการเผาภายใต้อุณหภูมิคงที่ เมื่อผสมปริมาณฟองน้ำลงในชิ้นงานมากขึ้น จะทำให้มีค่าความหนาแน่นบัลค์ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อปริมาณฟองน้ำมากขึ้น จะทำให้ค่าความพรุนของชิ้นงานเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีความหนาแน่นของวัสดุ คือ ค่าความหนาแน่นของวัสดุ จะแปรผกผันกับ ค่าความพรุน

ผลกระทบจากแรงกดขึ้นรูปของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการใช้ฟองน้ำ จะส่งผลต่อค่าความหนาแน่นบัลค์ของชิ้นงาน โดยจะพบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการเผาที่ระดับอุณหภูมิคงที่ เมื่อเพิ่มแรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูปแล้ว จะทำให้ค่าความหนาแน่นบัลค์เพิ่มขึ้น และจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่น้อยลง ทั้งนี้เนื่องจาก แรงกดขึ้นรูปที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ฟองน้ำที่แทรกตัวอยู่ในเนื้อชิ้นงานหดตัว ทำให้ความพรุนในชิ้นงานลดลง ส่งผลให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นมากขึ้นตามลำดับ

ผลกระทบจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาชิ้นเทอร์จะส่งผลต่อค่าความหนาแน่นบัลค์ของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการใช้ฟองน้ำ จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า เมื่ออุณหภูมิในการเผาชิ้นงานเพิ่มขึ้น จะทำให้ชิ้นงานมีค่าความหนาแน่นบัลค์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่ออุณหภูมิในการเผาเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความพรุนของชิ้นงานเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

สำหรับชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ผลกระทบของปริมาณผงแป้งที่ผสมลงในชิ้นงาน แรงกดขึ้นรูป และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาชิ้นเทอร์ ที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นบัลค์ของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ปัจจัยทั้งหมดข้างต้น จะส่งผลต่อค่าความหนาแน่น โดยพบว่า ปริมาณผงแป้งที่ผสมลงในชิ้นงานจะส่งผลต่อค่าความหนาแน่นบัลค์ เมื่อปริมาณแป้งเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความหนาแน่นลดลง เนื่องจากความพรุนของชิ้นงานที่เพิ่มขึ้น

ผลกระทบจากแรงกดขึ้นรูปของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการใช้ผงแป้ง จะส่งผลต่อค่าความหนาแน่นบัลค์ของชิ้นงาน จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการเผาที่ระดับอุณหภูมิคงที่ เมื่อแรงกดเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความหนาแน่นบัลค์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน แต่ค่าความหนาแน่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดถึงระดับหนึ่งแล้วจะมีค่าคงที่ ในช่วงแรงกด 10-30 MPa ไปจน

กระทั่งแรงกดมากกว่า 30 MPa ค่าความหนาแน่นบัลค์ก็จะเริ่มลดลง เป็นไปตามความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดขึ้นรูปกับค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุน

ผลกระทบจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเทอร์ จะส่งผลต่อค่าความหนาแน่นบัลค์ของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง จากการทดลองทำให้ทราบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาชิ้นงาน จะทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ

เมื่อนำค่าความหนาแน่นของชิ้นงานที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ได้จากงานวิจัยอื่น ตามตารางที่ 5.1 พบว่า ความหนาแน่นของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำและผงแป้ง มีค่าอยู่ในช่วง 1.2-1.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์ แต่จะมีค่ามากกว่าชิ้นงานที่ขึ้นรูปจากวัสดุตามธรรมชาติ ได้แก่ Roy DM ที่สังเคราะห์มาจากปะการังจะมีความหนาแน่นประมาณ 0.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในขณะที่ชิ้นงานที่สังเคราะห์มาจากกระดูกวัวของ Supachai จะมีค่าความหนาแน่น ประมาณ 0.49 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

5.3 เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น

สำหรับชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ผลกระทบของ ปริมาณฟองน้ำที่ผสมในชิ้นงาน แรงกดขึ้นรูป และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ที่มีผลต่อ เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ปัจจัยทั้งหมดข้างต้น จะส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น โดยพบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการเผาภายใต้อุณหภูมิต่ำ เมื่อผสมปริมาณฟองน้ำลงในชิ้นงานมากขึ้น จะทำให้มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นลดลงตามลำดับ

ผลกระทบของแรงกดขึ้นรูปที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการเผาที่ระดับอุณหภูมิต่ำ เมื่อแรงกดเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น จนมีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นสูงสุดและเริ่มลดลง ในช่วงแรงกดขึ้นรูป 4-6 MPa หลังจากช่วงนี้ไปแล้ว ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นก็จะมีค่าลดลง

ผลกระทบจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเทอร์จะส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการใช้ฟองน้ำ จากการทดลองทำให้ทราบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาชิ้นงาน จะทำให้ชิ้นงานมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นเพิ่มขึ้น นั่นคือ ถ้าเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิสูงเท่าใด เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นก็จะเพิ่มขึ้นมากเท่านั้น

สำหรับชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ผลกระทบของปริมาณผงแป้งที่ผสมลงในชิ้นงาน แรงกดขึ้นรูป และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเทอร์ ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,050 และ 1,100 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มปริมาณแป้ง จะทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นลดลง ในขณะที่ชิ้นงานที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส เมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นเพิ่มขึ้นขึ้น

ผลกระทบจากแรงกดขึ้นรูปของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการใช้ผงแป้ง จะส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงาน จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการเผาที่ระดับอุณหภูมิกงที่ เมื่อแรงกดเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นมีค่าเพิ่มขึ้น จนถึงค่าสูงสุดที่ระดับแรงกด 20 MPa แล้วค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นจะเริ่มลดลงตามลำดับ

ผลกระทบจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเทอร์จะส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง จากการทดลองทำให้ทราบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาชิ้นงาน จะทำให้ชิ้นงานมีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการใช้ฟองน้ำ

5.4 ความแข็งของวัสดุ

สำหรับชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ผลกระทบของปริมาณฟองน้ำที่ผสมในชิ้นงาน แรงกดขึ้นรูป และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ที่มีผลต่อค่าความแข็งของวัสดุของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ปัจจัยข้างต้นทั้งหมด จะส่งผลต่อค่าความแข็งของวัสดุ โดยพบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการเผาภายใต้อุณหภูมิกงที่ ปริมาณฟองน้ำที่ผสมในชิ้นงานจะส่งผลต่อค่าความแข็งของวัสดุ เมื่อชิ้นงานที่ผสมฟองน้ำในปริมาณมากขึ้น จะทำให้มีค่าความแข็งของวัสดุลดลง ตามลำดับ

ผลกระทบจากแรงกดขึ้นรูปของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการใช้ฟองน้ำ จะส่งผลต่อค่าความแข็งของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิคงที่ เมื่อเพิ่มแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปแล้ว จะทำให้ค่าความแข็งของวัสดุเพิ่มขึ้น ตามลำดับ

ผลกระทบจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเทอร์จะส่งผลต่อความแข็งของวัสดุของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการใช้ฟองน้ำ จากการทดลองทำให้ทราบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีค่าความแข็งของวัสดุที่มากกว่า

สำหรับชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ผลกระทบของปริมาณผงแป้งที่ผสมลงในชิ้นงาน แรงกดขึ้นรูป และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเทอร์ ที่มีผลต่อค่าความแข็งของวัสดุของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ปัจจัยข้างต้นทั้งหมด จะส่งผลต่อค่าความแข็งของวัสดุ โดยพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณผงแป้งที่ผสมในชิ้นงานมากขึ้น จะทำให้ความแข็งของวัสดุลดลง

ผลกระทบจากแรงกดขึ้นรูปของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการใช้ผงแป้ง จะส่งผลต่อค่าความแข็งของวัสดุของชิ้นงาน จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิกิ่งที่เมื่อเพิ่มแรงกดมากขึ้น จะทำให้ค่าความแข็งของวัสดุจะมีค่าเพิ่มขึ้น จนถึงระดับหนึ่งแล้วจะมีค่าคงที่ ในช่วงแรงกด 10-30 MPa หลังจากช่วงนี้ไปค่าความแข็งของวัสดุจะเริ่มลดลงตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อชิ้นงานรับแรงกดขึ้นรูปมากเกินไปกว่าระดับสูงสุดแล้ว จะทำให้ชิ้นงานเกิดความพรุนมากกว่าปกติ ส่งผลให้ค่าความแข็งของชิ้นงานลดลงอย่างรวดเร็ว ตามความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนกับแรงกดขึ้นรูปของชิ้นงาน

ผลกระทบจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเทอร์จะส่งผลต่อความแข็งของวัสดุของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง จากการทดลองทำให้ทราบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาชิ้นงานมากขึ้น จะทำให้ชิ้นงานมีความแข็งของวัสดุเพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ

เมื่อนำค่าความแข็งของชิ้นงานที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ได้จากงานวิจัยของ Supachai ตามตารางที่ 5.1 พบว่า ค่าความแข็งสูงสุดของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ คือ 113 HV ซึ่งมีค่าต่ำกว่าชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง คือ 121 HV และมีค่าต่ำกว่าชิ้นงานจากงานวิจัยของ Supachai คือ 156 HV

5.5 ความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกด

สำหรับชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ผลกระทบของปริมาณฟองน้ำที่ผสมในชิ้นงาน แรงกดขึ้นรูป และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกด และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ปัจจัยทั้งหมดข้างต้น จะส่งผลต่อค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกด โดยพบว่า ปริมาณฟองน้ำที่ผสมในชิ้นงานจะมีผลต่อค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ เมื่อพิจารณาชิ้นงานที่ผ่านการเผาภายใต้อุณหภูมิกงที่ ชิ้นงานที่ผสมฟองน้ำในปริมาณมากขึ้น จะมีค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุลดลง ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจาก จากค่าความพรุนที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณฟองน้ำที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงลดลง

ผลกระทบจากแรงกดขึ้นรูปของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ จะส่งผลต่อค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกด และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิกงที่ เมื่อเพิ่มแรงกดที่ใช้ในการขึ้นรูป จะทำให้มีค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อชิ้นงานมีความหนาแน่นมากขึ้น จะทำให้สามารถรับแรงกดได้มากขึ้น

ผลกระทบจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเทอร์ จะส่งผลต่อค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกด และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ จากการทดลองทำให้ทราบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาชิ้นงานมากขึ้น จะทำให้ค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจาก ค่าความพรุนที่ลดลง ทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเทอร์ชิ้นงาน

สำหรับชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง ผลกระทบของปริมาณผงแป้งที่ผสมลงในชิ้นงาน แรงกดขึ้นรูป และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเทอร์ ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกด และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ปัจจัยทั้งหมดข้างต้น จะส่งผลต่อค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกด โดยพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งที่ผสมในชิ้นงานมากขึ้น จะทำให้ค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุและโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก ปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้นจะเป็นตัวเพิ่มช่องว่างในชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงานมีความพรุนมากขึ้นและส่งผลให้ความแข็งแรงของชิ้นงานลดลง

ผลกระทบจากแรงกดขึ้นรูปของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการใช้ผงแป้ง จะส่งผลต่อความแข็งแรงภายใต้แรงกด และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการเผาที่ระดับอุณหภูมิคงที่ เมื่อเพิ่มแรงกดมากขึ้น จะทำให้ค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดจะมีค่าเพิ่มขึ้น จนถึงระดับหนึ่งแล้วจะเริ่มคงที่ในช่วงแรงกด 10-20 MPa หลังจากช่วงนี้ไปค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดจะเริ่มลดลงตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อชิ้นงานที่รับแรงกดขึ้นรูปเกินกว่าระดับสูงสุดแล้ว จะทำให้ชิ้นงานมีค่าความพรุนมากกว่าปกติ ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของชิ้นงานลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องตามความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนกับแรงกดขึ้นรูปของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการผงแป้ง

ผลกระทบจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเทอร์จะส่งผลต่อความแข็งแรงภายใต้แรงกด และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง จากการทดลองทำให้ทราบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาชิ้นงาน จะทำให้ชิ้นงานมีต่อความแข็งแรงภายใต้แรงกดของวัสดุ และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดเพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ

เมื่อนำค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกด และโมดูลัสของยังภายใต้แรงกดของชิ้นงานที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับชิ้นงานของงานวิจัยอื่น พบว่า ชิ้นงานที่สังเคราะห์จากวัสดุตามธรรมชาติ คือ ปะการังของ Roy DM และกระดูกวัวของ Supachai จะมีค่าความแข็งแรงภายใต้แรงกดสูงสุด คือ 272 และ 203 MPa ตามลำดับ ในขณะที่ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้งและฟองน้ำจะมีค่าสูงสุด คือ 67 และ 44 MPa ซึ่งมีค่ามากกว่างานวิจัยของ Thomas ME ที่ขึ้นรูปชิ้นงานด้วยผงไฮดรอกซีอะพาไทต์สังเคราะห์ มีค่าประมาณ 5.7 MPa

5.2 ลักษณะโครงสร้างของชั้นงาน

สำหรับชั้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำ ชั้นงานจะมีลักษณะโครงสร้างที่เป็นแผ่น ประกอบกันเป็นชั้นๆ และมีรูพรุนเกิดขึ้น โดยมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยในช่วง 5-30 ไมโครเมตร และชั้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ผงแป้ง จะมีลักษณะโครงสร้างภายในของชั้นงานจะมีลักษณะที่ประกอบไปด้วยรูพรุนทรงกลมขนาดเล็ก โดยมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5-30 ไมโครเมตร จะเห็นได้ว่า ชั้นงานทั้งสองชนิดจะมีขนาดเฉลี่ยของรูพรุนใกล้เคียงกัน แต่จะมีลักษณะโครงสร้างภายในที่แตกต่างกัน เนื่องจากกรรมวิธีในการขึ้นรูปและวัสดุที่ใช้สร้างควมพรุนที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบรูพรุนที่เกิดขึ้นของชั้นงานที่ได้จากการทดลองกับงานวิจัยอื่น จากตารางที่ 5.1 พบว่า ขนาดเฉลี่ยของรูพรุนจากชั้นงานไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการใช้ฟองน้ำและผงแป้งจะมีขนาดเล็กมาก และจะมีลักษณะของรูพรุนที่เชื่อมต่อกันน้อยมาก เมื่อเทียบกับชั้นงานจากงานวิจัยในตารางที่ 5.1 โดยส่วนใหญ่จะมีรูพรุนขนาดใหญ่กว่า 100 ไมโครเมตร แต่จะไม่มีรูพรุนที่มีลักษณะเชื่อมต่อกัน ยกเว้นชั้นงานที่สังเคราะห์จากวัสดุตามธรรมชาติ คือ ชั้นงานที่สังเคราะห์จากปะการังของ Roy DM จะมีขนาดรูพรุนประมาณ 600 ไมครอน ชั้นงานที่สังเคราะห์จากกระดูกวัวของ Supachai จะมีขนาดรูพรุนประมาณ 500 ไมครอน ที่มีลักษณะของรูพรุนมีความเชื่อมต่อกัน