

โครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานโลหะผง เหล็กกล้าไร้สนิม 630 นีลขึ้นรูปที่ผลิตจากเม็ดนึลที่นำกลับมาใช้ใหม่

Microstructure and Mechanical Properties of Powder Metal-Injection-Molding Specimens of Stainless Steel 630

Produced from Recycled Feedstock

ศุภชัย สุรพันธุ์ วราภิจ ลิขิตยังวรา ภัทรพร รุ่งเกียรติินาวิน

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ คลองหลวง ปทุมธานี 12120

อัญชลี มโนนุกูล

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ คลองหลวง ปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบโครงสร้างจุลภาค คุณสมบัติทางฟิสิกส์และคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานโลหะผงเหล็กกล้าไร้สนิม 630 นีลขึ้นรูปที่ผลิตจากเม็ดนึลผสมระหว่างเม็ดนึลใหม่และเม็ดนึลที่นำกลับมาใช้ใหม่ ที่อัตราส่วนของเม็ดนึลที่นำกลับมาใช้ใหม่ 0, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ คุณสมบัติที่ทำการทดสอบได้แก่ ขนาดและความหนาแน่นของชิ้นงานก่อนและหลังการเผาขึ้นเทอร์ ความแข็งแรง ความแข็ง และ โครงสร้างจุลภาค เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมระหว่างเม็ดนึลใหม่และเม็ดนึลที่นำกลับมาใช้ใหม่ ผลจากการทดลองพบว่าขนาดของชิ้นงานก่อนการเผาในแต่ละอัตราส่วนผสมจะมีขนาดเท่ากัน แต่ชิ้นงานหลังการเผาจะมีขนาดของชิ้นงานแปรผันตามอัตราส่วนผสมของเม็ดนึลที่นำกลับมาใช้ใหม่ ความหนาแน่นของชิ้นงานก่อนการเผาแปรผันตามอัตราส่วนผสมของเม็ดนึลที่นำกลับมาใช้ใหม่ และความหนาแน่นของชิ้นงานหลังการเผาในแต่ละอัตราส่วนมีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่นของชิ้นงานที่ผลิตจากเม็ดนึลใหม่ทั้งหมด การเพิ่มอัตราส่วนของเม็ดนึลที่นำกลับมาใช้ใหม่ ไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงและค่าแรงดึงของชิ้นงาน โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานแต่ละอัตราส่วนของเม็ดนึลที่นำกลับมาใช้ใหม่มีลักษณะไม่แตกต่างกัน และมีลักษณะเหมือนกับโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ใช้เม็ดนึลใหม่ทั้งหมด แสดงให้เห็นว่า เม็ดนึลที่นำกลับมาใช้ใหม่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการนึลขึ้นรูปโลหะผงได้โดยไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน

คำสำคัญ : การนึลขึ้นรูปโลหะผง การเผาขึ้นเทอร์ เม็ดนึลใหม่ และ เม็ดนึลที่นำกลับมาใช้ใหม่

Abstract

In this research, microstructure, physical and mechanical properties have been performed on the specimens of powder metal injection molding of stainless steel 630, which were produced from the mixing feedstock between virgin feedstock and recycle feedstock at the ratio of recycle feedstock of 0, 25, 50, 75 and 100 percent. The properties of specimens before and after sintering that were investigated to determine the effect of the mixing portion of recycled feedstock on mechanical properties are size, density, tensile strength, hardness and microstructures. The experimental

results showed that the sizes of specimens before sintering were almost constant for all mixing ratios, but the sizes of specimens after sintering varied with the mixing ratios of the recycle feedstock. The densities of specimens before sintering varied with the mixing ratios of the recycle feedstock, and the densities of specimens after sintering were almost constant for all mixing ratios and were almost similar to the density of pure virgin feedstock. Increasing the recycle feedstock ratios did not affect the hardness and tensile strength values of specimens. The microstructures of specimens for all ratios of recycle feedstock were not different and quite similar to the microstructures of specimens produced from virgin feedstock. It was obvious that the recycle feedstock could be used in the powder metal injection molding process without any effect on the mechanical properties and microstructures of specimens.

Keywords: powder metal injection molding, sintering, virgin feedstock and recycled feedstock

1. คำนำ

กระบวนการฉีดขึ้นรูปโลหะผง (Metal Injection Molding, MIM) เป็นวิธีการขึ้นรูปชิ้นงานที่พัฒนาจากกระบวนการฉีดพลาสติก โดยการฉีดเม็ดผสม (Mixed feedstock) ซึ่งมีส่วนผสมของผงโลหะและพลาสติกเข้าไปในแม่พิมพ์ ลักษณะเด่นของการฉีดขึ้นรูปโลหะผง คือ สามารถผลิตชิ้นงานโลหะที่มีขนาดเล็กและรูปร่างซับซ้อนได้ดี อีกทั้งมีเศษเหลือทิ้งน้อย ซึ่งนอกจากจะเป็นการเพิ่มความสามารถในการผลิตชิ้นงานแล้ว ยังเป็นการลดต้นทุนให้กับกระบวนการผลิตอีกด้วย จากข้อดีเหล่านี้ทำให้กระบวนการฉีดขึ้นรูปโลหะผงมีความได้เปรียบทางเศรษฐกิจมากกว่ากระบวนการขึ้นรูปอื่นๆ และยังเป็นທີ່ได้รับความสนใจจากภาคอุตสาหกรรมมากมาย เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์เครื่องมือการแพทย์ เป็นต้น

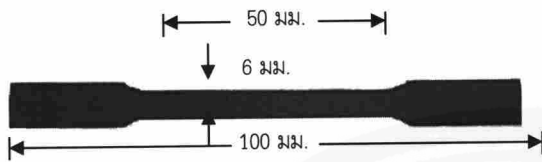
อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการฉีดขึ้นรูป จะมีวัสดุส่วนที่เหลือทิ้งเกิดขึ้น ซึ่งเป็นส่วนของแบบสำหรับการฉีดขึ้นรูป เช่น รูฉีด (sprue) และทางเข้า (gate) อีกทั้งยังมีชิ้นงานฉีดที่เกิดข้อบกพร่อง ชิ้นส่วนเหล่านี้ไม่สามารถนำไปใช้ได้ แต่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยการนำไปบดให้มีขนาดที่เหมาะสมสำหรับการใช้ฉีดอีกครั้ง เรียกว่า เม็ดฉีดนำกลับมาใช้ใหม่ (recycled feedstock) ทำให้สามารถช่วยลดต้นทุนวัตถุดิบในกระบวนการผลิตได้

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานโลหะผงเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 630 ที่ผลิตขึ้นรูปที่ผลิตจากการผสมระหว่างเม็ดฉีดใหม่ (virgin feedstock) และเม็ดฉีดนำกลับมาใช้ใหม่ (recycled feedstock) ที่สัดส่วนต่างๆ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของส่วนผสมเม็ดฉีดที่นำกลับมาใช้ใหม่ต่อคุณสมบัติทางกลของชิ้นงาน ผลที่ได้จากการวิจัยนี้ จะสามารถช่วยลดต้นทุนในกระบวนการผลิตได้ และเป็นการพัฒนากระบวนการฉีดขึ้นรูปโลหะผงขึ้นไปได้อีกขั้นหนึ่ง งานวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ในการทดลองผลิตชิ้นงานโลหะผงฉีดขึ้นรูป และทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของชิ้นงาน

2. วิธีการทดลอง

ทำการเตรียมเม็ดฉีดผงโลหะที่จะใช้ในการทดลอง โดยการบดชิ้นส่วนที่ไม่ใช้งานแล้ว ได้แก่ ทางวิ่ง (runner), รูฉีด (sprue) และชิ้นงานบกพร่อง แล้วนำมาผสมกับเม็ดฉีดใหม่ในอัตราส่วน 25%, 50%, 75% และ 100% โดยทำการผสมอัตราส่วนละ 5 กิโลกรัม และทำการฉีดขึ้นงานจำนวนอัตราส่วนละ 30 ชิ้นเพื่อนำมาใช้ในการทดลอง ชิ้นงานมีขนาดความยาวทั้งหมด 100 มม. ความยาวช่วงการยึดตัว 50 มม. ความกว้างและความหนาช่วงการยึดตัว 6

และ 3 มม. ตามลำดับ รูปร่างและขนาดของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบแรงดึงแบบแผ่น

ทำการเผาชิ้นงานในเตาที่ควบคุมบรรยากาศด้วย ก๊าซอาร์กอน โดยการเพิ่มอุณหภูมิอย่างช้าๆ เพื่อไล่ตัว ประสานออกจากชิ้นงาน และทำการเผาที่อุณหภูมิ 1325 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 26 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดความแข็งแรง

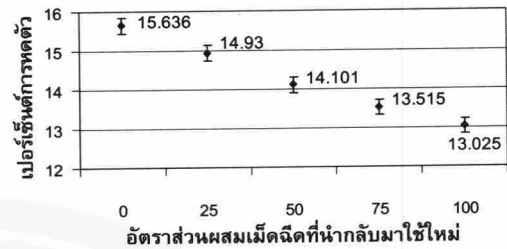
คุณสมบัติของชิ้นงานที่ทำการทดสอบ ได้แก่ ขนาด และความหนาแน่นของชิ้นงานก่อนและหลังการเผา ซินเทอร์ โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบ การทดสอบแรงดึง และการทดสอบความแข็ง ซึ่งค่าที่ได้ ทั้งหมดนี้จะนำมาทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับ ชิ้นงานที่ได้จากการใช้เม็ดคิดใหม่ทั้งหมด

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ขนาดของชิ้นงานก่อนและหลังการเผา

ทำการวัดขนาดของชิ้นงานก่อนการเผา และหลัง การเผา จำนวนอัตราส่วนละ 15 ชิ้น นำค่าทั้งสองมา คำนวณหาอัตราการหดตัวหลังการเผา (Shrinkage)

ผลจากการวัดขนาดของชิ้นงานพบว่า ชิ้นงานก่อน การเผาในแต่ละอัตราส่วนผสมจะมีขนาดเท่ากัน แต่ ชิ้นงานหลังการเผามีขนาดของชิ้นงานแปรผันตามอัตรา ส่วนผสมของเม็ดคิดที่นำกลับมาใช้ใหม่ หรือกล่าวอีกนัย หนึ่งก็คือมีอัตราการหดตัวที่น้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 2

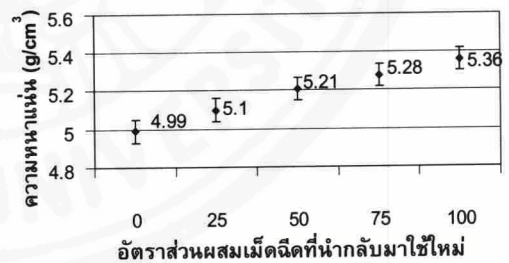


รูปที่ 2 แสดงอัตราการหดตัวของชิ้นงานที่ได้ จากการใช้ เม็ดคิดใหม่และที่ผสมเม็ดคิดที่นำกลับมาใช้ใหม่

3.2 ความหนาแน่น

ทำการทดลองหาค่าความหนาแน่นโดยใช้หลักการ ของอาร์คิมิดีส นำชิ้นงานอัตราส่วนละ 15 ชิ้นมาหาความ หนาแน่น ผลจากการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ความ หนาแน่นของชิ้นงานก่อนการเผาและหลังการเผา

ความหนาแน่นของชิ้นงานก่อนการเผาจะแปรผัน ตามอัตราส่วนผสมของเม็ดคิดที่นำกลับมาใช้ใหม่ แสดงได้ ดังรูปที่ 3 และความหนาแน่นชิ้นงานหลังการเผาในแต่ละ อัตราส่วนมีค่าใกล้เคียงกันมาก และมีค่าใกล้เคียงกับความ หนาแน่นของชิ้นงานที่ได้จากการใช้เม็ดคิดใหม่ทั้งหมด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.5 กรัม/ลบ.ซม.



รูปที่ 3 แสดงความหนาแน่นก่อนการเผาของชิ้นงานที่ได้ จากการ ใช้เม็ดคิดใหม่และที่ผสมเม็ดคิดที่ นำกลับมาใช้ใหม่

จากผลการทดลองเห็นได้ว่า การใช้เม็ดฉีดยาน้ำ กลับมาใช้ใหม่ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อความหนาแน่นก่อนการเผาของชิ้นงานมีค่ามากขึ้นด้วย แต่ความหนาแน่นของชิ้นงานหลังการเผามีค่าประมาณใกล้เคียงกันสำหรับทุก ๆ อัตราส่วนผสมของเม็ดฉีดยาน้ำกลับมาใช้ใหม่ อย่างไรก็ตามความหนาแน่นก่อนการเผาของชิ้นงานไม่ได้ถูกนำมาใช้งานจริงในกระบวนการ

3.3 ความแข็งแรงของชิ้นงาน

ทำการสุ่มชิ้นงานมาทดสอบอัตราส่วนละ 3 ชิ้น ทำการวัดความแข็งด้วยวิธี Rockwell scale C โดยวัด 5 จุดต่อ 1 ชิ้นงาน ผลการวัดค่าความแข็งแรงของชิ้นงานหลังการเผามีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มอัตราส่วนของเม็ดฉีดยาน้ำกลับมาใช้ใหม่ ไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงาน

3.4 ค่าแรงดึงของชิ้นงาน

ทำการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานโดยการสุ่มชิ้นงานอัตราส่วนละ 5 ชิ้น ผลจากการทดสอบแรงดึงปรากฏว่า ชิ้นงานแต่ละอัตราส่วนผสมมีค่าที่ได้ใกล้เคียงกันทุกอัตราส่วน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 แสดงค่าความแข็งแรงของชิ้นงานที่มีส่วนผสมของเม็ดฉีดยาน้ำกลับมาใช้ใหม่ที่อัตราส่วนผสม 0, 25, 50, 75 และ 100%

ส่วนผสมเม็ดฉีดยาน้ำกลับมาใช้ใหม่	ความแข็งแรง (HRC)
0%	27.14
25%	27.67
50%	27.67
75%	27.13
100%	27.13

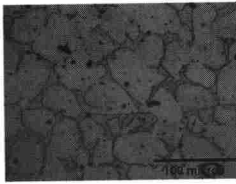
ตารางที่ 2 แสดงค่าแรงดึงของชิ้นงานที่มีส่วนผสมของเม็ดฉีดยาน้ำกลับมาใช้ใหม่ที่อัตราส่วนผสม 0, 25, 50, 75 และ 100%

ส่วนผสมเม็ดฉีดยาน้ำกลับมาใช้ใหม่	อัตราการใช้ (%)	โมดูลัสความยืดหยุ่น (GPa)	ความแข็งแรงสูงสุด (MPa)
0%	6.91	138.92	901.29
25%	6.69	124.35	918.79
50%	6.97	125.47	908.60
75%	7.08	130.91	930.36
100%	6.85	130.93	927.31

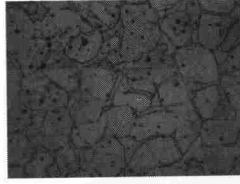
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มอัตราส่วนของเม็ดฉีดยาน้ำกลับมาใช้ใหม่ ไม่ส่งผลต่อค่าคุณสมบัติแรงดึงของชิ้นงาน

3.5 โครงสร้างจุลภาค

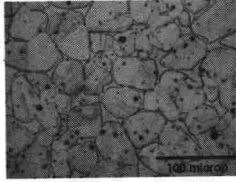
โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานของแต่ละอัตราส่วนของเม็ดฉีดยาน้ำกลับมาใช้ใหม่มีลักษณะไม่แตกต่างกัน และมีลักษณะเหมือนกับชิ้นงานที่ใช้เม็ดฉีดยาน้ำทั้งหมดในรูปที่ 4 แสดง เปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคชิ้นงานที่มีส่วนผสมของเม็ดฉีดยาน้ำกลับมาใช้ใหม่ในอัตราส่วน 0, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างจุลภาคและขนาดเกรนที่เหมือนกัน มีผลทำให้คุณสมบัติทางกลของชิ้นงานที่มีส่วนผสมทั้ง 5 ชนิด ไม่แตกต่างกัน



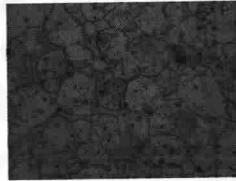
(ก)



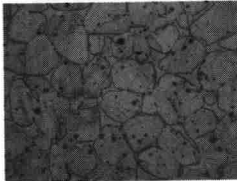
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่มีส่วนผสมเม็ดรีด
นำกลับมาใช้ใหม่ (ก) 0% (ข) 25% (ค) 50% (ง)
75% (จ) 100%

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติทางกลของชิ้นงาน ได้แก่ ความหนาแน่น ความแข็ง และ แรงดึงของชิ้นงาน มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการใช้เม็ดรีดใหม่ทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าการนำเม็ดรีดที่ผ่านการฉีดมาแล้ว 1 ครั้งมาใช้ใหม่นี้ไม่ส่งผลต่อค่าคุณสมบัติของชิ้นงานที่ได้

แต่อย่างไรก็ตามขนาดของชิ้นงานที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราส่วนผสมของเม็ดรีดที่นำกลับมาใช้ใหม่ กล่าวคือ เมื่อทำการผสมเม็ดรีดที่นำกลับมาใช้ใหม่ลงไปปริมาณที่มากขึ้นก็จะส่งผลให้ชิ้นงานมีอัตราการ

หดตัวหลังการเผาน้อยลง ซึ่งก็จะมีขนาดใหญ่กว่าชิ้นงานที่ใช้เม็ดรีดที่ไม่ได้ผสมเม็ดรีดที่นำกลับมาใช้ใหม่

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการนำเอาเม็ดรีดที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว 1 ครั้ง นำกลับมาใช้ใหม่ เป็นวัตถุดิบสำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูป สามารถกระทำได้โดยชิ้นงานมีคุณสมบัติทางกลไม่ต่างไปจากการใช้เม็ดรีดใหม่ในการขึ้นรูปชิ้นงาน แต่จะมีขนาดของชิ้นงานหลังการเผาเปลี่ยนแปลง คือ มีขนาดใหญ่ขึ้นตามอัตราส่วนของเม็ดรีดที่นำกลับมาใช้ใหม่ที่ทำการผสมลงไป ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมของการใช้เม็ดรีดที่นำกลับมาใช้ใหม่นี้ จะขึ้นอยู่กับค่าความเผื่อหรือความคลาดเคลื่อนของขนาดที่สามารถยอมรับได้ของชิ้นงานนั้นๆ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรม รวมทั้งให้โอกาสในการแสดงผลงานวิจัยแก่บุคคลภายนอกที่สนใจและ ได้รับความร่วมมือจากบริษัท พี พี เอ็ม ซี (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้โอกาสผู้จัดทำได้เข้าไปศึกษากระบวนการผลิตภายในโรงงาน ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้วิจัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

6. บรรณานุกรม

- [1] ASM HANDBOOK, volume 7, Powder Metal Technologies and Applications, Metal Park, 1998.
- [2] F. Christien, R.Le Gall, G. Saindrenan, Phosphorus grain boundary segregation in steel 17-4PH, Scripta Materialia 48 (2003) 301-306.
- [3] Hwan-Jin Sung, Tae Kwon Ha, Sangho Ahn, Young Won Chang, Powder injection molding of a 17-4PH stainless steel and the effect of sintering temperature on its microstructure and mechanical properties,

Journal of Materials Processing Technology 130-131

(2002) 321-327

- [4] N.H. Loh, R.M. German, Statistical analysis of shrinkage variation for powder injection molding,

Journal of Materials Processing Technology 59

(1996) 278-284

