

รายงานฉบับสมบูรณ์

ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินอุดหนุนทั่วไปจากรัฐบาลประจำปีงบประมาณ 2558

ชื่อโครงการ

การพัฒนาเทคนิคการเตรียมตัวเรือนด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง

สัญญา เลขที่ GRB_APS_51_58_62_03

ผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐริตา ชวนเกริกกุล

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรกฎาคม 2559

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการดำเนินงานจากทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินอุดหนุนทั่วไปจากรัฐบาลประจำปีงบประมาณ 2558 ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์เตาเผาอุณหภูมิสูงสำหรับการเผาชิ้นงานในโครงการวิจัยนี้ ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย ตลอดจนบุคลากรในสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ ที่มีส่วนช่วยให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ชื่อโครงการวิจัย การพัฒนาเทคนิคการเตรียมตัวเรือนด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง

ชื่อผู้วิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐฐิตา ชวนเกริกกุล
เดือนและปีที่ทำวิจัยเสร็จ กรกฎาคม 2559

บทคัดย่อ

ชิ้นงานอะลูมินาสามารถผลิตได้โดยกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง โดยเตรียมส่วนผสมที่มีปริมาณของแข็งอยู่ร้อยละ 48-50 โดยปริมาตร ใช้ตัวประสานชนิดที่มีองค์ประกอบหลักเป็นพอลิเอทิลีนไกลคอลซึ่งสามารถกำจัดออกได้โดยการละลายน้ำ จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของน้ำ ส่งผลต่ออัตราการกำจัดตัวประสาน โดยอุณหภูมิที่สูงกว่าจะช่วยให้ตัวประสานถูกกำจัดได้รวดเร็วกว่า ทำการเผาชิ้นเทอร์ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1600-1700 องศาเซลเซียส ความแข็งแรงของชิ้นงานหลังเผาที่สูงสุดมีค่าเป็น 216 เมกกะปาสคาล ซึ่งได้จากชิ้นงานที่มีปริมาณของแข็งอยู่ร้อยละ 50 และทำการเผาที่อุณหภูมิ 1600 องศาเซลเซียส ชิ้นงานหลังเผามีค่าความหนาแน่นเป็นร้อยละ 89.6 - 95.4 ของความหนาแน่นตามทฤษฎี และชิ้นงานมีการหดตัวอยู่ในช่วง 15 - 16 % นอกจากนี้ยังสามารถผลิตชิ้นงานให้มีรูปร่างเป็นแซกโซโฟนได้ด้วย และผลงานที่ได้จากโครงการวิจัยเรื่องนี้ ได้รับรางวัลรองชนะเลิศ การนำเสนอผลงานแบบโปสเตอร์ เรื่อง การเตรียมตัวเรือนเครื่องประดับด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง จากการประชุมวิชาการโลหะวิทยาแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9

Research Project: Preparation of jewelry articles by powder injection molding

Researcher: Assistant Professor Dr. Nutthita Chuankrerkkul

Date: July 2016

Abstract

Alumina articles can be fabricated by powder injection moulding technique. Powder loading in range of 48-50 vol% can be prepared. The binder composed mainly of polyethylene glycol (PEG) could be removed by water immersion method. Temperature of water affected rate of binder removal as the rate increased with higher temperature. Sintering was performed at 1600 and 1700 °C. The 3-point bending strength of 216 MPa was achieved from specimens with 50 vol% powder loading, sintered at 1600 °C. Densities of specimens were in range 89.6-95.4% of the theoretical value and shrinkages were 15-16 %. In addition to rectangular bar specimens, the specimens in shape of saxophone were also fabricated. The results obtained from this research project also received poster award from the Ninth Thailand Metallurgy Conference (TMETC-9).

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ii
บทคัดย่อ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	v
สารบัญรูป	vi
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์	2
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	5
3.1 เครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผงระดับห้องปฏิบัติการ	5
3.2 การฉีดขึ้นรูปวัสดุผง	6
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	8
4.1 ผลการศึกษาลักษณะเฉพาะของผงวัสดุและตัวประสาน	8
4.2 ผลของการฉีดขึ้นรูป	9
4.3 ผลการศึกษาการกำจัดตัวประสาน	10
4.4 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน	10
4.5 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน	11
4.6 ผลการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน	12
4.7 ผลการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานแซกโซโฟน	12
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน	14
บรรณานุกรม	15
ภาคผนวก รางวัลจากผลงานของโครงการวิจัย	17
ประวัติผู้วิจัย	18

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 3.1	ส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองฉีดขึ้นรูปวัสดุผง	6
ตารางที่ 4.1	ค่าความแข็งแรงของชิ้นงานอะลูมินา หลังฉีดขึ้นรูป หลังกำจัดตัวประสาน และหลังเผา	11
ตารางที่ 4.2	ค่าความหนาแน่น และการหดตัว ของชิ้นงานอะลูมินา หลังเผาที่อุณหภูมิ 1600 และ 1700 องศาเซลเซียส	12

สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 2.1	กระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง (powder injection moulding)	2
รูปที่ 2.2	ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ผลิตโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง	4
รูปที่ 3.1	เครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผงระดับห้องปฏิบัติการ	5
รูปที่ 3.2	ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง	7
รูปที่ 3.3	แม่พิมพ์สำหรับฉีดขึ้นงานรูปแท่งไซโฟน	7
รูปที่ 4.1	ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคผงอะลูมินาด้วย Laser particle size analyser	8
รูปที่ 4.2	ลักษณะผงอะลูมินาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	8
รูปที่ 4.3	ผลจากเครื่อง Thermogravimetric analysis ของตัวประสานทั้ง 2 ชนิด	9
รูปที่ 4.4	ชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง	9
รูปที่ 4.5	กราฟแสดงร้อยละตัวประสานชนิด PEG ที่ถูกกำจัดออก เมื่อแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ ต่าง ๆ กัน	10
รูปที่ 4.6	โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอะลูมินาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ (ก) 1600 องศาเซลเซียส (ข) 1700 องศาเซลเซียส	12
รูปที่ 4.7	ชิ้นงานต้นแบบรูปแท่งไซโฟนที่ได้จากกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง	13

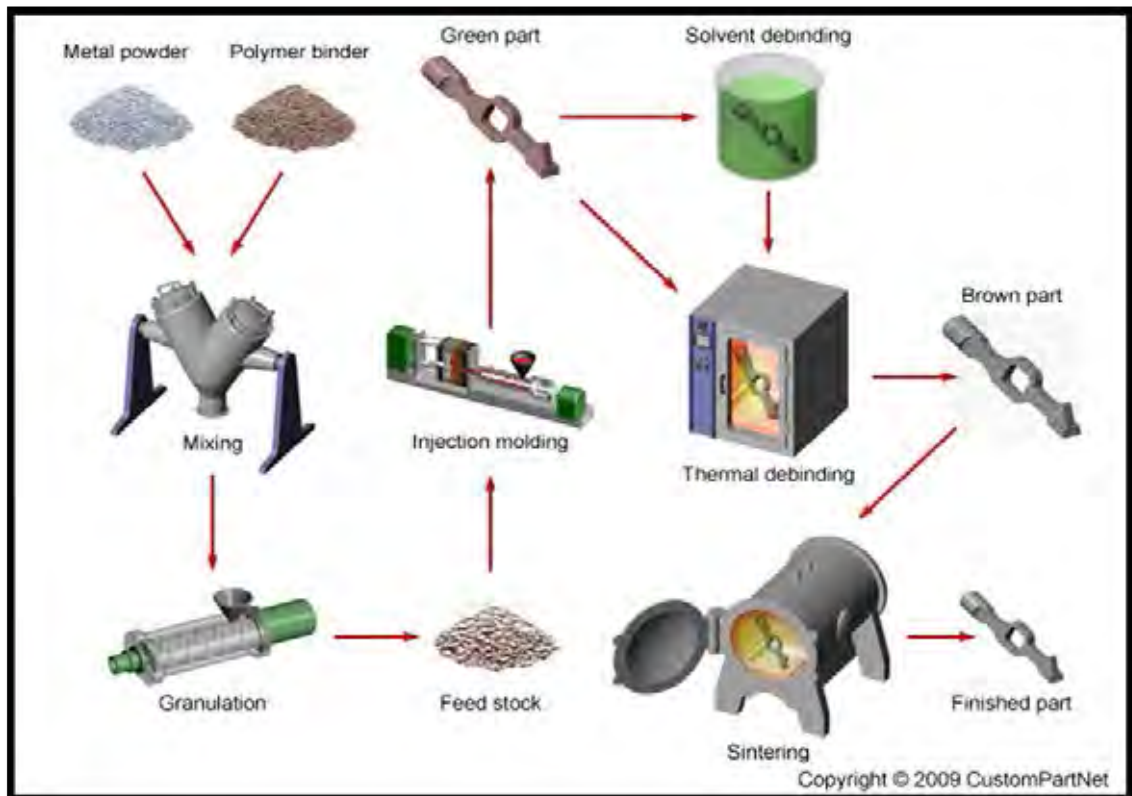
บทที่ 1 บทนำ

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของไทย เป็นอุตสาหกรรมสำคัญที่นำรายได้เข้าสู่ประเทศเป็นจำนวนมาก วิธีการเตรียมตัวเรือนเครื่องประดับโดยใช้การหลอมต้องใช้อุณหภูมิสูง หรือการเตรียมตัวเรือนโดยวิธี investment casting จะต้องมีการใช้ปูนหล่อแบบที่จะกลายเป็นของเหลวที่จากกระบวนการผลิตจำนวนมาก และมีหลายขั้นตอน การขึ้นรูปด้วยวิธีการฉีควัสดุผงมีจุดเด่นสำหรับการขึ้นรูปชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กและรูปร่างซับซ้อนได้ สามารถประยุกต์ใช้กับวัสดุได้หลายประเภท โดยจะลดขั้นตอนเมื่อเทียบกับการทำ investment casting รวมทั้งลดค่าใช้จ่ายในการหลอมโลหะได้ เนื่องจากการเผาผนึกโลหะจะใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของโลหะนั้น นอกจากนี้ยังสามารถผลิตชิ้นงานที่มีอุณหภูมิหลอมเหลวสูงมาก เช่นโลหะบางชนิดหรือเซรามิกได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้ เพื่อพัฒนาเทคนิคการเตรียมตัวเรือนเครื่องประดับด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง

บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์

กระบวนการขึ้นรูปวัสดุผงมีอยู่หลายวิธี ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามลักษณะการนำไปใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นการอัดขึ้นรูป (dry pressing) การรีดขึ้นรูป (extrusion) การหล่อแบบ (slip casting) ตลอดจนการฉีดขึ้นรูป (powder injection moulding) สำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง ขั้นตอนการผลิตจะประกอบด้วย การผสมผงวัสดุกับตัวประสาน การฉีดขึ้นรูป การกำจัดตัวประสาน และการเผาซินเทอร์ (German and Bose, 1997) การขึ้นรูปวิธีนี้มีข้อดีสำหรับการเตรียมชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก และมีรูปร่างซับซ้อนคือจะประหยัดวัตถุดิบและประหยัดพลังงาน ลดค่าใช้จ่ายสำหรับอุปกรณ์ในการตัด เนื่องจากชิ้นงานที่เตรียมได้จะมีรูปร่างใกล้เคียงชิ้นงานสุดท้าย (near-net shape) นอกเหนือจากการผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรมแล้ว กระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผงยังสามารถใช้ในการผลิตตัวเรือนและสายนาฬิกาได้ (Williams, 2008) โดยใช้วัสดุประเภทเหล็กกล้าไร้สนิม หรือเซรามิกประเภทคาร์ไบด์ และเซอร์โคเนีย นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มที่จะนำวิธีการนี้มาผลิตเครื่องประดับจากโลหะมีค่าได้เช่นกัน (Strauss, 2008) โดยความท้าทายจะอยู่ที่การเลือกใช้นิตและปริมาณของตัวประสานที่เหมาะสม ตลอดจนการเลือกใช้กระบวนการกำจัดตัวประสาน (debinding) เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่ไม่มีตัวประสานตกค้างอยู่ภายใน วิธีนี้ยังสามารถผลิตชิ้นงานที่มีช่องว่างภายใน (กลวง) ได้ ในขณะที่วิธีเดิมคือ investment casting ไม่สามารถทำได้ แผนภาพแสดงขั้นตอนของกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง (powder injection moulding)

การเลือกชนิดตัวประสานและวิธีในการกำจัดเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการผลิต การกำจัดตัวประสานโดยการให้ความร้อนเพียงอย่างเดียวจะใช้เวลาานานมาก ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่าย เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้จึงได้มีการศึกษาวิจัยตัวประสานผสมที่องค์ประกอบส่วนใหญ่สามารถกำจัดได้โดยใช้ตัวทำละลาย โดยส่วนมากตัวประสานชนิดที่เป็นแว็กซ์จะถูกละลายด้วยเฮปแทนซึ่งเป็นสารเคมี ดังนั้นการพัฒนาตัวประสานที่สามารถละลายน้ำได้จึงมีความน่าสนใจ อันจะทำให้เป็นกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและลดค่าใช้จ่ายได้อีกด้วย กลุ่มวิจัยของมหาวิทยาลัยเซฟฟิลด์ ประเทศอังกฤษได้พัฒนาตัวประสานที่มีองค์ประกอบหลักเป็นพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่สามารถละลายน้ำได้ และองค์ประกอบรองคือพอลิเมทิลเมทาคริเลท ที่จะถูกกำจัดออกไปในขณะให้ความร้อนเพื่อทำการเผาซินเทอร์ (Chuankrerkkul, 2006) ตัวประสานผสมนี้ถูกนำมาใช้ในการผลิตวัสดุชนิดที่เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดต่างๆ (Anwar และคณะ 1995 Omar และคณะ 1999 และ Newell และคณะ 2005) ตัวประสานชนิดนี้ยังได้รับการพัฒนาให้สามารถใช้ได้กับเซรามิกผสมระหว่างอนอร์ไทต์กับมัลไลต์ (Wong, 2003) ตลอดจนวัสดุประเภททั้งสแตนคาร์ไบด์-โคบอลต์ฮาร์ดเมทัลอีกด้วย (Chuankrerkkul และคณะ, 2007)

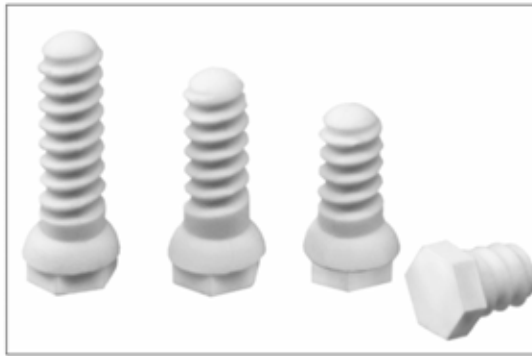
รายละเอียดของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวประสานชนิด PEG/PMMA อาทิเช่น มีการศึกษาการใช้ PEG ที่มี molecular weight ต่างๆกัน รวมทั้งการเลือกใช้วิธีการผสม 2 วิธี สำหรับวัสดุที่ไม่เกิดและวัสดุที่จะเกิดปฏิกิริยากับน้ำ ในวิธีแรกวัสดุจะถูกผสมกับ PMMA หลังจากนั้นละลาย PEG ในน้ำ แล้วค่อยๆเติมลงในส่วนผสมจนกลายเป็นสเลอรีที่มีความหนืดสูง หลังจากนั้นทำให้แห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ และมีการกวนอย่างสม่ำเสมอเพื่อหลีกเลี่ยงการตกตะกอนหรือแยกชั้น หลังจากนั้นทำการรีดเพื่อลดฟองอากาศที่แทรกตัวอยู่ในส่วนผสม สำหรับวิธีการผสมวัสดุที่จะเกิดปฏิกิริยากับน้ำ จะทำโดยการผสม PMMA กับผงวัสดุ ก่อนที่จะนำไปผสมกับ PEG ที่ละลายมาในแอลกอฮอล์ หลังจากนั้นทำตามขั้นตอนเดียวกับวิธีแรก เมื่อนำชิ้นงานที่ผ่านการฉีดขึ้นรูปและทำการกำจัดตัวประสาน (โดยการแช่น้ำ) ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM จะพบว่ามีช่องว่างต่อเนื่อง ซึ่งช่องว่างนี้จะช่วยให้การสลายตัวของ PMMA ที่อยู่ในสถานะที่เป็นก๊าซเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

นอกจากนี้ยังพบว่าการเติม stearic acid ลงไปในส่วนผสม จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผสมและในการขึ้นรูป เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่า stearic acid เป็นสารหล่อลื่นที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่อย่างไรก็ตามการเติมสารหล่อลื่นนี้ก็มีข้อจำกัดเนื่องจากการมี stearic acid ในปริมาณมากจะทำให้ค่าความแข็งแรงหลังจากการขึ้นรูปของชิ้นงานลดลง ปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง เช่น ขนาด และการกระจายขนาดอนุภาค อัตราส่วนของผงวัสดุกับตัวประสาน ชนิดของตัวประสาน ตลอดจนเวลาในการกำจัดตัวประสาน อุณหภูมิของน้ำที่ใช้เป็นตัวทำละลาย และปัจจัยอื่นๆ ที่ยังต้องการการศึกษาเพิ่มเติมโดยเฉพาะอย่างยิ่งการประยุกต์ใช้ในการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องและจากการสืบค้นข้อมูลต่างๆ ทำให้เห็นว่างานวิจัยในโครงการนี้จะพัฒนาเทคนิคการเตรียมตัวเรือนโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผงมีความเป็นไปได้สูง และถ้าใช้ตัวประสานที่สามารถละลายน้ำได้ จะทำให้โครงการมีความน่าสนใจ โดยถ้าประสบความสำเร็จ จะทำให้ลดการใช้สารเคมี ได้กระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ประหยัดพลังงาน

ลดค่าใช้จ่าย และสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อผลิตตัวเรือนเครื่องประดับเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวหรือผลิตส่งออกเพื่อนำรายได้เข้าประเทศได้

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ผลิตโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง แสดงดังรูปที่ 2.2 อาทิเช่น สกรูสำหรับกระดูกที่ทำจากอะลูมินาที่เข้ากันได้ทางชีวภาพ แบร็กเก็ตเซรามิกทันตกรรมที่ทำจากอะลูมินาโปร่งแสง หรือสายและตัวเรือนนาฬิกาที่ทำจากเซอร์โคเนีย เป็นต้น



Biocompatible alumina bone screws (Courtesy Kläger Spritzguss)



Dental brackets made from translucent alumina (Courtesy Inmatec)



CIM zirconia watch parts for the luxury market (Courtesy Inmatec)

รูปที่ 2.2 ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ผลิตโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง
(ที่มา: www.pim-international.com)

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 เครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผงระดับห้องปฏิบัติการ

เครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผงระดับห้องปฏิบัติการ (รูปที่ 3.1) ที่ได้จัดสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการดำเนินงานโครงการวิจัยนี้ เป็น เครื่องฉีดแบบใช้กระบอกลม ซึ่งต้นกำเนิดลมอาจจะมาจากถังเก็บลม (Compressed air) หรือว่ามาจากปั๊มลมก็ได้ ในโครงการนี้เลือกใช้ปั๊มลมซึ่งควบคุมการทำงานโดยใช้ไฟฟ้า เพื่อให้สะดวกกับการ ปฏิบัติงาน ไม่ต้องเปลี่ยนถังเก็บลม เมื่อใช้งานจนลมหมดถัง และกำหนดให้โครงสร้างของเครื่องทำจากโลหะ เพื่อให้เครื่องฉีดมีความแข็งแรง ขนาดตามสัดส่วนที่พอเหมาะกับการทำงาน และเคลื่อนย้ายได้ ความสูงระหว่างชั้นไม่น้อยกว่า 8 นิ้ว เพื่อให้สามารถยื่นมือเข้าไปจัดการกับส่วนต่างๆได้ ส่วนเก็บ Feedstock ทรงกระบอก ปลายเป็นรูเปิดขนาดเล็ก เพื่อให้ส่วนผสมถูกฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ได้ ภายนอกล้อมรอบด้วย Heating jacket เป็นตัวเพิ่มอุณหภูมิให้กับ Feedstock และมี Thermocouple สำหรับวัดอุณหภูมิซึ่งจะมีระบบควบคุมไฟฟ้าต่อไว้ที่กล่องควบคุมด้วย ตัวควบคุมและปรับอุณหภูมิใช้แบบ Digital เพื่อให้สะดวกและง่ายในการบันทึกอุณหภูมิระหว่างการทดลอง ส่วนด้านล่างที่ใช้วางแม่พิมพ์ให้มีแผ่นเหล็กที่มีความหนาต่างๆ กันไว้สำหรับดันให้แม่พิมพ์ปิดสนิทในขณะที่ทำการทดลอง โดยใช้แกนยึดสองฝั่งเป็นตัวดันมีแกนหมุนสำหรับดันแม่พิมพ์ และแผ่นเหล็กให้แน่น



รูปที่ 3.1 เครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผงระดับห้องปฏิบัติการ

3.2 การฉีดขึ้นรูปวัสดุผง

เตรียมวัสดุผงเซรามิกชนิดอะลูมินา ผสมกับตัวประสานที่ประกอบด้วยพอลิเอทิลีนไกลคอล และพอลิไวนิลพิวทริรอล ปริมาณร้อยละ 80 และ 20 โดยน้ำหนักตามลำดับ เตรียมเป็นส่วนผสมที่มีปริมาณผงวัสดุเป็นร้อยละ 48 - 50 โดยปริมาตร (48 -50 vol% powder loading)

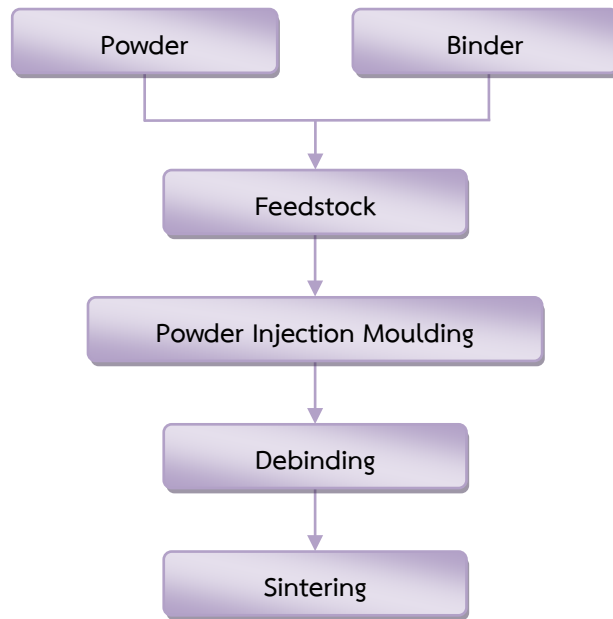
ทำการฉีดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผงระดับห้องปฏิบัติการ เตรียมเป็นชิ้นงานขนาด 5 x 5 x 55 มิลลิเมตร เพื่อเตรียมชิ้นงานสำหรับการศึกษาการกำจัดตัวประสานโดยการแช่น้ำ และศึกษาคุณสมบัติการเผาที่ที่เหมาะสม ขั้นตอนการทดลองสามารถสรุปได้ตามแผนภาพในรูปที่ 3.1 สำหรับงานวิจัยนี้ดำเนินการโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผงระดับห้องปฏิบัติการ ที่ได้รับงบประมาณจากทุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2558

ขั้นตอนการทดลองประกอบด้วย

1. ชั่งส่วนผสมตามสูตรที่กำหนดไว้ (ตารางที่ 3.1)
2. ผสม PVB กับผงอะลูมินา แล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (บีกเกอร์ 1)
3. นำ PEG ใส่ตู้อบ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (บีกเกอร์ 2)
4. เทผงจากบีกเกอร์ 1 ลง บีกเกอร์ 2 แล้วใช้ spatula คนให้เข้ากัน
5. นำส่วนผสม (feedstock) ที่เตรียมได้ ใส่ลงในเครื่องฉีด โดยใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส
6. นำชิ้นงานไปแช่ในน้ำ ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส หลังจาก นั้นนำชิ้นงานขึ้นจากน้ำ และอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง เพื่อให้ชิ้นงานแห้ง แต่ป้องกันการระเหยของ PEG ที่ยังคงเหลือในชิ้นงาน
7. ศึกษาอัตราการกำจัดตัวประสาน
8. สังเกตลักษณะชิ้นงานขณะแช่น้ำ และหลังจากอบแห้งแล้ว
9. นำไปทำการเผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1600-1700 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการรักษาอุณหภูมิสูงสุด 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองฉีดขึ้นรูปวัสดุผง

Al ₂ O ₃	Powder loading (vol%)	PEG (wt%)	PVB (wt%)
A	48	80	20
B	50	80	20



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง

หลังจากการเตรียมส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการฉีดขึ้นรูปแล้ว จะเป็นการพัฒนาแม่พิมพ์ให้มีรูปทรงแปลกใหม่ ไม่ใช่รูปทรงทางเรขาคณิต เพื่อเป็นต้นแบบในการฉีดขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับต่อไปในอนาคต โดยเริ่มต้นจากแบบที่ยังไม่ซับซ้อนมากนัก โดยแบบที่สนใจคือ รูปร่างโค้งงอเป็นลักษณะคล้ายกับเครื่องดนตรีที่เรียกว่าแซกโซโฟน ลักษณะแม่พิมพ์แสดงดังรูปที่ 3.3



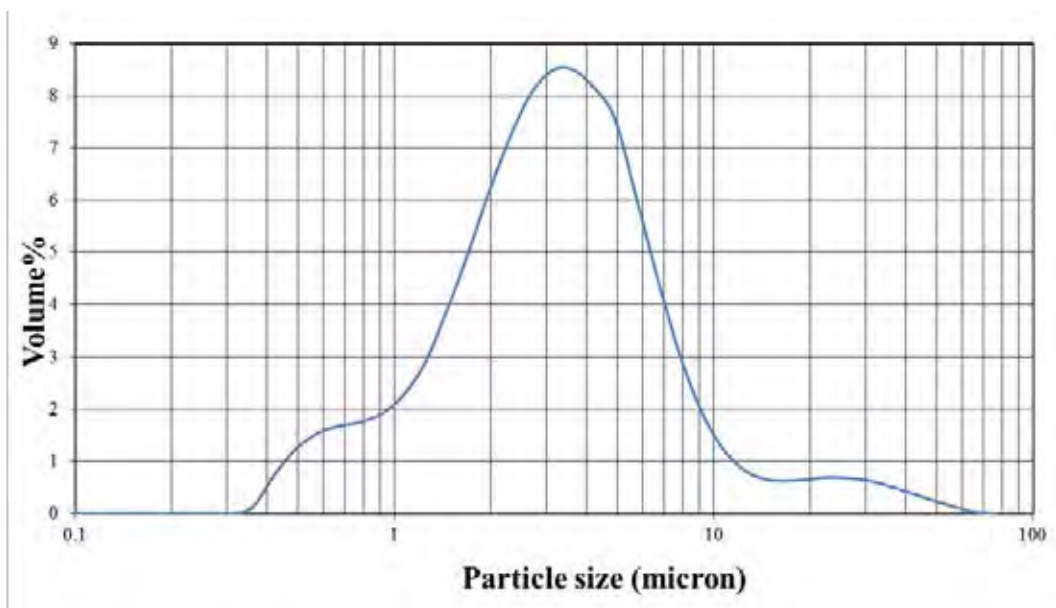
รูปที่ 3.3 แม่พิมพ์สำหรับฉีดขึ้นงานรูปแซกโซโฟน

บทที่ 4

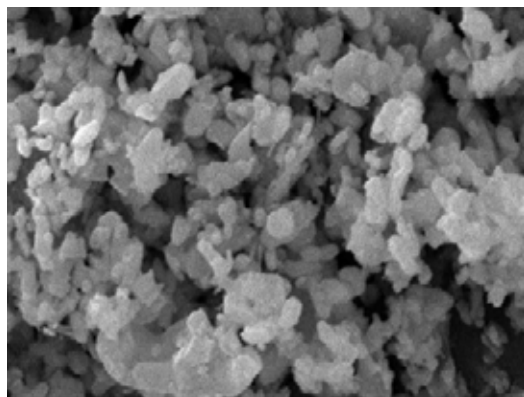
ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาลักษณะเฉพาะของผงวัสดุและตัวประสาน

ผงอะลูมินา มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 1 ไมโครเมตร จากบริษัท Nippon light metal ประเทศญี่ปุ่น ผลการวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Laser particle size analyser แสดงดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 แสดง ลักษณะทางสัณฐานทางวิทยาของผงอะลูมินาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด การที่อนุภาคมี ขนาดเล็กจะทำให้เตรียมส่วนผสมได้ปริมาณผงวัสดุไม่สูงมากนัก (ประมาณ ร้อยละ 50 โดยปริมาตร) ซึ่งจะทำให้ชิ้นงานมีการหดตัวหลังเผาสูง และการเผาเพื่อเพิ่มความหนาแน่นของชิ้นงานต้องใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูง

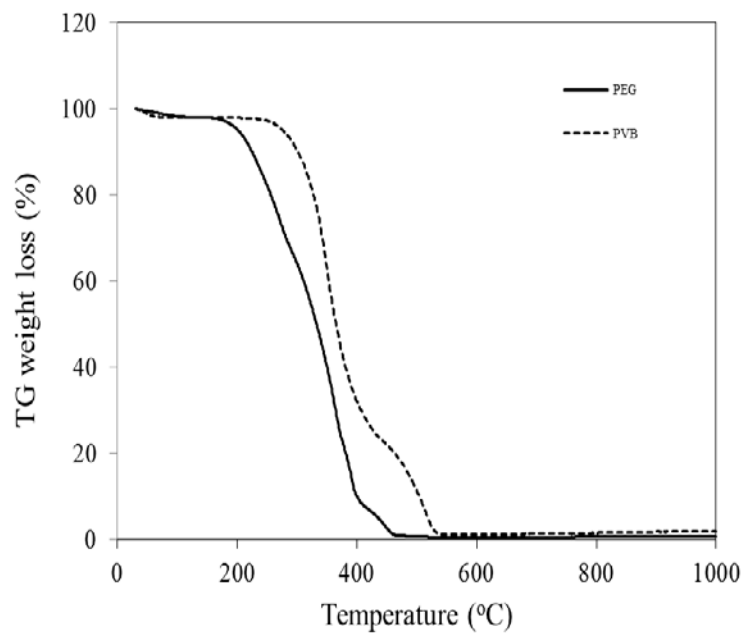


รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคผงอะลูมินาด้วย Laser particle size analyser



รูปที่ 4.2 ลักษณะผงอะลูมินาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

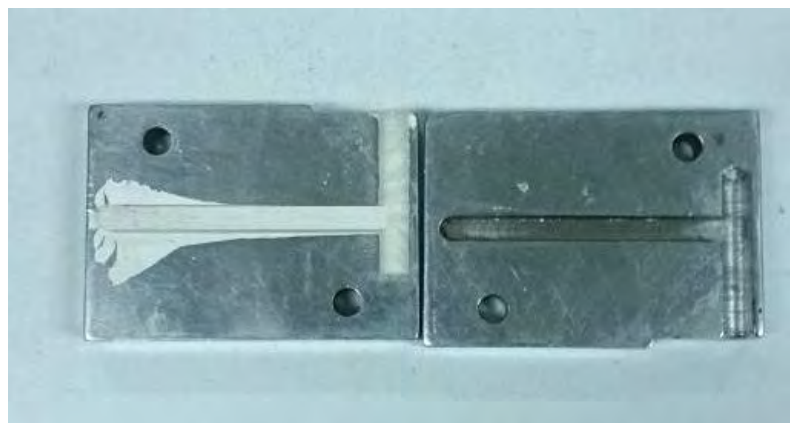
ตัวประสานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ PEG และ PVB รูปที่ 4.3 แสดงการสลายตัวของสารทั้งสองชนิดที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากแผนภาพพบว่า PEG เริ่มสลายที่อุณหภูมิประมาณ 200 °C และจะสลายหมดที่อุณหภูมิประมาณ 450 °C สำหรับ PVB จะเริ่มสลายที่อุณหภูมิประมาณ 300 °C และจะสลายหมดที่อุณหภูมิประมาณ 550 °C อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การกำจัดตัวประสาน (PEG) โดยการละลายน้ำ ดังนั้นชิ้นงานที่ผ่านการแช่น้ำแล้ว จะเหลืออยู่เฉพาะ PVB เท่านั้น ซึ่งจะสามารถกำจัดออกได้โดยการให้ความร้อน ในขั้นตอนระหว่างการผลิตเพิ่มอุณหภูมิสู่การเผาซินเทอร์ของผงวัสดุ



รูปที่ 4.3 ผลจากเครื่อง Thermogravimetric analysis ของตัวประสานทั้ง 2 ชนิด

4.2 ผลของการฉีดขึ้นรูป

สามารถทำการฉีดขึ้นรูปส่วนผสมของอะลูมินาได้เต็มแม่พิมพ์ ชิ้นงานมีความสมบูรณ์ และมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะนำไปทำการทดลองในขั้นตอนต่อไปได้ ตัวอย่างชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง แสดงดังรูปที่ 4.4

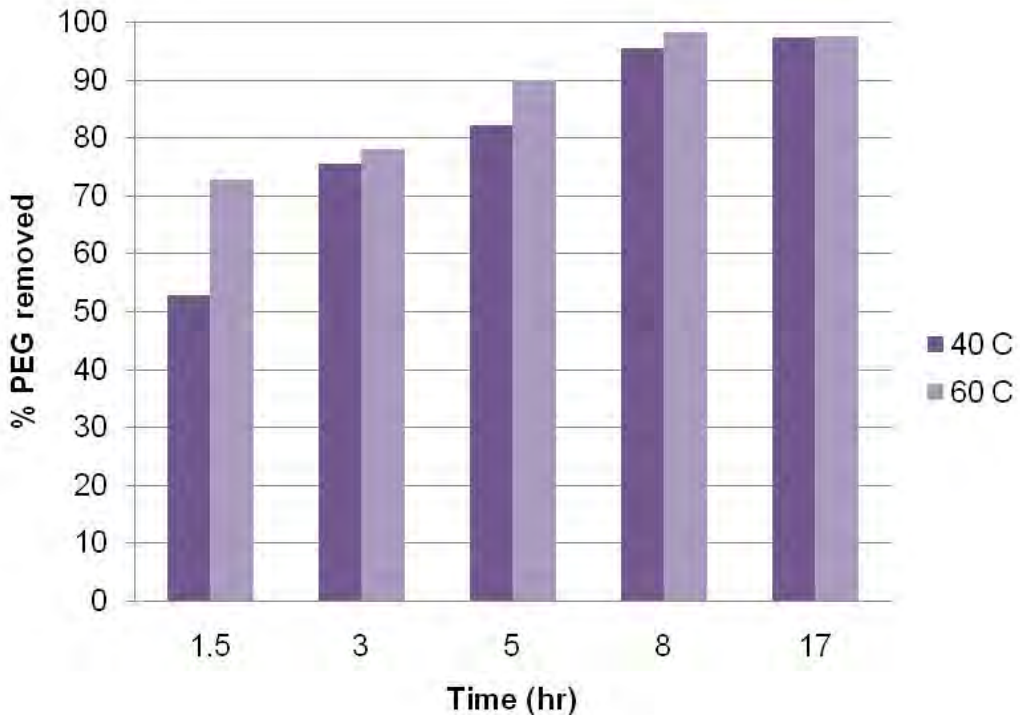


รูปที่ 4.4 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง

4.3 ผลการศึกษาการกำจัดตัวประสาน

จากการศึกษาในเบื้องต้น พบว่าเมื่อนำชิ้นงานที่ผ่านการฉีดขึ้นรูปมาแช่ในน้ำ โดยกำหนดให้ใช้อุณหภูมิของน้ำ เป็น 40 และ 60 องศาเซลเซียส จะพบระหว่างการแช่น้ำ และหลังจากการแช่น้ำแล้ว ชิ้นงานยังสามารถคงรูปอยู่ได้ โดยเมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการกำจัดตัวประสาน จะพบว่า น้ำที่อุณหภูมิสูงกว่า จะทำให้ตัวประสานถูกกำจัดออกไปได้เร็วกว่า และจากการทดลองนี้ยังได้ข้อสังเกตว่าถ้าใช้น้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวประสานมากกว่าร้อยละ 90 สามารถถูกกำจัดออกไปได้ในเวลาเพียง 5 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณตัวประสานมากกว่าร้อยละ 95 จะถูกกำจัดออกไปได้ เมื่อใช้เวลา 8 ชั่วโมงทั้งในน้ำที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส กราฟแสดงผลของเวลาในการแช่น้ำต่อการกำจัดตัวประสาน แสดงดังรูปที่ 4.5

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ที่ผ่านมา ซึ่งพบว่าอุณหภูมิของตัวทำละลายที่สูงกว่า สามารถทำให้ตัวประสานถูกกำจัดออกมาได้มากกว่า นอกจากนี้จะพบว่าอัตราการกำจัดตัวประสานจะเร็วในช่วงแรก (ภายในเวลา 2 ชั่วโมงแรก) หลังจากนั้นอัตราการกำจัดตัวประสานจะค่อยๆ ลดลง



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงร้อยละตัวประสานชนิด PEG ที่ถูกกำจัดออก เมื่อแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิต่างๆกัน

4.4 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน

ผลจากการวัดค่าความแข็งแรงของชิ้นงานด้วยเทคนิค 3-point bending test แสดงดังตารางที่ 4.1 ซึ่งพบว่า ความแข็งแรงของชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูป (green strength) มีค่าต่ำกว่าความแข็งแรงของชิ้นงานที่ผ่านการกำจัดตัวประสานชนิด PEG (หลังแช่น้ำ) แล้ว (brown strength) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากค่าความแข็งแรงของชิ้นงานเกิดจากความแข็งแรงที่เกิดจากตัวประสานชนิด PVB ยึดจับกับอนุภาควัสดุผง โดยในสถานะที่เป็นชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูป (green) จะมีทั้งตัวประสาน

ชนิด PEG และ PVB อยู่ในชิ้นงาน การยึดจับอนุภาคของ PVB อาจจะไม่เต็มที่ไม่ได้เนื่องจากมีการรบกวนจาก PEG และเมื่อแช่น้ำเพื่อกำจัด PEG ออกไปแล้ว จะหลงเหลืออยู่เพียงแค่ PVB เท่านั้น (brown) จึงทำให้การยึดอนุภาคเป็นไปได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงก่อนเผา ระหว่างส่วนผสมที่มีปริมาณของแข็งอยู่ร้อยละ 48 และ 50 โดยปริมาตร พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีแนวโน้มที่มีค่าความแข็งแรงลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณของแข็ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่มีปริมาณตัวประสานลดลง จึงทำให้ค่าความแข็งแรงมีแนวโน้มที่จะลดลง

เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 1600 และ 1700 องศาเซลเซียส จะพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน และสำหรับผลของการเพิ่มปริมาณของแข็ง (powder loading) มีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่การใช้ส่วนผสมระหว่างร้อยละ 48 กับ 50 ในงานวิจัยนี้ ความแตกต่างยังไม่เห็นอย่างเด่นชัด เนื่องจากมีปริมาณของแข็งต่างกันเพียงแค่ ร้อยละ 2 โดยปริมาตรเท่านั้น

ตารางที่ 4.1 ค่าความแข็งแรงของชิ้นงานอะลูมินา หลังฉีดขึ้นรูป หลังกำจัดตัวประสาน และหลังเผา

สูตร	Green strength (MPa)	Brown strength (MPa)	Strength (1600 °C) (MPa)	Strength (1700 °C) (MPa)
A (48 vol%)	2.41 ± 0.22	6.61 ± 0.88	194.6 ± 28.2	189.6 ± 1.85
B (50 vol%)	1.64 ± 0.10	5.58 ± 0.51	213.8 ± 30.4	208.5 ± 6.3

4.5 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน

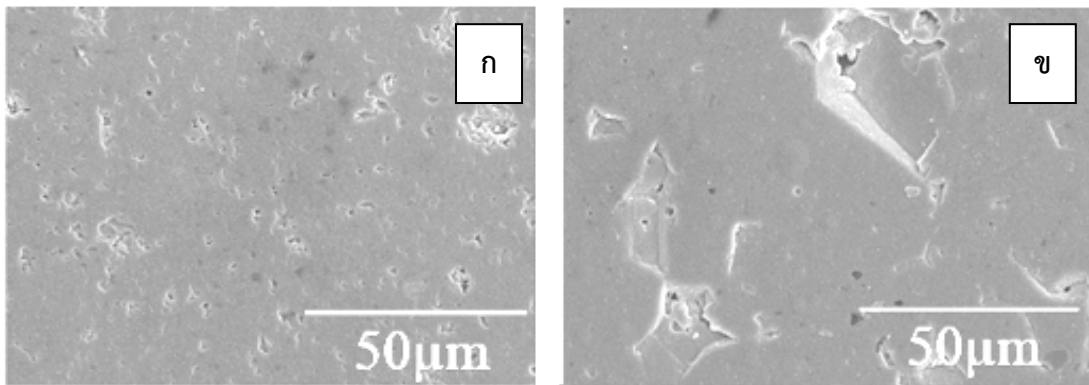
เมื่อทำการวัดค่าความหนาแน่นของชิ้นงานหลังเผา โดยอาศัยหลักการแทนที่ด้วยน้ำ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผา จาก 1600 เป็น 1700 องศาเซลเซียส ชิ้นงานจะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างส่วนผสมที่มีปริมาณผงวัสดุเป็นร้อยละ 48 และ 50 โดยปริมาตร จะพบว่าค่าความหนาแน่นของชิ้นงานจากส่วนผสม B จะมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ชิ้นงานเกิดการเชื่อมติดกันได้มากขึ้นส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และในส่วนผสมที่มีปริมาณของแข็งมากกว่า จะทำให้เกิดการแน่นตัวได้มากกว่า ซึ่งจะส่งผลให้มีความหนาแน่นสูงขึ้นด้วยเช่นกัน ชิ้นงานที่ผ่านการเผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1600-1700 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละการหดตัวอยู่ในช่วง 15.3 – 16.8 โดยชิ้นงานที่มีค่าการหดตัวต่ำที่สุด คือชิ้นงานที่มีปริมาณของแข็ง 50 vol% และเผาที่อุณหภูมิ 1600 องศาเซลเซียส มีค่าการหดตัวเป็น 15.3% และชิ้นงานที่มีค่าการหดตัวสูงสุดคือชิ้นงานที่มีปริมาณของแข็ง 48 vol% และเผาที่อุณหภูมิ 1700 องศาเซลเซียส มีค่าการหดตัวเป็น 16.8% ซึ่งเป็นไปตามสมมุติฐานที่ว่า ชิ้นงานจะหดตัวมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเผาสูงขึ้น และชิ้นงานจะหดตัวน้อยลง ถ้าเพิ่มปริมาณของแข็งในส่วนผสม

ตารางที่ 4.2 ค่าความหนาแน่น และการหดตัว ของชิ้นงานอะลูมินา หลังเผาที่อุณหภูมิ 1600 และ 1700 องศาเซลเซียส

สูตร	Density (1600 °C) (g/cm ³)	Density (1700 °C) (g/cm ³)	Shrinkage (1600 °C) (%)	Shrinkage (1700 °C) (%)
A (48 vol%)	3.54 ± 0.04	3.75 ± 0.01	15.8 ± 0.13	16.8 ± 0.07
B (50 vol%)	3.69 ± 0.02	3.77 ± 0.01	15.3 ± 0.04	15.5 ± 0.28

4.6 ผลการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของชิ้นงานอะลูมินาสูตร B (50 vol%) ที่ผ่านการเผาซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1600 และ 1700 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 4.6 (ก) และ (ข) ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า ชิ้นงานมีการแน่นตัวดี มีรูพรุนเล็กน้อย



รูปที่ 4.6 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอะลูมินาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ

(ก) 1600 องศาเซลเซียส (ข) 1700 องศาเซลเซียส

4.7 ผลการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานแซกโซโฟน

เมื่อทราบแนวโน้มกระบวนการผลิตจากการทดลองที่ผ่านมาแล้ว พบว่าเมื่อควบคุมตัวแปรให้เหมาะสม จะทำให้สามารถฉีดขึ้นรูปชิ้นงานให้มีรูปร่างเป็นแซกโซโฟนได้ แต่การแกะออกจากแม่พิมพ์ ต้องใช้ความระมัดระวัง เนื่องจากชิ้นงานค่อนข้างบาง ลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง แสดงดังรูปที่ 4.7 ชิ้นงานสามารถคงรูปได้ภายหลังการแช่น้ำเพื่อกำจัดตัวประสาน และในการดำเนินงานระยะต่อไป จะทดลองผลิตชิ้นงานรูปร่างแซกโซโฟนให้มีขนาดเล็กลง เพื่อให้เหมาะกับการนำไปใช้งานเป็นเครื่องประดับต่อไป



รูปที่ 4.7 ชิ้นงานต้นแบบรูปแฮกโซโฟนที่ได้จากกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

ชิ้นงานอะลูมิเนียมสามารถผลิตได้โดยกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง อุณหภูมิของที่ใช้ในการละลายตัวประสานชนิดพอลิเอทิลีนไกลคอล ส่งผลต่ออัตราการกำจัดตัวประสาน โดยอุณหภูมิที่สูงกว่า จะช่วยให้ตัวประสานถูกกำจัดได้รวดเร็วกว่า แต่จะสิ้นเปลืองพลังงาน ค่าความแข็งแรงของชิ้นงานหลังกำจัดตัวประสานมีค่าสูงกว่าค่าความแข็งแรงของชิ้นงานหลังฉีดขึ้นรูป ค่าความแข็งแรงของชิ้นงานหลังเผาที่มีค่าสูงสุด ได้จากชิ้นงานที่มีปริมาณของแข็งอยู่ร้อยละ 50 และทำการเผาที่อุณหภูมิ 1600 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเป็น 216 เมกกะปาสคาล ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานหลังเผา มีค่าอยู่ระหว่าง 3.54 - 3.77 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเทียบได้เป็นร้อยละ 89.6 - 95.4 ของความหนาแน่นตามทฤษฎี ชิ้นงานมีการหดตัวอยู่ในช่วง 15 - 16 % เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1600 - 1700 องศาเซลเซียส

นอกเหนือจากชิ้นงานรูปร่างแท่งสี่เหลี่ยมซึ่งใช้สำหรับทดสอบความต้านทานการตัดโค้งแล้วยังสามารถผลิตชิ้นงานให้มีรูปร่างเป็นแซกโซโฟนได้ด้วย โดยการดำเนินงานระยะต่อไป จะทำการผลิตชิ้นงานให้มีขนาดเล็กลงเหมาะกับการใช้เป็นเครื่องประดับ และทดลองการผลิตชิ้นงานให้มีสีอื่นนอกจากสีขาวด้วย องค์ความรู้ที่ได้จากการดำเนินงานนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการผลิตชิ้นส่วนเซรามิกวิศวกรรมชนิดอื่นๆ และ/หรือวัสดุผงชนิดต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานได้หลากหลายประเภท

ผลงานที่ได้จากโครงการวิจัยเรื่องนี้ ได้รับรางวัลรองชนะเลิศ การนำเสนอผลงานแบบโปสเตอร์ เรื่อง การเตรียมตัวเรือนเครื่องประดับด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง จากการประชุมวิชาการโลหะวิทยาแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 (เมื่อวันที่ 27 พฤศจิกายน 2558)

บรรณานุกรม

M. Y. Anwar, P. F. Messer, B. Ellis and H. A. Davies, (1995) "Injection moulding of 316L stainless steel powder using novel binder systems", Powder Metallurgy, Vol. 38, No. 2, pp. 113-119.

H. I. Bakan, (2007) "Injection moulding of alumina with partially water soluble binder system and solvent debinding kinetics", Materials Science and Technology, Vol. 23, No. 7 , pp. 787-791.

N. Chuankrerkkul, P. F. Messer and H. A. Davies, (2008) "Application of Polyethylene glycol and Polymethyl methacrylate as a Binder for Powder Injection Moulding of Hardmetals" Chiang Mai Journal of Science, Vol. 38 No. 2, pp. 113-119.

N. Chuankrerkkul (2006) Powder injection moulding of WC-Co hardmetals using a PEG/PMMA binder, PhD Thesis, The University of Sheffield, United Kingdom

R.M. German and A. Bose, 1997, Injection molding of metals and ceramics, Metal Powder Industries Federation, Princeton, NJ.

W. H. Gitzen, 1970, Alumina as a Ceramic Material, The American Ceramic Society, Ohio.

V. A. Krauss, A. A. M. Oliveira, A. N. Klein, H. A. Al-Qureshi and M. C. Fredel (2007) " A model for PEG removal from alumina injection moulded parts by solvent debinding", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 182, pp. 268-273.

A. J. Millan, R. Moreno and M. I. Nieto, (2001) "Aqueous injection moulding of alumina using agarose", Materials Letters, Vol. 47, No. 6 , pp. 324-328.

M. A. Newell, H. A. Davies, P. F. Messer and D. J. Greensmith, (2005) "Metal injection moulding of scissors using hardenable stainless steel powders", Powder Metallurgy, Vol. 48, No. 3 , pp. 227-230.

R. V. B. Oliveira, V. Soldi, M. C. Fredel and A. T. N. Pires (2005) "Ceramic injection moulding: influence of specimen dimensions and temperature on solvent debinding kinetics", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 160, pp. 213-220.

M. A. Omar, H. A. Davies, P. F. Messer and B. Ellis, (2001) "The influence of PMMA content on the properties of stainless steel compact", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 113, pp. 477-481.

J. Strauss, (2008) "The potential of PIM for the manufacture of precious metal jewellery", Powder Injection Moulding International, Vol. 2, pp. 50-54.

W. C. J. Wei, R. Y. Wu and S. J. Ho, (2001) "Effects of pressure parameters on alumina made by powder injection moulding", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 20, No. 9 , pp. 1301-1310.

B. Williams, (2008) "Watch cases and bracelet parts: PIM moves upmarket", Powder Injection Moulding International, Vol. 2, pp. 31-32.

S. H. Wong (2003) Injection moulding of anorthite/mullite porcelain, PhD Thesis, The University of Sheffield, United Kingdom

ภาคผนวก

ผลงานที่ได้จากโครงการวิจัยเรื่องนี้ ได้รับรางวัลรองชนะเลิศ การนำเสนอผลงานแบบโปสเตอร์ เรื่อง การเตรียมตัวเรือนเครื่องประดับด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง จากการประชุมวิชาการโลหะวิทยาแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 (เมื่อวันที่ 27 พฤศจิกายน 2558)



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - นามสกุล ดร. ณัฐธิตา ชวนเกริกกุล
Dr. Nutthita Chuankrerkkul

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซอยจุฬาลงกรณ์ 12 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่

เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทร. 02-218-4243 โทรสาร 02-611-7586

E-mail : Nutthita.C@chula.ac.th

ประวัติการศึกษา

มหาวิทยาลัย	ปริญญา	สาขาวิชา	ปีที่ได้รับ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	วิทยาศาสตรบัณฑิต	วัสดุศาสตร์	2540
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	เทคโนโลยีเซรามิก	2542
University of Sheffield, UK	Doctor of Philosophy	Engineering Materials	2549

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

วัสดุศาสตร์ กระบวนการขึ้นรูปวัสดุผง

สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพและคณิตศาสตร์

สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. การเตรียมวัสดุเชิงประกอบเหล็กกล้าไร้สนิมกับทังสเตนคาร์ไบด์โดยวิธีทางโลหะผง
แหล่งทุน: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)
2. สถานภาพของจริยธรรมและมาตรการความปลอดภัยนาโนเทคโนโลยีในประเทศไทย
แหล่งทุน: ศูนย์นวัตกรรมนาโนเทคโนโลยี ภายใต้โครงการจุฬาฯ 100 ปี
3. การฉีดขึ้นรูปวัสดุผง
แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา
4. การพัฒนาตัวประสานผสมสำหรับการฉีดขึ้นรูปวัสดุผงแม่เหล็กเฟอร์ไรต์
แหล่งทุน : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
5. กระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผงทังสเตนคาร์ไบด์นิกเกิล
แหล่งทุน : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

6. การพัฒนาเทคนิคการเตรียมตัวเรือนด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง
แหล่งทุน : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

1. การพัฒนาตัวประสานผสมสำหรับการฉีดขึ้นรูปวัสดุผงแม่เหล็กเฟอร์ไรต์ (หัวหน้าโครงการ)
แหล่งทุน : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 2553
2. สถานภาพของจริยธรรมและมาตรการความปลอดภัยของนาโนเทคโนโลยีในประเทศไทย
(หัวหน้าโครงการ)
แหล่งทุน : ศูนย์นวัตกรรมนาโนเทคโนโลยี ภายใต้โครงการจุฬาฯ 100 ปี 2551
3. เทคโนโลยีวัสดุสำหรับแม่พิมพ์คาร์ไบด์ (ผู้ร่วมวิจัย)
แหล่งทุน : สถาบันไทย-เยอรมัน 2550
4. โครงการยกระดับวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก (ผู้ร่วมวิจัย)
แหล่งทุน : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย 2551
5. การพัฒนากระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนปราศจากการใช้ฟลักซ์ด้วยวัสดุเคลือบโลหะ
โครงสร้างนาโน (ผู้ร่วมวิจัย)
แหล่งทุน : สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย 2552
6. การพัฒนากระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผงอะลูมินาโดยใช้ตัวประสานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
(หัวหน้าโครงการ)
แหล่งทุน : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

งานวิจัยที่กำลังทำ

1. การพัฒนาเทคนิคการเตรียมตัวเรือนด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง (หัวหน้าโครงการ)
แหล่งทุน : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
สถานภาพ : ดำเนินการไปแล้ว ร้อยละ 50
2. การผลิตชิ้นงานที่มีรูพรุนสำหรับแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิงออกไซด์ของแข็งด้วยการฉีดขึ้นรูปวัสดุผง
(หัวหน้าโครงการ)
แหล่งทุน : มูลนิธิกระจกเงา
สถานภาพ : ดำเนินการไปแล้ว ร้อยละ 90

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

1. **Chuankrerkkul, N.**, Somton, K., Wonglom, T., Dateraksa, K., and Laoratanakul, P. (2016). "Physical and mechanical properties of Zirconia toughened alumina (ZTA) composites fabricated by powder injection moulding. " Chiang Mai Journal of Science, Vol. 43(2), 375-380.

2. Chakartnarodom, P., Kongkajun, N., and **Chuankrerkkul, N.** (2016) "Powder Injection molding of mullite: The study of binder dissolution behavior during debinding step using statistical methods. " Vol. 690. Key Engineering Materials (pp. 87-91).

3. Chakartnarodom, P., Kongkajun, N., and **Chuankrerkkul, N.** (2016) "Powder injection molding of mullite: The study of mechanical and physical properties of the sintered products using statistical methods. " Vol. 690. Key Engineering Materials (pp. 92-96).
4. **Chuankrerkkul, N.**, Charoenkijmongkol, R., Somboonthanasarn, P., Auechalanukul, C. and McCuiston, Ryan C. (2015) "Microstructure and properties of zirconia toughened alumina fabricated by powder injection moulding." Key Engineering Materials, Vol. 659, 116-120.
5. Buggakupta, W., **Chuankrerkkul, N.** and Surawattana, J. (2015) "Effects of water temperatures on water-soluble binder removal in ceramic materials fabricated by powder injection moulding." Key Engineering Materials, Vol. 659, 90-95.
6. Chakartnarodom, P., Kongkajun, N. and **Chuankrerkkul, N.** (2015) "Application of statistical analysis in the powder injection molding (PIM) of mullite." Key Engineering Materials, Vol. 659, 53-57.
7. Rojhirunsakool, T., Thongpian, D., **Chuankrerkkul, N.** and Wangyao, P (2015) "Effect of pre-weld heat treatment temperatures on TIG welded microstructures on nickel base superalloy, GTD-111." Key Engineering Materials, Vol. 658, 14-18.
8. **Chuankrerkkul, N.**, Buggakupta, W. and Surawattana, J. (2014) "Role of tungsten carbide reinforcement on alumina matrix composites fabricated by powder injection moulding." Key Engineering Materials, Vol. 608, 230-234.
9. Chomsirigul, N., Khuanthong, O., Sooksaen, P. and **Chuankrerkkul, N.** (2014) "Influence of specimen dimensions and temperature on the debinding behavior of alumina feedstock." Key Engineering Materials, Vol. 608, 170-174.
10. Sooksaen, P., Utama, N., Pratooyai, J., Chinsatit, P. and **Chuankrerkkul, N.** (2014) "Microstructure and dielectric properties of alumina addition on TiO₂-doped barium titanate ceramics." Ferroelectrics, Vol. 458, 118-121.
11. Wangyao, P., Pichaiwong, N., Visuttipitukul, P., **Chuankrerkkul, N.**, and Hirunyagird, J. (2014) "Effects of Ni and Ni + Co additions in P/M stainless steel 316L on sigma phase and oxide formations after long term heating." Advanced Materials Research, Vol. 894, 227-233.
12. Patcharawit, T., Klahan, S., Rupkrathok, P., and **Chuankrerkkul, N.** (2014) "Effects of mechanical alloying on microstructure and properties of powder injection moulded SiCp-reinforced aluminium composite." Applied Mechanics and Materials, Vol. 597, 103-108.
13. Patcharawit, T., Inpanya, B., and **Chuankrerkkul, N.** (2014) "Effects of sintering on microstructure and hardness of powder injection moulded aluminium

composites." International Journal of Materials Engineering Innovation, Vol. 5, 151-158.

14. Rattanawaleedirojn, P., Saengkiattiyut, K., Boonyongmaneerat, Y., **Chuankrerkkul, N.**, and Saenapitak, S. (2014) " Effects of complexing agent concentration and bath pH on electroless nickel deposition for tungsten carbide powders." Advanced Materials Research, Vol. 970, 240-243.

15. Chakartnarodom, P. and **Chuankrerkkul, N.** (2014) " Statistical analysis of binder behavior during debinding step in Powder Injection Molding (PIM)." Advanced Materials Research, Vol. 970, 172-176.

16. **Chuankrerkkul, N.**, Boonyongmaneerat, Y., Saengkiattiyut, K., Rattanawaleedirojn, P. and Saenapitak, S. (2013) "Injection Moulding of Tungsten Carbide-Nickel Powders Prepared by Electroless Deposition." Key Engineering Materials, Vol. 545, 148-152.

17. **Chuankrerkkul, N.**, Sooksaen, P., Pakunthod, P., Kosalwit, T. and Pinthong, W. (2013) "Powder Injection Moulding of Alumina Using PEG/PVB Binder Systems." Key Engineering Materials, Vol. 545, 173-176.

18. Boonpo, J., Chaiyacote, V., **Chuankrerkkul, N.** and Buggakupta, W. (2013) "Influences of Cobalt and Zirconia on Microstructural Features and Mechanical Properties of the Al₂O₃/WC Composites." Key Engineering Materials, Vol. 545, 14-18

19. **Chuankrerkkul, N.** and Chakartnarodom, P. (2012) "Fabrication of Injection Moulded 304L Stainless Steels Reinforced with Tungsten Carbide Particles." Materials Science Forum, Vols. 706-709, 638-642.

20. Chaiyacote, V., Buggakupta, W., and **Chuankrerkkul, N.** (2012) "Effects of Co content on hardness and fracture toughness of Al₂O₃/WC-Co composites." Journal of the Australian Ceramic Society, Vol. 48(2), 253-256.

21. Surawattana, J., **Chuankrerkkul, N.** and Buggakupta, W. (2012) "Properties of Porous Alumina Fabricated by Ceramic Injection Moulding using Environmentally Friendly Binder." Advanced Materials Research, Vol. 506, 238-241.

22. Pichaiwong, N., Wangyao, P., Lothongkum, G., Visuttipitukul, P., Asavavisithchai, S., Tongsri, R., and **Chuankrerkkul, N.** (2012) "Effect of Co addition to heat-treated P/M 316L stainless steel on γ' -martensite formation and mechanical properties." Materials Testing, Vol. 54(11-12), 762-768.

23. Udomphol, T., Inpanya, B., and **Chuankrerkkul, N.** (2012) "Characterization of Feedstocks for Injection Moulded SiCp-Reinforced Al-4.5 wt%Cu Composite." Advanced Materials Research, Vols 383-390, 3234-3240.

24. **Chuankrerkkul , N.**, Borwornkiatkaew, W., Pornpijit, A., and Charojrochkul, S. (2011) "Processing, Microstructure and Properties of 316L Stainless Steel-Tungsten Carbide Composites." Malaysian Journal of Microscopy, Vol.7, 31-35.
25. Boonpo, J., Buggakupta, W., and **Chuankrerkkul, N.** (2011) "Microstructure and Mechanical Properties of Al₂O₃ Composites with Ca-PSZ Addition." Malaysian Journal of Microscopy, Vol. 7, 26-30.
26. Wangyao, P., Suwanchai, P., **Chuankrerkkul, N.**, Krongtong, V., Thueploy, A., and Homkrajai, W. (2010) "Microstructural analysis after reheat treatments and longterm heating in cast nickel base superalloy, GTD-111." High Temperature Materials and Processes, Vol.29 No. 4, 277-285.
27. Borwornkiatkaew, W., Pornpijit, A., Charojrochkul, S., and **Chuankrerkkul, N.** (2010). Metallography and Microstructure of Tungsten Carbide Particulate-Reinforced Stainless Steel Matrix Composites. Journal of Microscopy Society of Thailand, Vol.24 No.1, 33-36.
28. Wangyao, P., **Chuankrerkkul, N.**, Polsilapa, S., Sapon, P., and Homkrajai, W. (2009). "Gamma Prime Phase Stability after Long-Term Thermal Exposure in Cast Nickel Based Superalloy, IN-738." Chiang Mai Journal of Science, 36(3), 312-319.
29. **Chuankrerkkul, N.**, Messer, P.F. and Davies, H. A. (2008) "Application of Polyethylene glycol and Polymethyl methacrylate as a Binder for Powder Injection Moulding of Hardmetals. " Chiang Mai Journal of Science, Vol. 35 No.188-195.
30. **Chuankrerkkul, N.**, Messer, P. F. and Davies, H. A. (2008) "Flow and Void Formation in Powder Injection Moulding Feedstocks made with PEG/PMMA Binders Part I: Experimental Observations." Powder Metallurgy, Vol. 51 No. 1, 66-71.
31. **Chuankrerkkul, N.**, Messer, P. F. and Davies, H. A. (2008) "Flow and Void Formation in Powder Injection Moulding Feedstocks made with PEG/PMMA Binders Part II: Slip-band Model." Powder Metallurgy, Vol. 51 No. 1, 72-77.
32. Wangyao, P., Krongtong, V., Panich, P., **Chuankrerkkul, N.** and Lothongkum, G. (2007) "Effect of 12 Heat Treatment Conditions after HIP Process on Microstructural Refurbishment in Cast Nickel-Based Superalloy, GTD-111." Journal of High Temperature Materials and Processes, Vol.26, No. 2, 151-159.