

การผสมผงวัสดุเชิงประกอบอะลูมิเนียมเกรด A356/SiC_p

ด้วยกระบวนการบดผสมเชิงกล

Aluminium alloy A356/SiC_p Composite Powder Processing Via Mechanical Alloying Method

วีระพล เวียงวิเศษ (Weeraphol Wiangwiset)^{1*} ดร.สุขังคณา แถลงกันท์ (Dr.Sukangkana Talangkun)**

(Received: April 10, 2021; Revised: May 31, 2021; Accepted: June 1, 2021)

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของขนาดผงและเวลาในการบดด้วยกระบวนการบดผสมเชิงกลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ในวัสดุเชิงประกอบอะลูมิเนียมผสมเกรด A356/SiC_p ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีการเตรียมวัสดุเชิงประกอบด้วยวิธีการบดย่อยขนาดไปพร้อมกับการผสมเข้าไว้ในกระบวนการเดียวกัน โดยใช้ผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้นขนาดเฉลี่ย 250, 180 และน้อยกว่า 180 ไมครอน จากนั้นนำไปบดผสมร่วมกับผงซิลิคอนคาร์ไบด์ขนาดเมช 1200 เป็นเวลา 40, 50 และ 60 ชั่วโมง ตามลำดับ ผลทดลองทุกขนาดผงพบว่าหลังจากบดเป็นเวลา 40 ชั่วโมง รูปร่างของผงวัสดุเชิงประกอบมีความสม่ำเสมอมากขึ้น โดยที่เวลาการบด 50 ชั่วโมง พบว่าผงวัสดุเชิงประกอบมีขนาดเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการรวมตัวกันระหว่างอนุภาคผง และเมื่อเพิ่มเวลาบดเป็น 60 ชั่วโมง พบว่าผงวัสดุเชิงประกอบมีขนาดลดลง มีลักษณะเป็นแผ่นและมีโครงสร้างเป็นชั้น มีการกระจายของกระจายตัวของอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์บริเวณขอบและภายในผงโลหะเนื้อพื้น ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงการลดลงของขนาดและมีการกระจายตัวของอนุภาคของซิลิคอนคาร์ไบด์ภายในผงโลหะเนื้อพื้นได้ดีขึ้นรวมถึงมีปริมาณรูพรุนที่ลดลงตามเวลาการบดที่เพิ่มขึ้น

ABSTRACT

This research aims to investigate the effect of particle size of matrix powder and milling time on mechanical alloying process of the aluminium alloy A356 reinforced with silicon carbide. The mechanical alloying process combines size reduction and mixing operation in a process. The average matrix powders size of 250, 180 and less than 180 microns were then mixed with silicon carbide of mesh number 1200 using the ball milling technique. After milling time of 40, 50 and 60 hours were achieved, the morphology and microstructures were examined. At 40 hours of milling, all powder samples' shape changed from irregular to regular. At 50 hours of milling, size of composites powder increased which indicated cold weld. After 60 hours of milling, most of powders exhibited fine flattened powders. It was found that milling time increased with increasing the matrix phase size. The distribution of reinforced particles was better when milling time increased. In addition, porosities reduced with increased of milling time.

คำสำคัญ: วัสดุเชิงประกอบที่มีอะลูมิเนียมผสมเป็นเนื้อพื้น โลหะผงวิทยา การบดผสมเชิงกล

Keywords: Aluminium alloy matrix composite, Powder metallurgy, Mechanical alloying

¹Corresponding author: weeraphol.op@gmail.com

*นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

กระบวนการบัดโลหะผสมเชิงกล (Mechanical alloying) เป็นกระบวนการผลิตวัสดุเชิงประกอบในรูปแบบโลหะผงซึ่งเป็นวิธีการที่สร้างข้อได้เปรียบที่สำคัญในการผลิตโลหะผสมหรือวัสดุเชิงประกอบที่ไม่สามารถทำได้ด้วยเทคนิคอื่นๆ เช่นการผสมวัสดุสองชนิดขึ้นไปที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันซึ่งไม่สามารถหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ ในกระบวนการบัดผสมเชิงกลนั้นสามารถทำให้ผงวัสดุสองชนิดขึ้นไปเกิดการกระจายตัวที่ดีในผงวัสดุเนื้อพื้นและทำให้ขนาดของผงวัสดุเชิงประกอบลดลงได้จากผลของแรงกระทำจากลูกบดในสิ่รูปแบบคือ แรงกระแทก แรงขัดสี แรงเฉือนและแรงอัด [1] จากกลไกของกระบวนการบัดผสมเชิงกลนั้นได้รวมเอาการบดและผสมเข้ามาไว้ในกระบวนการเดียวกันซึ่งช่วยให้การผสมสารเสริมแรงร่วมกับการบดวัตถุดิบหลักนั้นเกิดการกระจายตัวอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) [2] ซึ่งกลไกที่เกิดจากแรงกระทำของลูกบดส่งผลให้ผงวัสดุเชิงประกอบเกิดการเปลี่ยนรูปพลาสติก (Plastic deformation) ที่มีลักษณะแบน (Flattened) เกิดการแตกหัก (Fractured) และเกิดการรวมตัวขึ้นใหม่หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การเชื่อมเย็น (Cold welding) นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของขนาดอนุภาคโดยสามารถเพิ่มขึ้นได้ถึงสามเท่าของขนาดตั้งต้นทำให้เกิดโครงสร้างภายในที่มีลักษณะเป็นชั้นๆ (Lamellar structure) และเมื่อกระบวนการบัดดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง [3] จะทำให้อนุภาคเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างต่อเนื่องส่งผลให้เกิดการแข็งตัวและแตกหักอันเนื่องมาจากกลไกของความล้า (Fatigue failure mechanism) ซึ่งเมื่อผงวัสดุเชิงประกอบเข้าสู่ระดับนี้ จะเกิดกลไกการแตกหักสูงกว่ากลไกการเชื่อมเย็นแต่ขนาดของอนุภาคยังคงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของขนาดในทางกลับกันจำนวนโครงสร้างแบบชั้นๆ ภายในอนุภาคจะเพิ่มสูงขึ้นและมีระยะห่างระหว่างชั้นที่ลดลง ซึ่งหลังจากกระบวนการบัดดำเนินไปถึงช่วงเวลาหนึ่งจะเข้าสู่ช่วงของสมดุลระหว่างอัตราการเชื่อมติดและแตกหักที่เท่ากันอันเนื่องมาจากพลังงานความเครียดสะสม โดยกล่าวได้ว่ากระบวนการบัดผสมเชิงกลนั้นแสดงให้เห็นถึงความไม่สมบูรณ์ของผลึก (Crystal defects) ที่เกิดขึ้นในหลายแบบเช่นดิสโลเคชัน ช่องว่างผลึก การเรียงอะตอมผิดระนาบ (Stacking faults) และจำนวนที่เพิ่มขึ้นของขอบเกรน ซึ่งจากสาเหตุการเกิดความไม่สมบูรณ์ของผลึกทำให้มีการแพร่กระจายเข้าไปแทนที่ของสารเสริมแรงในวัสดุเนื้อพื้น

[4] หลักการทั่วไปของการบดย่อยวัตถุดิบด้วยไม้บดคือการให้วัตถุดิบถูกกระแทก (Impact grinding force) หรือขัดสี (Abrasion grinding force) ด้วยลูกบด จนเกิดการแตกและสลายตัวเล็กลงจนได้ขนาดตามที่ต้องการ ด้วยหลักการนำลูกบดและวัตถุดิบบรรจุลงไปในถังบดรูปทรงกระบอกแล้วให้พลังงานทางกลทำให้เกิดการหมุนของถังไปรอบๆ เมื่อลูกบดได้รับแรงเหวี่ยงจะถูกเหวี่ยงติดไปกับผนังถังจนจนถึงจุดหนึ่งซึ่งแรงโน้มถ่วงกระทำต่อลูกบดทำให้มันน้ำหนักมากจนเอาชนะแรงเหวี่ยงได้จึงทำให้ลูกบดตกลงมากระแทกกับวัตถุดิบด้านล่างซึ่งจะเป็นแบบนี้ซ้ำไปเรื่อย ๆ จนเกิดการแตกสลายตัวของวัตถุดิบ

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของขนาดผงเฟสเนื้อพื้นและเวลาในการบดที่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของผงวัสดุเชิงประกอบ A356/SiC_p
2. เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์และโครงสร้างจุลภาคในผงวัสดุเชิงประกอบ A356/SiC_p หลังจากบดด้วยเวลาที่แตกต่างกัน

วิธีการวิจัย

การผลิตผงโลหะเนื้อพื้น

การทดลองนี้ใช้โลหะผสมของอะลูมิเนียมเกรด A356 (AlSi7Mg0.3) เป็นวัสดุเนื้อพื้น (Matrix) ที่มีลักษณะเป็นแท่ง (Ingot) โดยขั้นตอนเริ่มต้นจะนำแท่งอะลูมิเนียมเข้าสู่กระบวนการกัดลดขนาดด้วยเครื่องกัด (Milling machine) เศษชิ้นเล็ก ๆ ที่ได้จากขั้นตอนนี้จะเรียกว่า เศษ (Chip) นำเศษไปจัดสิ่งเจือปนจำพวกฝุ่นผงและน้ำมันที่ปนมากับขั้นตอนการกัดลดขนาดด้วยสารละลายอะซิโตนแล้วทำให้แห้ง จากนั้นนำไปบดเพื่อเศษหักและมีขนาดลดลงด้วยหม้อบดและใบปั่นผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิม ใบปั่นจะถูกยึดด้วยหัวจับของแท่นสว่านเจาะแบบแนวตั้ง ใช้ความเร็วรอบในการปั่น 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที และหยุดพัก 5 นาที เพื่อป้องกันไม่ให้อะลูมิเนียมเกิดความร้อนสูงเกินไปจนอาจส่งผลให้เกิดการเชื่อมติดกัน ทำการปั่นใช้เวลารวมทั้งสิ้น 30 นาที ผงอะลูมิเนียมที่ได้จากการตีจะนำไปทำการคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงแยกขนาด (Sieve) เมชหมายเลข 60 และ 80 ได้ขนาดอนุภาคผงโดยเฉลี่ย 250 และ 180 ไมครอน ตามลำดับ ส่วนเศษที่เหลือจะรวมกันเป็นเศษที่มีขนาดน้อยกว่า 180 ไมครอน

การผลิตวัสดุเชิงประกอบ A356/SiC_p

ผงซิลิคอนคาร์ไบด์ที่ใช้มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 10 ไมครอน อ้างอิงจากตะแกรงแยกขนาดหมายเลข 1200 (Mesh No.1200) จากผู้ผลิต ในขั้นตอนการบดผสมเชิงกลนี้เลือกใช้วิธีการบดด้วยลูกบอลบด (Ball mill) ด้วยความเร็วรอบการบด 189 รอบ/นาที ใช้ลูกบดแบบเคลือบเซรามิคเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 และ 12 มิลลิเมตร เพื่อเพิ่มผิวสัมผัสในการบดระหว่างลูกบดกับผงวัสดุ เนื่องจากรูปทรงและขนาดของผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้นมีรูปร่างเป็นแผ่นและก้อนรูปร่างไม่แน่นอน โดยลูกบดที่ใช้ผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 ในอัตราส่วนน้ำหนักของลูกบดต่อน้ำหนักผงรวม 10:1 ผงอะลูมิเนียมที่ผ่านการคัดแยกขนาดปริมาณ 250 กรัม นำมาทำการบดผสมเชิงกลร่วมกับผงซิลิคอนคาร์ไบด์ปริมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก และใช้กรดสเตียริกเป็นสารหล่อลื่นในปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เพื่อไม่ให้ผงวัสดุเชิงประกอบติดกับผนังหม้อบด กระบวนการบดนี้จะดำเนินภายใต้บรรยากาศอาร์กอน วัสดุเชิงประกอบจะถูกบดเป็นเวลา 15 นาที และหยุดพักทุก ๆ 15 นาที จนกว่าจะเสร็จสิ้นทั้งกระบวนการซึ่งกำหนดให้เวลาที่ใช้ในการบด คือ 40, 50 และ 60 ชั่วโมง โดยไม่รวมเวลาหยุดพัก

การตรวจสอบลักษณะกายภาพและโครงสร้างจุลภาค

ผงวัสดุเชิงประกอบ A356/SiC_p ที่ผ่านกระบวนการบดผสมเชิงกลแล้วนั้นนำไปตรวจสอบรูปร่าง ลักษณะ โครงสร้างจุลภาค วิเคราะห์การกระจายตัวของผงซิลิคอนคาร์ไบด์ในระดับพื้นผิว ผงวัสดุเชิงประกอบ A356/SiC_p ที่ผ่านกระบวนการบดมาแล้วนั้นจะถูกสุ่มมาทำการทดสอบตัวอย่างละ 0.1 กรัม โรยผงลงบนเทปคาร์บอนที่มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าแล้วทำการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด การเตรียมชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคภายในผงเนื้อพื้นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จะสุ่มผงที่ผ่านการบดตัวอย่างละ 0.1 กรัม นำมาขึ้นเรือนแบบเย็น (Cold mounting) แล้วนำไปขัดผิวด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1000, 1200, ผงขัดเพชรขนาด 1 ไมครอน และ 0.3 ไมครอน ตามลำดับ แล้วทำการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ผลการวิจัย

ผงโลหะเนื้อพื้น

ผงโลหะผสมอะลูมิเนียมเกรด A356 ที่ผ่านการคัดแยกขนาดจะมีลักษณะเป็นแผ่นยาวและสั้นสลับกัน มีพื้นผิวขรุขระที่เกิดจากการถูกตัดเฉือนจากการกัด (Milling) ทำให้เกิดรูปร่างที่ไม่สม่ำเสมอ (Irregular shape) ดังภาพที่ 1 แสดงลักษณะทางกายภาพของผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้น



ภาพที่ 1 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของผงอะลูมิเนียมเกรด A356 ที่ผ่านการตีบ้นลดขนาด อนุภาคผง โดยเฉลี่ย a) 250 ไมครอน b) 180 ไมครอน และ c) น้อยกว่า 180 ไมครอน

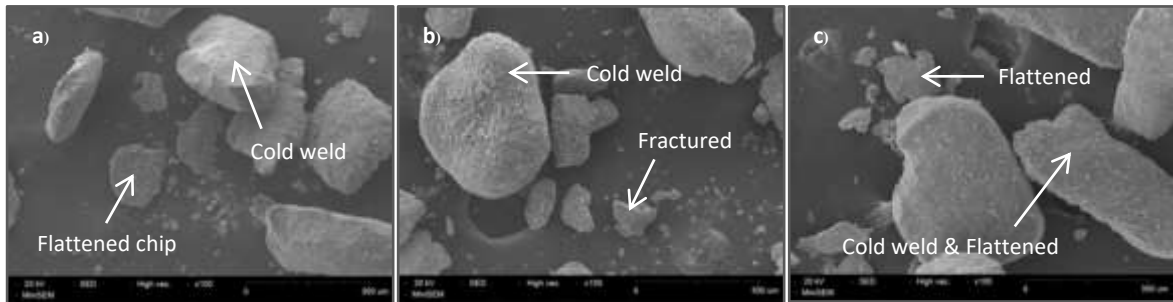
ลักษณะกายภาพผงวัสดุเชิงประกอบอะลูมิเนียมเกรด A356/SiC_p จากขนาดผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้น 250, 180 และ น้อยกว่า 180 ไมครอน เวลาในการบด 40, 50 และ 60 ชั่วโมง

ลักษณะทางกายภาพ การกระจายตัวของผงซิลิคอนคาร์ไบด์และรูปทรงที่เปลี่ยนแปลงของผงวัสดุเชิงประกอบอะลูมิเนียมเกรด A356/SiC_p ซึ่งใช้ผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้นขนาด 250 ไมครอน เวลาบด 40, 50 และ 60 ชั่วโมง แสดงในภาพที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ จากภาพที่ 2 เมื่อบดเป็นเวลา 40 ชั่วโมง จากภาพแสดงให้เห็นถึงลักษณะรูปทรงที่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่เป็นผลมาจากการถูกแรงกระทำจากกระบวนการบดผสมเชิงกล ในภาพ 2a ลักษณะผงวัสดุเชิงประกอบมีความหนาเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้น มีความสม่ำเสมอของรูปทรงชัดเจนโดยที่ในบางอนุภาคยังมีลักษณะแบนเรียบปกคลุมด้วยอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ทั่วทั้งบริเวณพื้นผิวของผงโลหะเนื้อพื้น และมีการกระจายตัวในลักษณะแบบเกาะกลุ่มสลับกับเบาบาง โดยในภาพ 2b ที่เวลาบด 50 ชั่วโมงพบว่าผงวัสดุเชิงประกอบมีรูปร่างกลมมากขึ้น มีมิติความหนาเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาของการบดที่ 40 ชั่วโมง และมีอนุภาคผงที่เล็กกว่ากระจายสลับกันอยู่โดยรอบ มีการกระจายตัวอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ในลักษณะแบบเกาะกลุ่มสลับกับเบาบางโดยรอบพื้นผิวของอนุภาคผงโลหะเนื้อพื้น และที่เวลาการบด 60 ชั่วโมง ผงวัสดุเชิงประกอบมีลักษณะแบนและเรียวยาวขึ้น ในภาพ 2c จะเห็นได้ชัดชัดแจ้งว่ามีการกระจายตัวของอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ในบริเวณพื้นผิวของผงโลหะเนื้อพื้นในปริมาณที่น้อยกว่าการบดที่ 50 ชั่วโมง

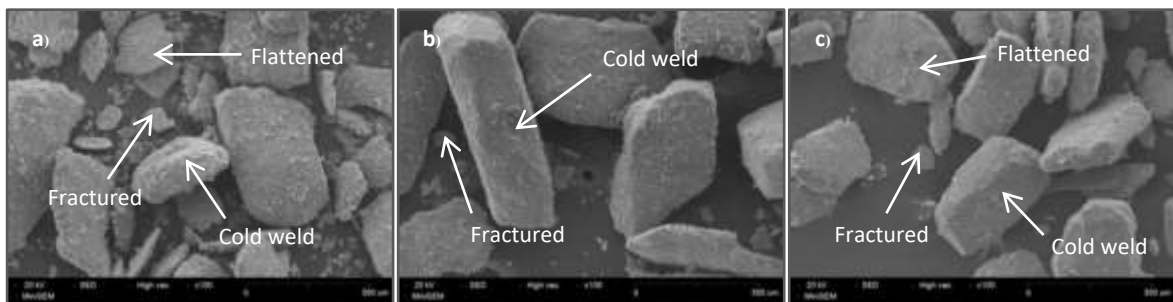
ในขณะที่ลักษณะกายภาพ การกระจายตัวของผงซิลิคอนคาร์ไบด์และรูปทรงที่เปลี่ยนแปลงของผงวัสดุเชิงประกอบอะลูมิเนียมเกรด A356/SiC_p ซึ่งใช้ผงเนื้อพื้นเริ่มต้นขนาด 180 ไมครอน ที่แสดงในภาพที่ 3 พบว่า จากภาพ 3a ผงวัสดุเชิงประกอบผ่านการบดเป็นเวลา 40 ชั่วโมง อนุภาคผงวัสดุเชิงประกอบมีรูปทรงของความหนาที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาบดที่ 40 ชั่วโมง ของขนาดผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้น 250 ไมครอน มีการกระจายตัวอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ในบริเวณพื้นผิวที่แบบเกาะกลุ่ม การแตกตัวของอนุภาคเกิดขึ้นหลายขนาดสลับกัน ในภาพ 3b เวลาบด 50 ชั่วโมง ผงวัสดุเชิงประกอบเกิดลักษณะการรวมตัวที่สูงขึ้น รูปร่างเรียวยาว มีรูปทรงความหนาเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด มีการกระจายตัวอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ในบริเวณพื้นผิวก่อนข้างเบาบาง และเวลาการบดที่ 60 ชั่วโมง ในภาพ 3c จะเห็นว่าผงวัสดุเชิงประกอบมีลักษณะแบนเรียบ ขนาดความหนาลดลงที่จะทำให้เกิดการแตกหักอีกครั้งเมื่อเวลาการบดยังดำเนินต่อไป การกระจายตัวอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์บริเวณพื้นผิวของผงโลหะเนื้อพื้นต่ำกว่าเวลาการบดที่ 50 ชั่วโมง

ในภาพที่ 4 แสดงลักษณะกายภาพ การกระจายตัวของผงซิลิคอนคาร์ไบด์และรูปทรงที่เปลี่ยนแปลงของผงวัสดุเชิงประกอบอะลูมิเนียมเกรด A356/SiC_p ของผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้นขนาดน้อยกว่า 180 ไมครอน จะเห็นว่าจากภาพที่ 4a ผงวัสดุเชิงประกอบผ่านการบดเป็นเวลา 40 ชั่วโมง มีการกระจายตัวอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ในบริเวณพื้นผิวแบบเกาะกลุ่ม

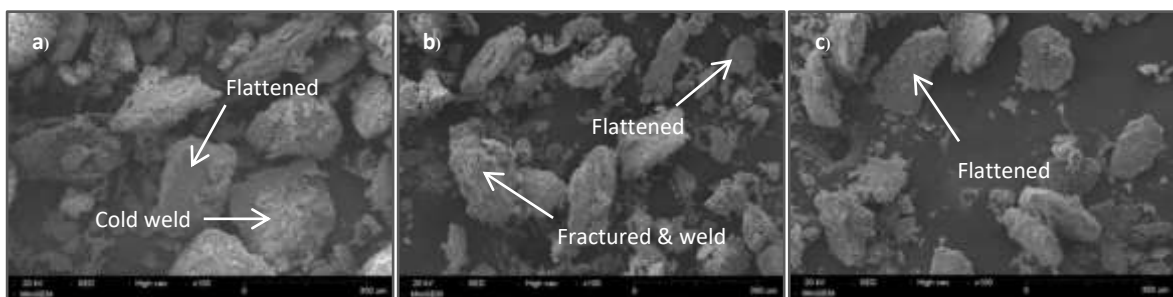
ในปริมาณสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกขนาดของผงเริ่มต้น ในภาพ 4b ที่เวลาบด 50 ชั่วโมงผงวัสดุเชิงประกอบอยู่ในช่วงการแตกตัวและรวมตัวที่ค่อนข้างสูงกว่าการบดที่เวลา 40 ชั่วโมง มีรูปทรงที่ไม่สมบูรณ์ลักษณะเริ่มเกิดการรวมตัวของผงวัสดุขนาดเล็กจำนวนมากสังเกตได้จากแผ่นบางๆที่เริ่มก่อตัวซ้อนกันเป็นชั้นๆ การกระจายตัวของอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ในบริเวณพื้นผิวของผงเนื้อพื้นมีปริมาณสูง และภาพ 4c เวลาบด 60 ชั่วโมง มีการกระจายตัวของอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ในบริเวณพื้นผิวในปริมาณที่ต่ำกว่าและมีรูปทรงที่แบนเรียบกว่าเวลาการบด 40 และ 50 ชั่วโมง



ภาพที่ 2 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของผงวัสดุเชิงประกอบ Al A356/SiC_p ขนาดผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้น 250 ไมครอน a) เวลาการบด 40 ชั่วโมง, b) เวลาการบด 50 ชั่วโมง และ c) เวลาการบด 60 ชั่วโมง



ภาพที่ 3 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของผงวัสดุเชิงประกอบ Al A356/SiC_p ขนาดผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้น 180 ไมครอน a) เวลาการบด 40 ชั่วโมง, b) เวลาการบด 50 ชั่วโมง และ c) เวลาการบด 60 ชั่วโมง



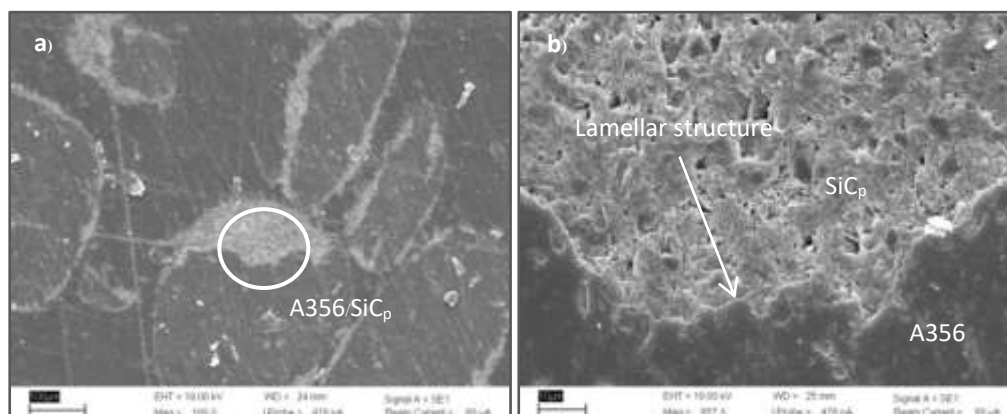
ภาพที่ 4 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของผงวัสดุเชิงประกอบ Al A356/SiC_p ขนาดผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้นน้อยกว่า 180 ไมครอน a) เวลาการบด 40 ชั่วโมง, b) เวลาการบด 50 ชั่วโมง และ c) เวลาการบด 60 ชั่วโมง

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของขนาดผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้น 250, 180 และ น้อยกว่า 180 ไมครอน วัสดุเชิงประกอบ A356/SiC_p เวลาในการบด 40, 50 และ 60 ชั่วโมง

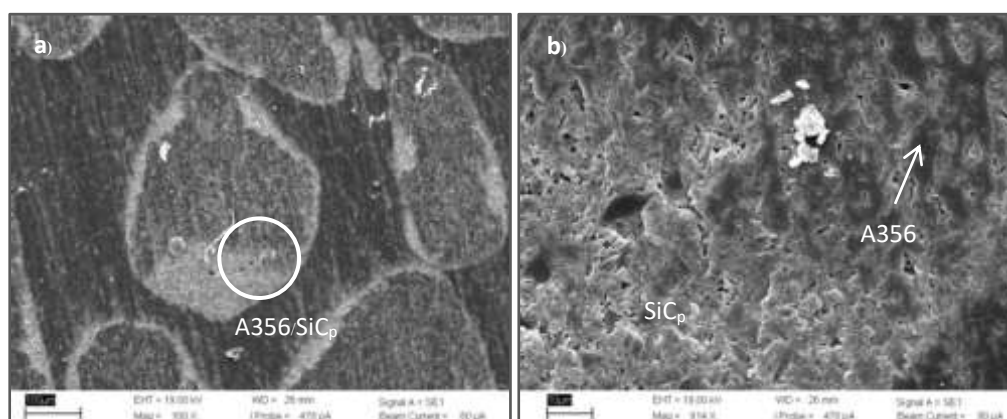
ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของผงวัสดุเชิงประกอบ A356/SiC_p ผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้นขนาด 250 ไมครอน เวลาบด 40, 50 และ 60 ชั่วโมง แสดงในภาพที่ 5, 6 และ 7 ตามลำดับ ในภาพ 5a แสดงการกระจายตัวของอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์มีการกระจายตัวแบบเกาะกลุ่มบริเวณขอบของอนุภาคผงโลหะเนื้อพื้นเป็นส่วนใหญ่และกระจายตัวเข้าไปหาใจกลางมีปริมาณที่ต่ำ และภาพ 5b จะเห็นว่าในบริเวณพื้นที่ตามขอบของอนุภาคผงโลหะเนื้อพื้นเกิดเป็นผิวแตกและหลุดร่อนมีลักษณะเป็นแผ่นชั้นบางๆซ้อนทับกันหลายชั้นเนื่องจากเกิดการถูกบดอัดซ้อนทับกันไปมาแบบซ้ำๆทำให้เกิดโครงสร้างแบบเป็นชั้น (Lamellar structure) โดยภาพ 6a แสดงโครงสร้างจุลภาคเวลาการบด 50 ชั่วโมง ซึ่งการกระจายตัวของอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์มีการกระจายตัวแบบเกาะกลุ่มบริเวณโดยรอบของอนุภาคเนื้อพื้นเป็นส่วนใหญ่และกระจายตัวเข้าไปหาใจกลางอย่างสม่ำเสมอและมีปริมาณที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาของการบด 40 ชั่วโมง ในภาพ 6b เมื่อเพิ่มกำลังขยายสูงขึ้นจะเห็นว่า ในส่วนที่เป็นพื้นที่สีดำนั้นคือส่วนของพื้นผิวโลหะเนื้อพื้นซึ่งถูกอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์แทรกตัวอยู่ตามรอยแตกและหลุดร่อนของชั้นแผ่นบางๆ และที่เวลาการบด 60 ชั่วโมง ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของผงวัสดุเชิงประกอบที่มีการกระจายตัวของอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ยังเกาะกลุ่มกันโดยรอบเป็นส่วนใหญ่แต่มีปริมาณที่ต่ำกว่าของเวลาการบดที่ 50 ชั่วโมง ซึ่งการกระจายตัวแบบเกาะกลุ่มเริ่มจะมีการกระจายตัวเข้าไปสู่ส่วนกลางของผงโลหะเนื้อพื้น ดังภาพที่ 7a และ 7b และพบว่าอนุภาคของซิลิคอนคาร์ไบด์ที่กระจายตัวเข้าไปในโลหะเนื้อพื้นลักษณะฝังและแทรกตัวอยู่ภายในชั้นผิวที่หลุดร่อน

โครงสร้างจุลภาคของผงวัสดุเชิงประกอบ A356/SiC_p ผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้นขนาด 180 ไมครอน เวลาการบด 40, 50 และ 60 ชั่วโมง แสดงในภาพที่ 8, 9 และ 10 ตามลำดับ จะพบว่าโครงสร้างจุลภาคผงวัสดุเชิงประกอบผ่านการบดที่เวลา 40 ชั่วโมง ในภาพ 8a มีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์เกาะกลุ่มเป็นวงกว้างมากขึ้นโดยในพื้นที่สีขาวที่ปรากฏ ในภาพ 8b แสดงถึงการแทรกตัวของอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ภายในโลหะเนื้อพื้นและเกิดรูพรุนขนาดเล็กกระจายทั่วพื้นผิวของอนุภาคผงโลหะเนื้อพื้น โดยเมื่อเวลาการบด 50 ชั่วโมง ในภาพ 9a จะเห็นว่าการกระจายตัวของอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ภายในผงโลหะเนื้อพื้นมีลักษณะเกาะกลุ่มกันเป็นวงกว้างมากขึ้นส่วนใหญ่กระจายอยู่ตามขอบของผงโลหะเนื้อพื้นและเมื่อวิเคราะห์ใน ภาพ 9b อนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์มีการกระจายแบบแทรกตัวอยู่ในชั้นและตามขอบของชั้นผงเนื้อพื้นและเกิดการรวมตัวกันที่ทำให้ความหนาของอนุภาคผงนั้นเพิ่มมากขึ้น ในภาพ 10a มีการกระจายตัวของอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์จากขอบของอนุภาคผงเนื้อพื้นเข้าไปหาใจกลางในระดับเพิ่มขึ้นและยังเกาะกลุ่มกันอยู่เช่นเดิม และในภาพ 10b จะเห็นว่า มีลักษณะการแทรกตัวแบบอัดแน่นของตัวอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์และเกิดรูพรุนในอนุภาคเนื้อพื้นค่อนข้างสูงซึ่งหากกระบวนการบดยังดำเนินต่อไปตำแหน่งของรูพรุนที่ปรากฏจะถูกแทรกซึมด้วยอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์จากกลไกการบดในเวลาที่จะเพิ่มมากขึ้นและส่งผลกระทบต่อปริมาณรูพรุนภายในอนุภาคผงวัสดุเชิงประกอบนั้นลดลงตามไปด้วย

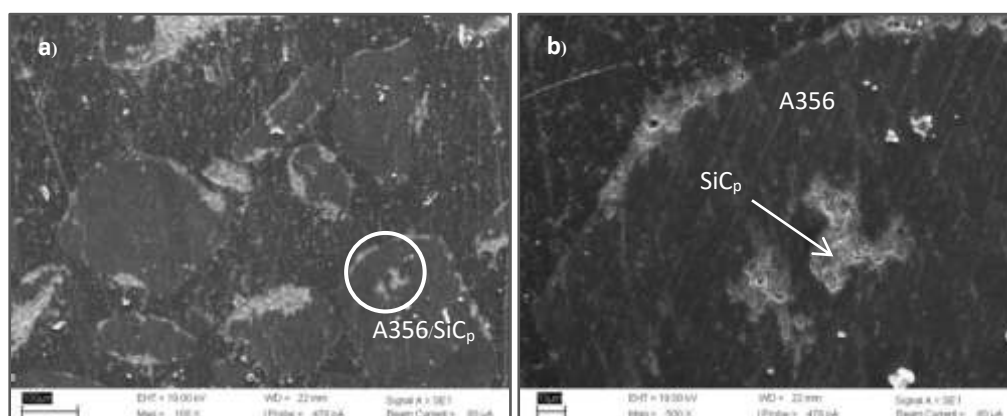
ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของผงวัสดุเชิงประกอบ A356/SiC_p ผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้นขนาดน้อยกว่า 180 ไมครอน เวลาบด 60 ชั่วโมง แสดงในภาพที่ 11 พบว่าอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์มีการกระจายตัวอย่างทั่วถึงภายในโลหะเนื้อพื้นโดยมีการกระจายตัวตามแนวขอบลดต่ำลงและมีรูพรุนที่ต่ำลง ดังแสดงในภาพ 11a และภาพ 11b พบว่ารูพรุนหรือช่องว่างที่มีปริมาณลดต่ำลงจากการถูกแทนที่ของอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ภายใต้ชั้นผิวที่หลุดร่อนของอนุภาคเนื้อพื้นและปรากฏโครงสร้างแบบซ้อนทับกันอย่างชัดเจน



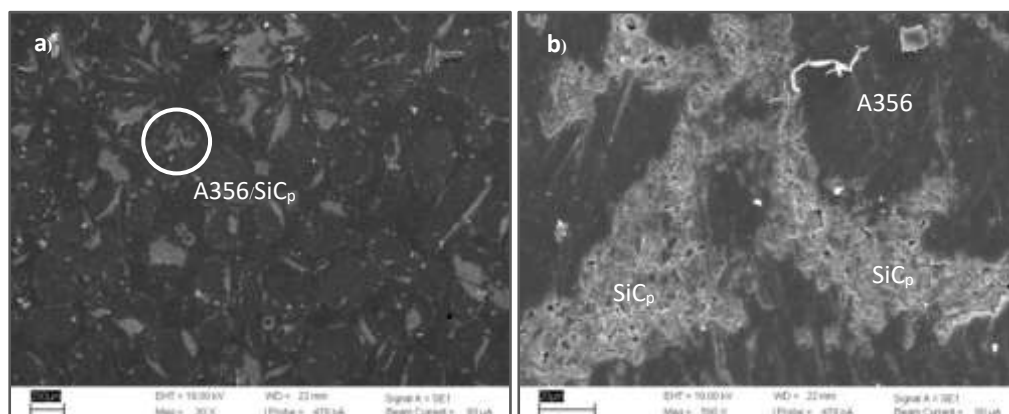
ภาพที่ 5 ภาพ SEM แสดงโครงสร้างจุลภาคของผงวัสดุเชิงประกอบ AL A356/SiCp ขนาดผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้น 250 ไมครอน เวลาบด 40 ชั่วโมง a) กำลังขยาย 100 เท่า และ b) กำลังขยาย 857 เท่า



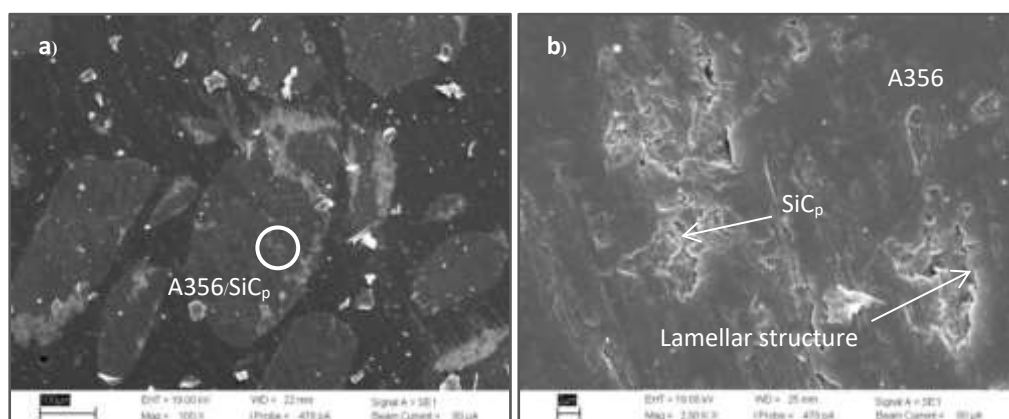
ภาพที่ 6 ภาพ SEM แสดงโครงสร้างจุลภาคของผงวัสดุเชิงประกอบ AL A356/SiCp ขนาดผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้น 250 ไมครอน เวลาบด 50 ชั่วโมง a) กำลังขยาย 100 เท่า และ b) กำลังขยาย 814 เท่า



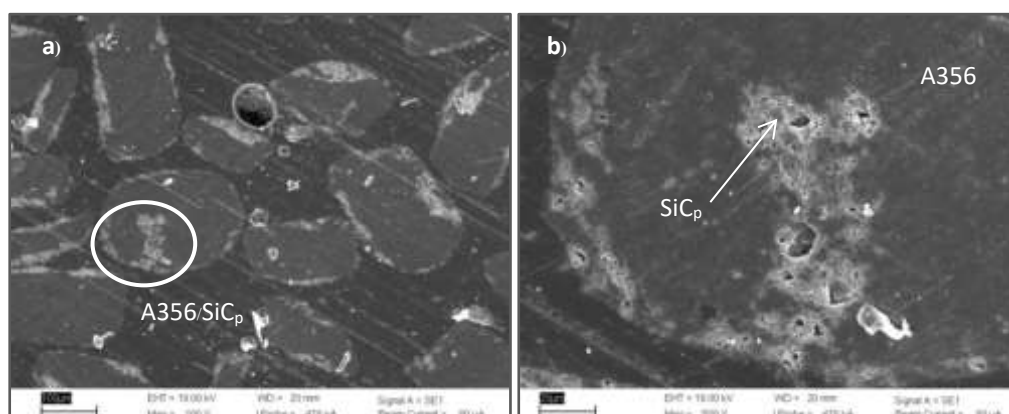
ภาพที่ 7 ภาพ SEM แสดงโครงสร้างจุลภาคของผงวัสดุเชิงประกอบ AL A356/SiCp ขนาดผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้น 250 ไมครอน เวลาบด 60 ชั่วโมง a) กำลังขยาย 100 เท่า และ b) กำลังขยาย 500 เท่า



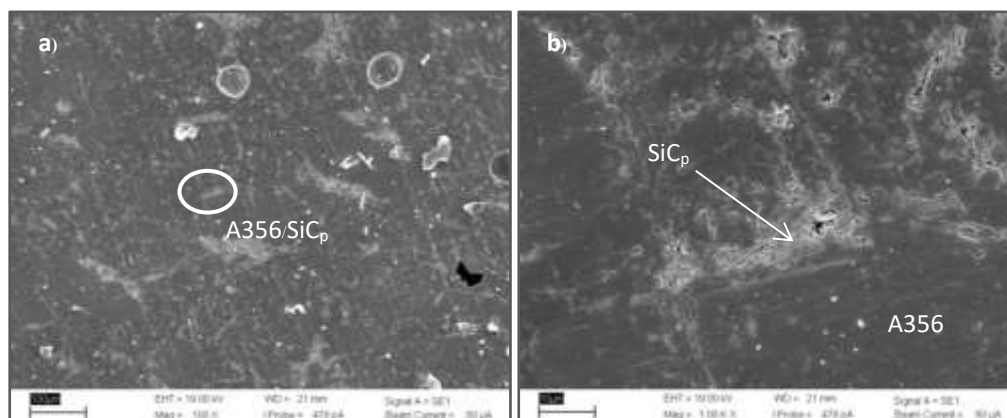
ภาพที่ 8 ภาพ SEM แสดงโครงสร้างจุลภาคของผงวัสดุเชิงประกอบ AL A356/SiCp ขนาดผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้น 180 ไมครอน เวลาบด 40 ชั่วโมง a) กำลังขยาย 30 เท่า และ b) กำลังขยาย 500 เท่า



ภาพที่ 9 ภาพ SEM แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคของผงวัสดุเชิงประกอบ AL A356/SiCp ขนาดผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้น 180 ไมครอน เวลาบด 50 ชั่วโมง a) กำลังขยาย 100 เท่า และ b) กำลังขยาย 2000 เท่า



ภาพที่ 10 ภาพ SEM แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคของผงวัสดุเชิงประกอบ AL A356/SiCp ขนาดผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้น 180 ไมครอน เวลาบด 60 ชั่วโมง a) กำลังขยาย 100 เท่า และ b) กำลังขยาย 500 เท่า



ภาพที่ 11 ภาพ SEM แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคของผงวัสดุเชิงประกอบ Al A356/SiCp ขนาดผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้นน้อยกว่า 180 ไมครอน เวลาบด 60 ชั่วโมง a) กำลังขยาย 100 เท่า และ b) กำลังขยาย 1000 เท่า

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากกระบวนการบดผสมเชิงกลในผงวัสดุเชิงประกอบอะลูมิเนียมเกรด A356/SiC_p ที่ขนาดผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้น 250, 180 และต่ำกว่า 180 ไมครอน เวลาของการบด 40, 50 และ 60 ชั่วโมง แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างจุลภาค โดยเกิดการเปลี่ยนรูปร่างจากแรงกระทำของลูกบดในลักษณะของแรงกระแทกแรงขัดสี แรงเฉือนและแรงอัด ส่งผลให้ผงวัสดุเชิงประกอบอะลูมิเนียมเกรด A356/SiC_p มีรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากเกิดกลไกการรวมตัวขึ้นใหม่หรือการเชื่อมเย็บ ที่เวลาการบด 50 ชั่วโมง เกิดกลไกการเชื่อมเย็บสูงสุดโดยที่เวลาการบด 40 และ 50 ชั่วโมงนั้น เกิดการเปลี่ยนรูปร่างพลาสติกและการแตกหักเป็นส่วนใหญ่ เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างจุลภาคนั้นพบว่าที่เวลาของการบด 40 และ 50 ชั่วโมง มีลักษณะของรูพรุนภายในผงโลหะเนื้อพื้นสูงกว่าเวลาการบด 60 ชั่วโมง ซึ่งกล่าวได้ว่ามีการแทรกตัวของอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์และอัตราการถูกบดอัดจากลูกบดสูงสุดที่เวลาการบด 60 ชั่วโมง จึงส่งผลให้ปริมาณรูพรุนในบริเวณพื้นผิวหน้านั้นลดน้อยลง จากงานวิจัยของ M. Adamiak [5] ได้ศึกษาเรื่องการผลิตผงคอมโพสิตอะลูมิเนียมเมทริกซ์เสริมแรงด้วย Ti-Al โดยวิธีการบดผสมเชิงกลซึ่งจากผลการทดลองพบว่า เวลาการบดที่สั้นกว่าจะทำให้ความหนาแน่นของอนุภาคผงต่ำกว่าระยะเวลาการบดที่สูงกว่า อีกทั้งกระบวนการบดผสมเชิงกลสามารถทำให้เกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของสารเสริมแรงภายในอะลูมิเนียมเมทริกซ์พร้อมทั้งสามารถลดขนาดของอนุภาคลงได้ จากงานวิจัยของ M. Susinak [6] ได้ใช้วิธีการบดผสมเชิงกลผลิตผงวัสดุเชิงประกอบ AlSi5Cu2/SiC ซึ่งผลการทดลองพบว่า การบดผสมเชิงกลสามารถทำให้มีการกระจายตัวของอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์เป็นเนื้อเดียวกันทั่วทั้งอนุภาค รวมถึงทำให้ค่าความแข็งและความเค้นที่เพิ่มสูงขึ้นในขณะที่ค่าความเหนียวของวัสดุลดต่ำลง และในงานวิจัยที่ศึกษาถึงอิทธิพลของเวลาในกระบวนการบดต่อขนาดผลึกของผงวัสดุเชิงประกอบ AlSi5Cu2/SiC พบว่าการบดผสมเชิงกลที่เวลา 40 ชั่วโมงสามารถทำให้อนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์จาก 2 ไมครอน ลดลงถึง 20 นาโนเมตร และเกิดการกระจายตัวของอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ที่เป็นเนื้อเดียวกันทั่วทั้งอนุภาค

[2] ผงโลหะเชิงประกอบที่มีรูปร่างที่เล็กกว่าและความสม่ำเสมอของรูปร่างที่ดีกว่านั้นส่งผลที่ดีต่อการนำไปอัดขึ้นรูปในกระบวนการต่อไปได้ดีกว่า กล่าวคือ ผงโลหะที่มีรูปร่างซับซ้อนหรือไม่สม่ำเสมอนั้นมีพื้นที่ผิวมากกว่าผงโลหะที่มีขนาดใหญ่กว่าหรือกลมกว่าซึ่งทำให้ความสามารถในการอัดขึ้นรูปนั้นต่ำกว่าเนื่องจากการเกาะเกี่ยวกันระหว่างอนุภาคผง รูพรุนที่เกิดจากช่องว่างของรูปร่างที่ไม่สม่ำเสมอและทำให้ต้องใช้แรงดันในการอัดขึ้นรูปมากขึ้นตามไปด้วย โดยลักษณะทางกายภาพของผง

วัสดุเชิงประกอบนั้นสัมพันธ์กับเวลาการบดและเวลาการบดแปรผันตรงกับขนาดอนุภาคผงเริ่มต้น โดยจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพของผงวัสดุเชิงประกอบอะลูมิเนียมผสมแกรด A356/SiC_p ขนาดผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้น 250, 180 และ น้อยกว่า 180 ไมครอน เวลาบด 40, 50 และ 60 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาถึงรูปทรงที่เปลี่ยนแปลงจากลักษณะของผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้นเทียบกับเวลาพบว่า ที่เวลาการบด 60 ชั่วโมง สามารถทำให้อนุภาคผงวัสดุเชิงประกอบเกิดรูปทรงที่สม่ำเสมอได้ดีที่สุดซึ่งสังเกตได้จากรูปทรงและขนาดที่สม่ำเสมอ รวมถึงพื้นผิวที่ราบเรียบสม่ำเสมอกว่าเวลาบด 40 และ 50 ชั่วโมง

2. โครงสร้างจุลภาคของผงวัสดุเชิงประกอบอะลูมิเนียมผสมแกรด A356/SiC_p แสดงให้เห็นว่าลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของซิลิคอนคาร์ไบด์ภายในผงโลหะเนื้อพื้นมีการกระจายตัวแบบเกาะกลุ่มและยึดเกาะแบบฝังตัวภายในรูพรุนและพื้นผิวที่หลุดร่อน ส่วนใหญ่ในบริเวณขอบของอนุภาคผงโลหะเนื้อพื้นและกระจายตัวได้อย่างทั่วถึงมากขึ้นเมื่อเวลาการบดที่เพิ่มขึ้นรวมถึงปริมาณรูพรุนที่ลดลงจากเวลาการบดที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือ โครงสร้างจุลภาคของผงวัสดุเชิงประกอบอะลูมิเนียมผสมแกรด A356/SiC_p ขนาดผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้น 250, 180 และ น้อยกว่า 180 ไมครอน เวลาบด 40, 50 และ 60 ชั่วโมง มีการกระจายตัวของอนุภาคของซิลิคอนคาร์ไบด์ภายในผงโลหะเนื้อพื้นได้ดีขึ้นและมีปริมาณรูพรุนที่ลดลงตามเวลาการบดที่เพิ่มขึ้นคือ 40, 50 และ 60 ชั่วโมง ตามลำดับ

3. ผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้นที่มีขนาดเล็กกว่าสามารถช่วยลดระยะเวลาในการบดได้ดีกว่าผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้นที่มีขนาดใหญ่กว่า โดยเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างผงวัสดุเชิงประกอบในด้านรูปทรงและขนาดที่เปลี่ยนแปลงนั้นพบว่าผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้นขนาด 250 ไมครอน เวลาการบด 60 ชั่วโมง และผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้นขนาด 180 ไมครอน เวลาการบด 40 ชั่วโมง มีรูปทรงและขนาดที่ใกล้เคียงกันมากโดยเปรียบเทียบได้จากแถบวัดขนาดของในแต่ละภาพ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้นขนาด 180 ไมครอน เวลาการบด 60 ชั่วโมง กับผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้นขนาดน้อยกว่า 180 ไมครอน เวลาการบด 40 ชั่วโมง นั้นมีรูปทรงและขนาดที่ใกล้เคียงกันด้วยเช่นกันซึ่งหมายถึงผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้นขนาดใหญ่กว่าจะใช้เวลามากกว่าในการที่ทำให้เกิดกลไกการแตกตัวและการกระจายตัวของอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ภายในผงโลหะเนื้อพื้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าขนาดผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้นที่มีขนาดเล็กกว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่สามารถลดเวลาการบดได้ทั้งนี้จำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยอื่นๆ ของกระบวนการด้วยเช่นกัน

ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้เป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญของการผลิตชิ้นงานที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปจากวัสดุที่อยู่ในลักษณะของผงวัสดุเชิงประกอบซึ่งลักษณะทางกายภาพในด้านรูปทรง ขนาดของผงวัสดุเชิงประกอบและขนาดของผงโลหะเนื้อพื้นเริ่มต้นนั้นเป็นปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณาด้วยความสำคัญจากเหตุผลที่ได้กล่าวข้างต้นซึ่งจะส่งเสริมให้การขึ้นรูปขั้นสุดท้ายนั้นประสบผลได้ตามจุดมุ่งหมายในงานวิจัย โดยจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับผงวัสดุอื่นนอกเหนือจากผงอะลูมิเนียมผสมแต่ควรศึกษาถึงปัจจัยอื่นๆ ที่สำคัญร่วมด้วย อาทิเช่น ข้อได้เปรียบของวิธีการบดในหลายๆวิธี ขนาดและชนิดของลูกบดรวมถึงชนิดของโม่บดที่เหมาะสมต่อผงวัสดุที่ใช้บดและปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อกระบวนการบดทั้งนี้จึงควรศึกษางานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องให้มากที่สุดเพื่อใช้เป็นข้อมูลต่อแนวทางการดำเนินงานที่ถูกต้องอันจะส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อการวิจัยในอนาคต



เอกสารอ้างอิง

- 1 Weeraphol W, Sukangkana T, editors. Proceedings of the 38th Industrial Engineering Network Conference; 2020 May 7-8; Chonburi, Thai. Bangkok: Applicad; 2020
- 2 Saram B, Powder Metallurgy. Nakhon ratchasima: School of Metallurgical Engineering, Suranaree University of Technology [n.d.]
- 3 Suryanarayana C. Mechanism of Alloying. In: Yves T, editors. Powder Metal Technologies and Applications. Ohio: ASM International; 1998. p. 201-202.
- 4 Wirach L. Factors for Efficiency of Milling by Ball Mill [Internet]. 2019 Available from: <http://eng.sut.ac.th/ceramic/old/article/19.pdf>
- 5 Adamiak M. Mechanical Alloying for Fabrication of Aluminium matrix composite powders with Ti-Al intermetallics reinforcement. 2008; 31(2): 193-195.
- 6 Susniak M, Karwan-Baczewska J, Dutkiewicz J, Actis M, Grande M. Rosso. An Experimental Study of Aluminum Alloy Matrix Composite Reinforced SiC Made by Hot pressing Method. 2015; 60(2): 1527.