



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้าง กระบวนการผลิต และ
คุณสมบัติของวัสดุผสม Al-AlMgB_{14}

โดย

ดร.ขจีพร วงศ์ปรีดี

ธันวาคม 2549

สัญญาเลขที่ MRG4780160

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้าง กระบวนการผลิต
และคุณสมบัติของวัสดุผสม Al-AlMgB₁₄

ผู้วิจัย

อ.ดร. ขจีพร วงศ์ปรีดี

สังกัด

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ.และสกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

Abstract

This experiment has been explored Al composite reinforced with AlMgB_{14} and SiC. The processing has been used hot pressing and centrifugal casting techniques.

In accordant with distribution, the Al- AlMgB_{14} composite made by hot press methods shows homogeneous structure and pleasant wettability. At the temperature of 525°C hot press, it believes that Al shows the connection and well perform of bond ability to AlMgB_{14} matrix all over the sample. The EDS results show high contents of Al which made the network with high contents of AlMgB_{14} on each grain. Alternatively, as cast samples, show somewhat mediocre wetting interface and non uniform distribution. Al-SiC was stirred in a fully liquid and semi-solid conditions then centrifugal casting. The experiments were investigated the difficulties of achieving a uniform distribution of particles, the wettability between the particles and matrix, the porosity in as-cast specimens, and the chemical reactions between the particles on matrix composites. Once, the Al-SiC samples at various compositions has been rolled, the porosities are diminished. The mechanical properties has been significantly improved with the increment of high deformation and also the samples adding an amount of SiC is somewhat improved.

Keywords Composite, wettability, distribution, hot isostatic pressing, centrifugal casting

บทคัดย่อ

อะลูมิเนียมคอมโพสิต ที่มีวัสดุเสริมแรง 2 ประเภท คือ บอไรด์ (AlMgB_{14}) และซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) ได้มีกรรมวิธีการผลิต 2 ประเภท คือ การขึ้นรูปแบบผงเพื่อนำไปอัดอุทกสถิตแบบร้อน และการหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

การขึ้นรูปอะลูมิเนียม-บอไรด์ ด้วยวิธีอัดอุทกสถิตแบบร้อน มีความสามารถในการเกาะติดและการกระจายตัวของวัสดุเซรามิกและอะลูมิเนียมที่จัดอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างดี สำหรับอุณหภูมิอัดขึ้นรูปที่ 525 องศาเซลเซียส พบว่าการเกาะติดของพันธะอะลูมิเนียมและบอไรด์ การทดสอบส่วนผสมโดยสเปกโตรสโคปีในกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดพบว่า อะลูมิเนียมได้มีการเชื่อมโยงเครือข่ายในแต่ละเกรน แต่สำหรับกรรมวิธีขึ้นรูปด้วยการหล่อพบว่า การขึ้นรูปด้วยการเปียกไม่สมบูรณ์เท่าที่ควรและไม่กระจายตัวอย่างเหมาะสม

การขึ้นรูปของอะลูมิเนียมกับ-ซิลิคอนคาร์ไบด์ พบว่าเทคนิคการหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลางสามารถช่วยทำให้อนุภาคของซิลิคอนคาร์ไบด์กระจายตัวได้ดี แต่เนื่องด้วยการเกาะติดของวัสดุซิลิคอนคาร์ไบด์นี้มีความสามารถในการเกาะติดและการเปียกที่ต่ำกับอะลูมิเนียม ทำให้ต้องมีสภาพแวดล้อมและขั้นตอนของการหลอมในหลากหลายกระบวนการ จากการทดลองพบว่า มีรูพรุนเกิดขึ้นที่ชิ้นงาน อย่างไรก็ตาม รูพรุนสามารถขจัดได้โดยการรีดขึ้นรูปชิ้นงาน จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล พบว่า ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของการขึ้นรูป และอัตราส่วนของซิลิคอนคาร์ไบด์ก็มีผลกับคุณสมบัติเชิงกลเช่นกันแต่ไม่เด่นชัดเท่ากับการขึ้นรูป

คำสำคัญ คอมโพสิต, การเปียก, การกระจายตัว, การอัดแบบอุทกสถิต, การหล่อเหวี่ยง

Executive Summary

อลูมิเนียม (Aluminium, Al) เป็นโลหะที่ถูกนำมาใช้ในการผลิตเพื่องานอุตสาหกรรมมากเป็นอันดับสองรองจากโลหะกลุ่มเหล็ก เนื่องจากคุณสมบัติเด่นต่างๆของอลูมิเนียม อันได้แก่ น้ำหนักเบา ความสามารถในการนำความร้อนและไฟฟ้าสูง ความต้านทานต่อการสึกกร่อนสูง สภาพสะท้อนสูง และไม่เป็นพิษ วัสดุผสมของอลูมิเนียม มีคุณสมบัติแข็งแรง (stiffness) เท่ากับเหล็กในขณะที่มีน้ำหนักเบากว่าสามเท่า ซึ่งความพยายามในการพัฒนาอลูมิเนียมคอมโพสิต (Al Metal Matrix Composite, MMC) เพื่อให้ได้วัสดุใหม่ที่มีวัตถุประสงค์ในคุณสมบัติตามที่ต้องการ เช่น น้ำหนักเบาขึ้น ความแข็งแรง (strength) เพิ่มขึ้น มีความแข็งแรงและความเหนียว (ductile) ดี และประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมการบิน อุตสาหกรรมยานยนต์ และ อุตสาหกรรมการขนส่ง ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุนี้ช่วยลดต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการผลิตและการใช้งานได้ เช่น ช่วยประหยัดน้ำมัน เป็นต้น

วัสดุที่เกิดจากการรวมตัวกันระหว่าง Al ที่เป็นโลหะพื้น (matrix) กับ วัสดุเซรามิก ที่เป็นวัสดุเสริมแรง (reinforcement) Al-MMC วัสดุผสม Al/SiC ซึ่งได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่งแล้ว ในอุตสาหกรรมยังมีความพยายามในการพัฒนาและประยุกต์ใช้วัสดุผสมของ Al กับวัสดุเสริมแรงชนิดอื่นอีกหลายชนิด สำหรับการทดลอง นี้มีการทดลองใช้วัสดุเสริมแรง 2 ประเภท คือ $AlMgB_{14}$ และ SiC โดยการเลือกวัสดุทั้งสองชนิดนี้ คือเพื่อศึกษาคุณสมบัติการเกาะติดของวัสดุเซรามิกในอะลูมิเนียมซึ่งเป็นโลหะพื้น โดยได้แบ่งกระบวนการผลิตออกเป็นหลายประเภท คือ การขึ้นรูปแบบผงเพื่อนำไปอัดอุทกสถิตแบบร้อน และการหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

การขึ้นรูปอะลูมิเนียม-บอไรด์ พบว่าไม่เหมาะสมกับการปฏิบัติและพัฒนาใช้งานจริงได้ในประเทศไทย เนื่องจากขีดจำกัดของเครื่องมือที่ส่งผลต่อคุณภาพการผลิตทำให้ตัวอย่างชิ้นงานที่ได้ไม่ประสบผลสำเร็จตั้งแต่ขั้นตอนการทดลองในหลากหลายรูปแบบ หรือกระทั่งในชิ้นงานที่มีการทำการทดลองในห้องปฏิบัติการต่างประเทศพบว่าการอัดตัวผสมได้จริงแต่ยังคงต้องมีการทำซ้ำใหม่ในหลายหลายครั้งทำให้มีข้อจำกัดกับการลงทุนสูงแม้ว่าความสามารถในการเกาะติดและการกระจายตัวของวัสดุเซรามิกและอะลูมิเนียมจัดอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างดี

อะลูมิเนียม-บอไรด์ แบบขึ้นรูปด้วยผงแบบเย็น ได้ทำการขึ้นรูปแบบอัดทุกทิศทาง (Swaging) พบว่าอนุภาคไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันและระหว่างที่ขึ้นรูปมีการแตกกระแหงของอนุภาคโดยคาดว่าอาจมีออกซิเจนเป็นส่วนสำคัญของการไม่เกาะติด หลังจากนั้นและได้ทำการขึ้นรูปแบบผงโดยการอัดแบบแบบอัดอุทกสถิตแบบร้อน พบว่าชิ้นงานมีการรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี แต่ต้นทุนในการผลิตสูงมากและใช้เวลาในการทำแต่ละชิ้นงานมากกว่าหนึ่งสัปดาห์ การลงทุนของการทดลองนี้เหมาะสมสำหรับกรณีที่เครื่องมือมีความพร้อมในห้องปฏิบัติการ เช่นใน ห้องปฏิบัติการเอมส์ ในรัฐโอไอโอวา จึงพิจารณาว่าการทำในรูปแบบนี้อาจไม่เหมาะสมกับการปฏิบัติและพัฒนาใช้งานได้จริงในประเทศไทย ดังนั้นในช่วงปีหลังผู้วิจัยจึงได้ทำการเสนอเปลี่ยนหัวข้อการวิจัยเป็น การศึกษา อะลูมิเนียมและซิลิคอนคาร์ไบด์แทน

การขึ้นรูปของอะลูมิเนียมกับ-ซิลิคอนคาร์ไบด์ พบว่าเทคนิคการหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลางสามารถช่วยทำให้อนุภาคของซิลิกาการไบด์กระจายตัวได้ดี แต่เนื่องด้วยการเกาะติดของวัสดุซิลิคอนคาร์ไบด์นี้มีความสามารถในการเกาะติดและการเปียกที่ต่ำกับอะลูมิเนียม ทำให้ต้องมีขั้นตอนของการหลอมใน

หลากหลายกระบวนการโดยจะทำให้มีความสามารถในการเกาะติดที่ดีและจะส่งผลไปยังคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีด้วย ซึ่งจะเป็นส่วนที่นำไปใช้ในการตัดสินใจเลือกในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอนาคต

อะลูมิเนียม-ซิลิคอนคาร์ไบด์ ได้ถูกทำการผลิตโดยการหล่อเหวี่ยง จากการทดลองพบว่าวิธีที่ทำการหลอมอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ในบ้ำแกรไฟท์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ในสภาพบรรยากาศที่มีก๊าซไนโตรเจนปกคลุมเพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจน สามารถทำให้ได้โลหะมี Wettability ที่ดี ทำให้อะลูมิเนียมผสมกับซิลิคอนคาร์ไบด์ได้ระหว่างการหลอม หลังจากนั้นสามารถนำตัวอย่างที่ได้ทดสอบปริดโลหะเพื่อเพิ่มคุณสมบัติความแข็งแรงต่อไป

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ขึ้นรูปวัสดุผสมอะลูมิเนียมคอมโพสิตกับตัวเมทริกซ์ทั้งสองประเภทคือ บอไรด์ และ ซิลิคอนคาร์ไบด์ ซึ่งขั้นตอนในการผลิตของซิลิคอนคาร์ไบด์ เป็น กระบวนการผลิตที่ไม่ต้องใช้เครื่องมือในการผลิตสูง วัตถุดิบมีราคาถูก ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ และคุณสมบัติที่เป็นที่น่าสนใจของวัสดุผสมของ AI-MMC คุณสมบัติเชิงกลมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่ส่วนผสมของซิลิคอนคาร์ไบด์เพิ่ม และเพิ่มการขึ้นรูปโดยการรีด ในขณะที่เดียวกันที่อัตราส่วนของซิลิคอนคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นยังส่งผลต่อความแข็งแรงด้วย การขึ้นรูปด้วยการรีดซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการก่อตัวของดิสโลเคชั่นที่โดดเด่นกว่าซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลที่เพิ่มขึ้น

เนื้อหาทางวิจัย

1. ขั้นตอนการทดลอง

1.1 การขึ้นรูปแบบผง

ตัวอย่างกลุ่มที่ 1 ใช้อะลูมิเนียม (Aluminum, Al) และบอไรต์ (AlMgB_{14}) ได้ถูกเตรียมจาก ห้องวิจัยทดลอง Ames รัฐไอโอวา ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้อะลูมิเนียมด้วยวิธีสังเคราะห์ปฏิกิริยาแบบ แก๊สอะตอม (Gas Atomization Reaction Synthesis: GARS) ทำให้ได้อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ 99.9% ขนาดประมาณ 100 ไมครอน และถูกอัดกับบอไรต์ที่ส่วนผสม ด้วยวิธีอัดแบบเย็น ให้ตัวอย่างมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร หลังจากนั้นทำการดัดขึ้นรูปแบบผงด้วยวิธี Swaging เพื่อให้เส้นผ่าศูนย์กลางมีขนาด 0.5 เซนติเมตร

1.2 การขึ้นรูปโดยการอัดอุทกสถิตแบบร้อน (Hot Isostatic Pressing)

เตรียมบอไรต์ (AlMgB_{14}) ที่มีระบบผลึกแบบ Orthorhombic ที่มีขนาดที่เล็กประมาณ 100 ไมครอน ผสมกับ อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ ด้วยเครื่องเขย่าแบบ Spex mill ประมาณ 45 นาที หลังจากนั้นทำการอัดด้วยเครื่องอุทกสถิตแบบร้อน ที่อัตราการเปลี่ยนแปลงความร้อนและความเย็นประมาณ 20 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนถึงอุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส และถือค้างไว้ที่ 5 ชั่วโมงที่ความดัน 20 เมกะปาสคาล ในตายเหล็กขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว

1.3 การหลอม

หลอมอะลูมิเนียมและบอไรต์โดยการหล่อแบบแรงสั่นแม่เหล็ก (magnetic stirring casting) เพื่อทดสอบว่ามีการเชื่อมติดของอนุภาคบอไรต์และอะลูมิเนียมหรือไม่ โดยใช้อุณหภูมิหลอมประมาณ 660 องศาเซลเซียส ในชั้นบรรยากาศแบบอาร์กอน

ตัวอย่างกลุ่มที่ 2 ใช้โลหะอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ (Pure Aluminum) 98.87% (ส่วนประกอบแสดงดังตารางที่ 1.) หล่อผสมกับซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) ขนาด 12 μm และ 45 nm และจะใช้ปริมาณของซิลิคอนคาร์ไบด์ที่ 2 vol% , 5 vol% และ 8 vol% โดยทดลองการหล่อโลหะผสม Al-SiC ทั้งหมดรวม 6 ชิ้นงาน ตามตารางที่ 2.

ตารางที่ 1. ส่วนประกอบของอะลูมิเนียมบริสุทธิ์(Pure Aluminum) (wt%)

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Ti	V	B	Na	Ga
98.87	0.033	0.09	0.001	0.001	0.001	0.001	0.004	0.001	0.009	0.0002	0.001	0.011

ตารางที่ 2. ส่วนผสมของซิลิคอนคาร์ไบด์ที่ใช้การทดลอง

Sample SiC Particle Size	A	B	C	D	E	F
12 μ m	2 vol%	5 vol%			8 vol%	
45 nm	2 vol%			5 vol%		8 vol%

โดยมีวิธีการหลอมโลหะผสม Al-SiC ดังนี้

วิธีที่ 1.

หลอมอะลูมิเนียมบริสุทธิ์และซิลิคอนคาร์ไบด์พร้อมกันในเบ้าแกรไฟท์ (Graphite Crucible) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นลดอุณหภูมิลงที่ 550 องศาเซลเซียส กวน (Stir) น้ำโลหะด้วยแท่งแกรไฟท์เป็นเวลา 5 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 700 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นกวนน้ำโลหะก่อนที่จะทำการหล่อเหวี่ยงเป็นเวลา 3 นาที

วิธีที่ 2.

ให้ความร้อนกับซิลิคอนคาร์ไบด์ก่อนทำการหลอมรวมที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาสั้นๆ 10 วินาทีเพื่อเป็นการเร่งปฏิกิริยาการจับตัวกับออกซิเจน จากนั้นก็ทำขั้นตอนเหมือนวิธีที่ 1.

ซึ่งวิธีที่ 1. และวิธีที่ 2. นั้นการทดลองล้มเหลว เนื่องจากไม่มีคุณสมบัติ Wettability เกิดขึ้นกับโลหะทั้งสองดังภาพที่ 1(b)

วิธีที่ 3.

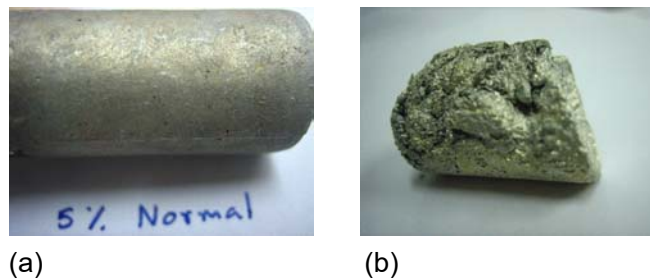
หลอมอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ในเบ้าแกรไฟท์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ในสภาพบรรยากาศที่มีก๊าซไนโตรเจนปกคลุมเพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจน และเพิ่มคุณสมบัติ Wettability ในขณะที่โลหะอะลูมิเนียมบริสุทธิ์เริ่มหลอมเหลวให้ลดอุณหภูมิลงไปประมาณ 600 องศาเซลเซียส นำผงซิลิคอนคาร์ไบด์และ Al flux (ส่วนประกอบแสดงดังตารางที่ 3.) ใส่ลงในเบ้าและลดอุณหภูมิลงจนน้ำโลหะมีลักษณะเป็นกึ่งของเหลว (Semi-liquid) หลังจากนั้นกวนส่วนผสมทั้งหมดด้วยแท่งแกรไฟท์เป็นเวลา 10 นาที เมื่อกวนส่วนผสมครบกำหนดเวลาแล้วเร่งอุณหภูมิจนเกิดน้ำโลหะจากนั้นทำการหล่อด้วยวิธีหล่อเหวี่ยง

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของ Aluminum Flux (wt%)

Cl	K	Si	F	N	O	S	Al
30.9	44.4	2.8	15.1	0.4	3.3	0.9	2.2

1.4 การหล่อเหวี่ยง

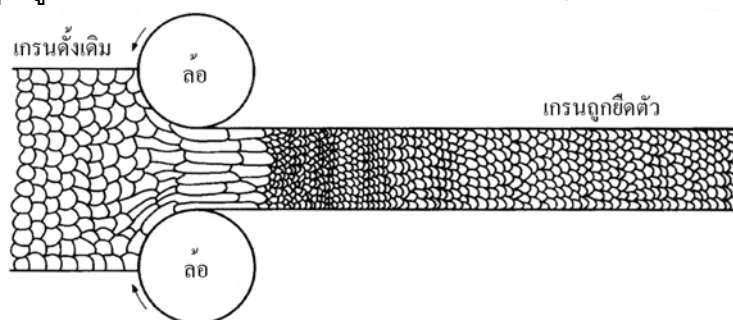
การหล่อเหวี่ยงนั้นจะหล่อที่อัตราเร็ว 1420 รอบต่อนาที (Round per Minute, rpm) เป็นเวลา 2 นาที ซึ่งลักษณะชิ้นงาน แสดงดังภาพที่ 1.



ภาพที่ 1. แสดงลักษณะของชิ้นงาน (a) ชิ้นงานที่หล่อสำเร็จ (b) ชิ้นงานที่หล่อล้มเหลว

1.5 การขึ้นรูปแบบรีด (Deformation)

การขึ้นรูปแบบรีด เป็นการทำให้โลหะมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบถาวร (Plastic deformation) โดยในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการรีดร้อน (Hot rolling) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปโลหะที่อุณหภูมิการเกิดผลึกใหม่หรืออุณหภูมิ Recrystallization โดยใช้อุณหภูมิระหว่างกระบวนการรีดอยู่ที่ประมาณ 500 องศาเซลเซียส ทำให้อะตอมโลหะมีการเคลื่อนตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ และความเครียดที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากดิสโลเคชันจะเปลี่ยนไปเป็นกระบวนการการเกิดผลึกใหม่เนื่องมาจากภาวะความร้อนและสิ่งผิดปกติ (Defect) ที่เกิดขึ้นในอะตอม ดังแสดงในภาพที่ 2. นอกจากนี้ยังส่งผลอื่นๆ เช่น สามารถกำจัดรูพรุนที่เกิดจากฟองก๊าซ สารเจือปนที่อยู่ในรูปของออกไซด์ จะกระจายออกเป็นส่วนเล็กๆ



ภาพที่ 2. ลักษณะเกรนของโลหะที่ผ่านการรีดร้อน

การขึ้นรูปแบบรีดเป็นการลดขนาดความหนาของชิ้นงาน ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\eta = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \right) \ln \left(\frac{t_0}{t_f} \right)$$

โดย η คือ ค่าความเครียดแท้จริงผล (Effective true strain)

t_0 คือ ความหนาของชิ้นงานเริ่มแรกก่อนการรีด

t_f คือ ความหนาของชิ้นงานสุดท้ายหลังการรีด

และในงานวิจัยนี้ศึกษาเปรียบเทียบชิ้นงานที่ไม่ผ่านการขึ้นรูป (As-cast) และชิ้นงานที่ขึ้นรูปที่

$\eta = 1.5, 2.5$ และ 3.5 ตามลำดับ

1.6 การทดสอบด้วยกล้อง Optical Microscope

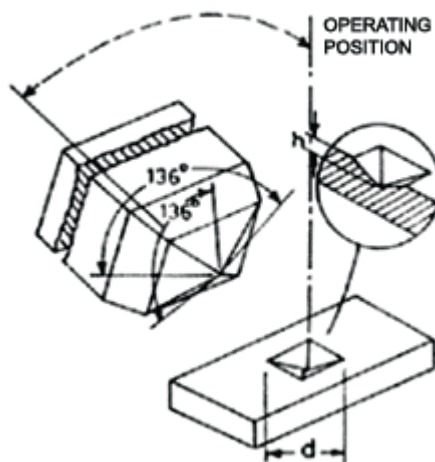
การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการตรวจสอบลักษณะของการจัดเรียงตัวและความหนาแน่นของอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ในโลหะผสม Al-SiC โดยในการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของโลหะผสมในการทดลองนี้จะใช้กล้อง Olympus's Optical Microscope รุ่น BX60MF5 โดยใช้กำลังขยาย 200 เท่าในการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพในเบื้องต้นของโลหะผสม

1.7 การทดสอบด้วยกล้อง SEM

การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) สำหรับดูการฝังตึง (Embedding) ของอนุภาคที่พื้นผิวของชิ้นงานด้วยเครื่อง JEOL: JSM-5800LV โดยเลือกใช้กำลังขยายต่ำที่ 200x เหมือนในกล้อง Optical และ กำลังขยาย 2000x เพื่อศึกษาการเกาะตัวและการกระจายตัวและตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีด้วยวิธีสเปกโทรสโกปีอิเล็กตรอนกระจาย (Electron Dispersive Spectroscopy: EDS)

1.8 การวัดความแข็งแบบ Vicker

เทคนิคนี้เป็นการพัฒนามาจากการทดสอบแบบ Brinell เพื่อลดปัญหาของความถูกต้องในการวัดหั่วกดที่ใช้ในวิธีการนี้ คือ เพชร ซึ่งมีรูปร่างเป็นปิระมิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส และมีมุมระหว่างผิวหน้าด้านตรงข้ามกันเท่ากับ 136 องศา แรงกดที่ใช้อยู่ระหว่าง 1 กรัม - 100 กิโลกรัม ใช้ระยะเวลากดประมาณ 10-15 วินาที รอยที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กในระดับไมครอนจึงต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์ในการช่วยคำนวณความแข็ง ค่าความแข็งที่ได้จะแสดงออกมาเป็นหน่วย HV ซึ่งหมายถึง มีค่าความแข็ง Vickers และค่าความแข็งที่ได้จากวิธีการนี้จะให้ผลที่ชัดเจนและเป็นรูปแบบมากกว่าวิธีการอื่นๆ และสามารถทดสอบวัสดุได้อย่างหลากหลายทั้งที่มีองค์ประกอบสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ



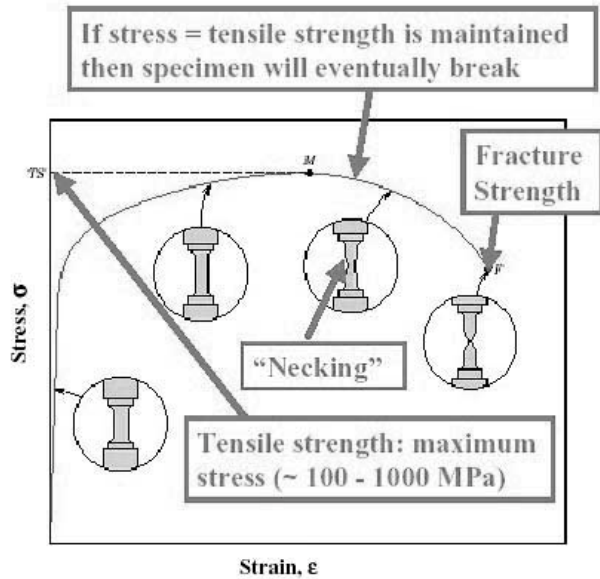
ภาพที่ 3. ลักษณะของหัวกดแบบ Vickers

(ที่มา http://www.thaiscience.com/lab_vol/p22/hardness.asp)

ในงานวิจัยนี้ทดสอบความแข็งแบบ Vicker ด้วยเครื่อง Shimadzu's Micro Hardness tester Type M No.91495 โดยใช้แรงกด 200 กรัม ใช้ระยะเวลากด 15 วินาที

1.9 การทดสอบการดึง (Tensile test)

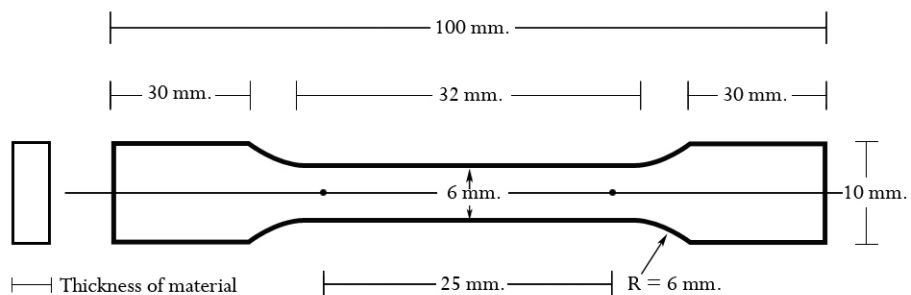
การทดสอบด้วยแรงดึง จัดเป็นการทดสอบแบบสถิตย์ (Static load test) อย่างหนึ่งที่ใช้กันแพร่หลายมาก เพราะทำได้ง่าย ให้ข้อมูลพื้นฐานได้มาก สามารถดัดแปลงให้เหมาะกับวัสดุรูปต่างๆ กันได้และผลการทดสอบมีมาตรฐานที่เทียบกันได้ทั่วไปวิธีการทดสอบก็คือ นำชิ้นตัวอย่างมาทดลองดึงในเครื่องทดสอบ โดยเริ่มดึงขึ้นทีละน้อย ๆ จากศูนย์เรื่อยไปจนกว่าชิ้นตัวอย่างจะขาด พร้อมกันนั้นก็วัดส่วนที่ยืดออกเทียบกับแรงกระทำ แล้วนำไปเขียนกราฟระหว่างความเค้น และความเครียดทางวิศวกรรม เพื่อหาคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของวัสดุ



ภาพที่ 4. ลักษณะของชิ้นงานเมื่อถูกแรงดึง

(ที่มา http://www.rmutphysics.com/CHARUD/PDF-learning/2/material/IE2302_CH5.pdf)

โดยการทดสอบแรงดึงนั้นจะใช้มาตรฐาน ASTM E 8M แสดงดังภาพประกอบ 5. และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Shimadzu Model AG-100KNI M2.



ภาพที่ 5. แสดงขนาดของชิ้นงานที่ให้ในการทดสอบแรงดึง

1.10 การทดสอบ XRD

การวิเคราะห์ด้วยโครงสร้างและองค์ประกอบภายในของชิ้นงานที่ทำการวิจัย ด้วยวิธี X-ray diffraction โดยใช้เครื่อง BRUKER X-ray Diffractometer ที่มี $\text{CuK}\alpha$ Filter

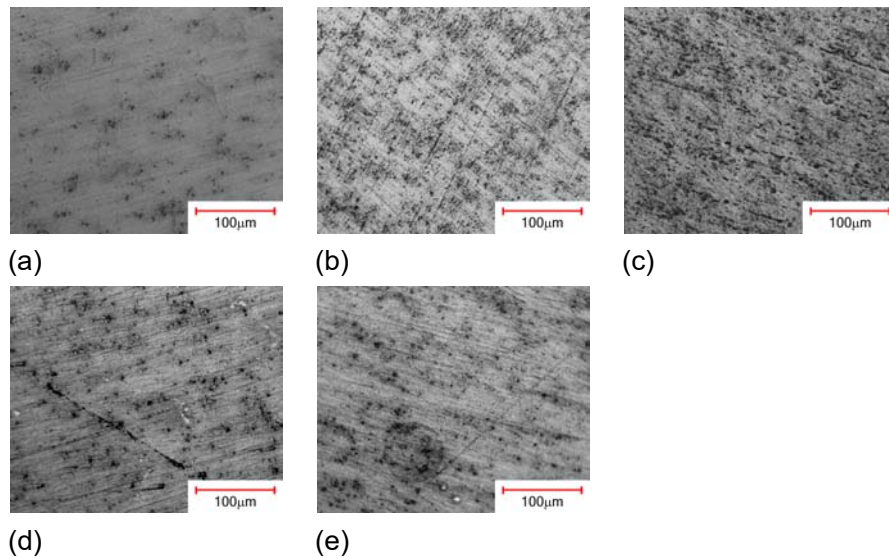
2. ผลการทดลอง

2.1 ชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง สามารถแบ่งได้เป็น

- i. ตัวอย่างกลุ่มที่ 1 อะลูมิเนียม-บอไรด์ แบบขึ้นรูปด้วยผง และทำการ Swaging พบว่าอนุภาคไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันและระหว่างที่ขึ้นรูปมีการแตกกระแหงของอนุภาคโดยคาดว่าอาจมีออกซิเจนเป็นส่วนสำคัญของการไม่เกาะติด
- ii. การหลอมอะลูมิเนียม-บอไรด์ พบว่าไม่มีการรวมของอนุภาคแบบทั่วทั้งชิ้นงาน
- iii. อะลูมิเนียม-บอไรด์ แบบอัดอัดทุกสัณฐานแบบร้อน พบว่าชิ้นงานมีการรวมเป็นเนื้อเดียวได้
อย่างดี แต่ต้นทุนในการผลิตสูงมากและใช้เวลาในการทำแต่ละชิ้นงานมากกว่าหนึ่งสัปดาห์ สำหรับในกรณีที่เครื่องมือมีความพร้อมในห้องปฏิบัติการ Ames ในรัฐไอโอวา จึงพิจารณาว่าการทำในรูปแบบนี้อาจไม่เหมาะสมกับการปฏิบัติและพัฒนาใช้งานได้จริงในประเทศไทย ดังนั้นในช่วงปีหลังผู้วิจัยจึงได้ทำการเสนอเปลี่ยนหัวข้อการวิจัยเป็นการศึกษา อะลูมิเนียมและซิลิคอนคาร์ไบด์แทน
- iv. ตัวอย่างกลุ่มที่ 2 อะลูมิเนียม-ซิลิคอนคาร์ไบด์ โดยได้ทำการหล่อเหวี่ยง อะลูมิเนียมซิลิคอนคาร์ไบด์เพื่อและจากการทดลองพบว่าวิธีที่หลอมหลอมอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ในบ้ำแกรไฟท์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ในสภาพบรรยากาศที่มีก๊าซไนโตรเจนปกคลุมเพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจน สามารถทำให้โลหะมี Wettability ที่ดี และสามารถนำตัวอย่างที่ได้นั้นทดสอบรีดโลหะเพื่อเพิ่มคุณสมบัติความแข็งต่อไป แสดงดังภาพที่ 6

2.2 ผลการทดสอบกล้อง Optical Microscope

การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการตรวจสอบลักษณะของการจัดเรียงตัวและความหนาแน่นของอนุภาค SiC ในโลหะผสม Al-SiC โดยในการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของโลหะผสมในการทดลองนี้จะใช้กล้อง Olympus's Optical Microscope รุ่น BX60MF5 โดยใช้กำลังขยาย 200 เท่า ในการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของโลหะผสม

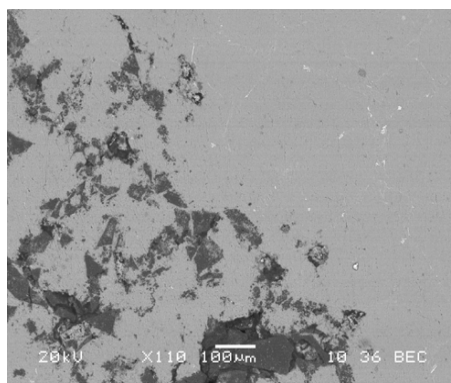


ภาพที่ 6. แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุผสม Al-SiC ที่องค์ประกอบ (a) 2vol.%SiC, (b) 5vol.%SiC, (c) 8vol.%SiC, (d) 2vol.% nano-SiC และ (e) 5vol.% nano-SiC ตามลำดับ

2.3 การทดสอบด้วยกล้อง SEM

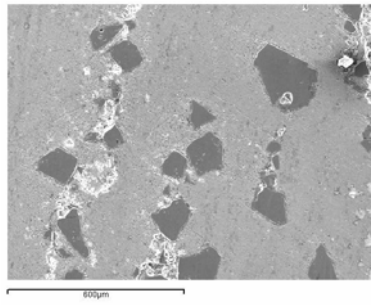
การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) สำหรับการฝังตึง (Embedding) ของอนุภาคที่พื้นผิวของชิ้นงานด้วยเครื่อง JEOL: JSM-5800LV

a) Al- AlMgB_{14} แบบหลอมแบบแรงสั่นแม่เหล็กแสดงการกระจายตัวแบบไม่ทั่วทั้งชิ้นงาน พบว่าการกระจายตัวไปด้านด้านหนึ่ง

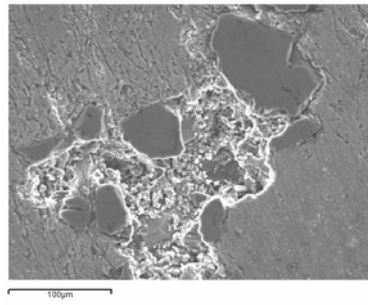


ภาพที่ 7. SEM แสดงการไม่กระจายตัวและการฝังตึงของอนุภาค AlMgB_{14} ใน Al ด้วยวิธีการหล่อแบบแรงสั่นแม่เหล็ก

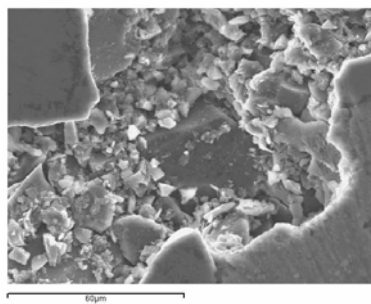
b) แบบขึ้นรูปด้วยผง จะมี AlMgB_{14} จับกลุ่มเป็นก้อนๆ ที่ใหญ่กว่า



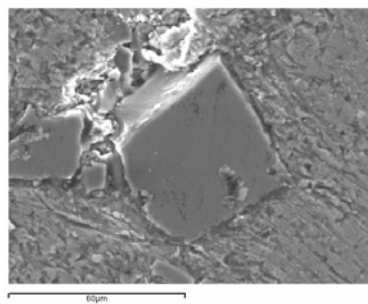
(100x)



(350x)



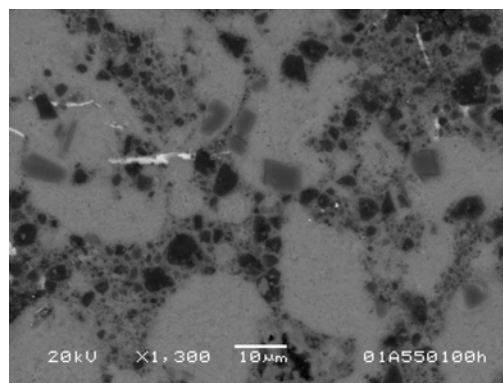
(1000x p.1)



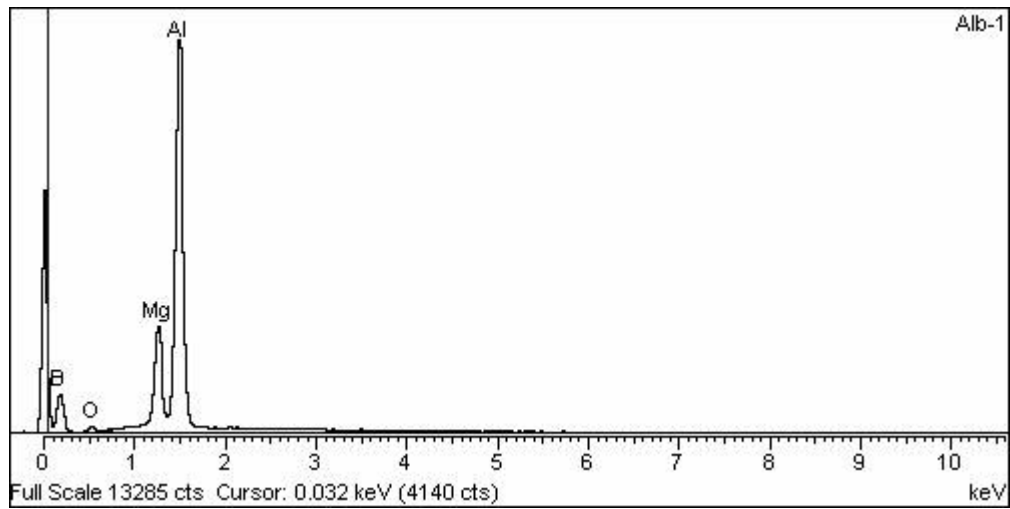
(1000x p.2)

ภาพที่ 8. SEM แสดงการจะมีการจับกลุ่มเป็นก้อนๆ ที่ใหญ่กว่า Al MgB_{14} ด้วยวิธีขึ้นรูปแบบผง

c) อะลูมิเนียม- บอไรต์ในแบบตัวอย่างของการอัดแบบอุทกสถิต มีการกระจายตัวที่ดีกว่า

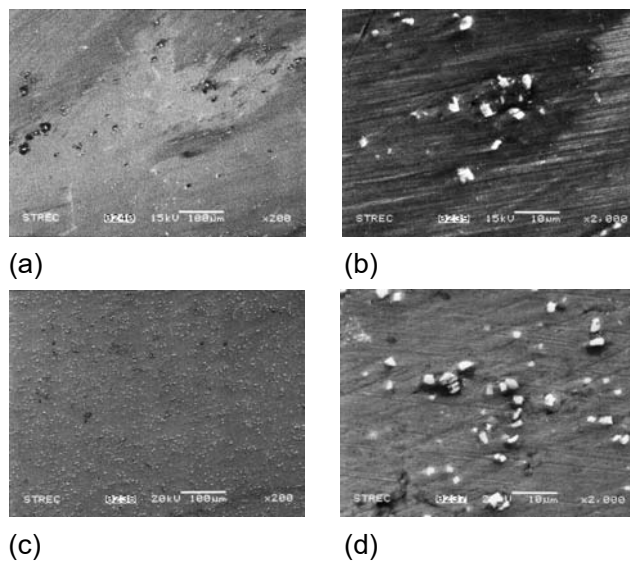


ภาพที่ 9. มีการกระจายตัวที่ดี ขนาดของอนุภาคบอไรต์ไม่มีการรวมตัวกัน

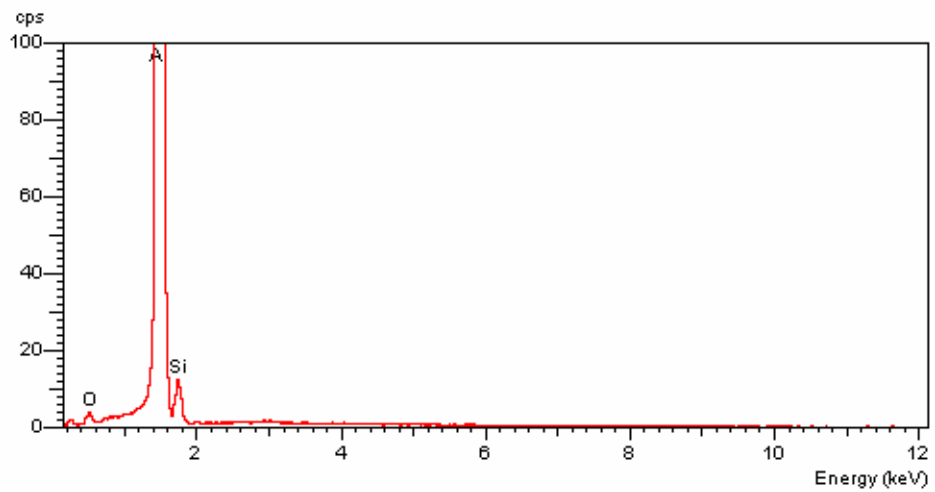


ภาพที่ 10. การทดสอบ EDS ทำการยืนยันอนุภาคที่ติดอยู่ในชิ้นงานคือบอไรต์และอะลูมิเนียม

d) อะลูมิเนียม-ซิลิคอนคาร์ไบด์



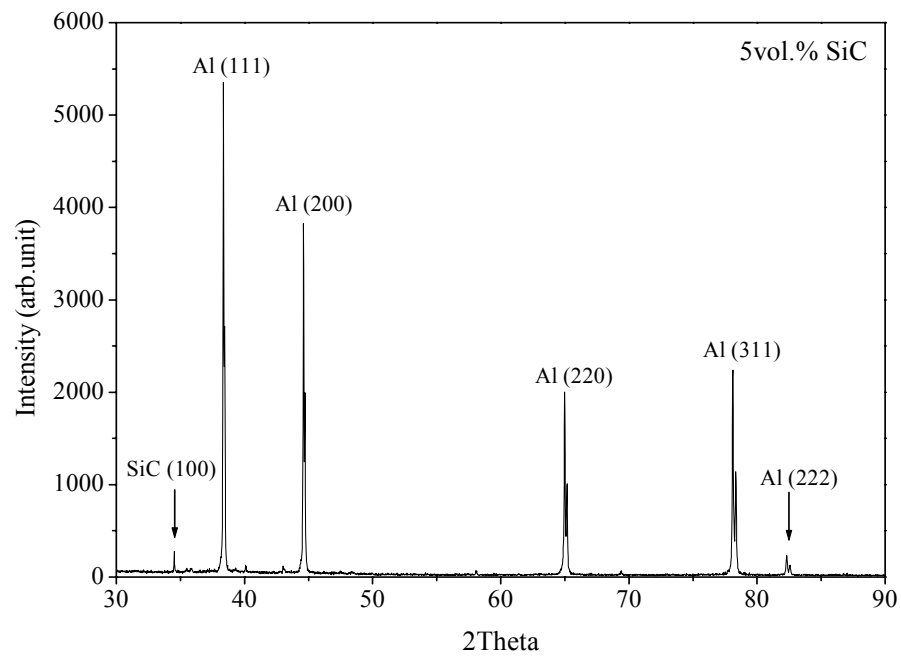
ภาพที่ 11. SEM แสดงการกระจายตัวและการฝังตัวของอนุภาค SiC ที่ (a) – (b) 2vol.%SiC ที่กำลังขยาย 200x และ 2000x และ (c) – (d) 2vol.% nano-SiC ที่ กำลังขยาย 200x และ 2000x ตามลำดับ



ภาพที่ 12. EDS แสดงองค์ประกอบของวัสดุผสม Al ที่ 2vol.%SiC

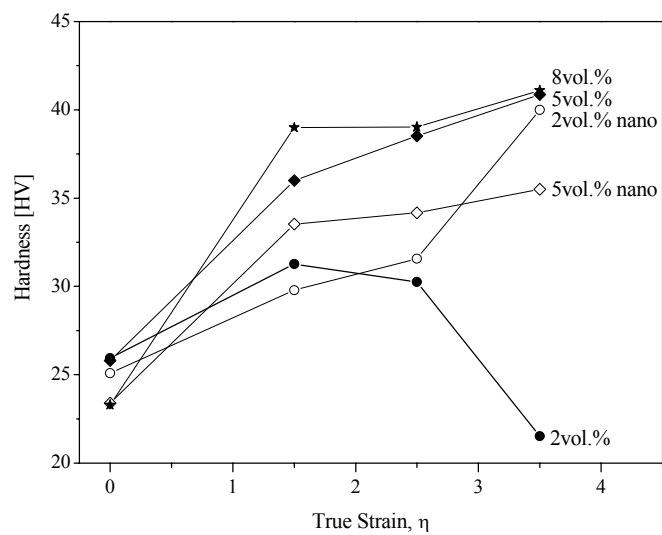
2.4 การทดสอบ XRD

การวิเคราะห์ด้วยโครงสร้างและองค์ประกอบภายในของชิ้นงานที่ทำการวิจัย ด้วยวิธี X-ray diffraction โดยใช้เครื่อง BRUKER X-ray Diffractometer ที่มี CuK α filter แสดงผลดังภาพที่ 13 ยืนยันผลซิลิคอนคาร์ไบด์ และการเรียงตัวของผลึกในระบบ FCC ที่สอดคล้องกับทฤษฎีการเติบโตของเดนไดรต์ ใ้ในงานหล่อเป็นในแนว (111) ของภาคตัดขวางจากเส้นผ่าศูนย์กลาง (cross section)



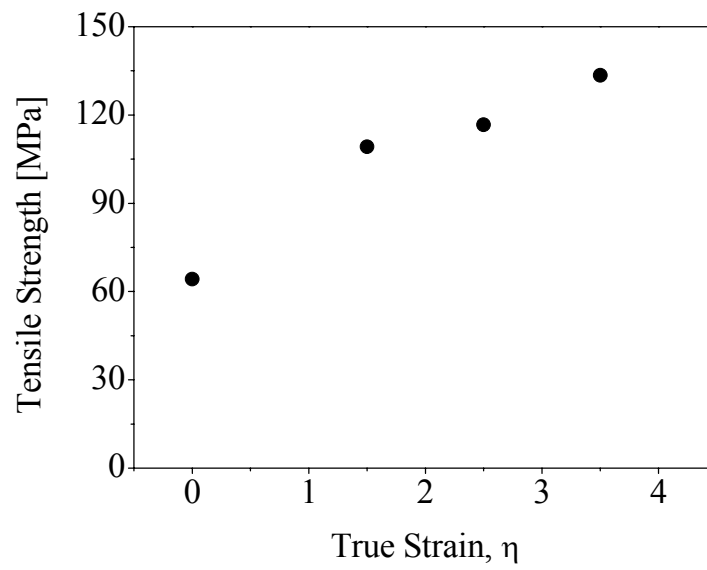
ภาพที่ 13. แสดงสเปกตรัม XRD ของวัสดุผสม Al ที่ 5vol.%SiC

2.5 การวัดความแข็งแบบ vicker



ภาพที่ 13. แสดงค่าความของวัสดุผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอนคาร์ไบด์ที่ส่วนผสมต่างๆ

2.6 การทดสอบการดึง (Tensile test)



ภาพที่ 14. แสดงค่าความแข็งแรงของวัสดุผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอนคาร์ไบด์ที่ $\eta = 1.5, 2.5$ และ 3.5 ตามลำดับ

Output ที่ได้จากโครงการ

ผลที่ได้รับจากโครงการวิจัย ได้แก่

1. The study of sintering and consolidation of Al powder and AlMgB₁₄ matrix, K. Wongpreedee, A.M. Russel, B.A.Cook, การประชุมเพื่อเสนอผลงานวิจัยของนักวิจัยรุ่นใหม่ และพบกับเมธีวิจัยอาวุโส สกว., ตุลาคม 2005, poster presentation.
2. Wettability of AlMgB₁₄ and SiC particles on Al matrix composite, K.Wongpreedee, T. Tansakul, P. Teerativivat, A.M.Russell, B.A. Cook, การประชุมเพื่อเสนอผลงานวิจัยของนักวิจัยรุ่นใหม่ และพบกับเมธีวิจัยอาวุโส สกว., ตุลาคม 2006, oral presentation.
3. อลูมิเนียมคอมโพสิตกับวัสดุเสริมแรงซิลิกาคาร์ไบด์ด้วยอนุภาคขนาดจุลภาคและนาโน, ธนภรณ์ ตันสกุล, ปราโมทย์ ธีระทิปวิวัฒน์ และ ขจีพร วงศ์ปรีดี, วารสารวิทยาศาสตร์ มศว (to be submitted)
4. Microstrucutre and interface characteristic of AlMgB₁₄ reinforced Al matrix composites: K.Wongpreedee, A.M.Russell, B.A. Cook, to be submitted to Materials Letter
5. Strengthening of Al-SiC composites produced by centrifugal casting and rolling techniques, K.Wongpreedee, T. Tansakul, P. Teerativivat, to be submitted to Journal of Materials Processing Technology.

ภาคผนวก

การประชุมเพื่อเสนอผลงานวิจัยของนักวิจัยรุ่นใหม่ และพบกับเมธีวิจัยอาวุโส สกว., ตุลาคม 2005

The study of sintering and consolidation of Al powder and AlMgB₁₄ matrix

K.Wongpreedee ^{a,*}, A.M.Russell ^b, B.A. Cook ^c

^aDivision of Materials Science (Gems and Jewelry), Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok, Thailand, 10110.

^bDepartment of Materials Science and Engineering, Iowa State University, Ames, IA, 50010, USA

^cAmes Laboratory of the U.S. Department of Energy, Ames, IA 50011, USA

Abstract—The samples have been processed by isostatic hot press and molten cast in order to comparatively investigate the consolidation at different techniques. For isostatic hot press technique, Al powder had been prepared by Gas Atomization Reaction Synthesis (GARS) technique patented method invented in Ames Labs, IA, USA [1]. AlMgB₁₄ with the ol64 structure had been processed at Ames Laboratory [2]. Al GARS powders with average diameter of 106 micron and AlMgB₁₄ with average particles less than 100 micron has been separately smashed and mixed by spex mill for 45 minutes. Then, hot press sample had been done by isostatic hot press with the rate of heating and cooling for 20 °C/minutes till 525 °C and holding for 5 hour at the pressure of 20 MPa in ½ inch die steel. The second sample set had been cast AlMgB₁₄ particle with 140 micron size in pure Al within Alumina crucible. The results show that hot press sample having a better nicely distribution of Al powder and AlMgB₁₄ powder comparing to as cast sample. In accordant with distribution, the Al-AlMgB₁₄ composite by hot press shows homogeneous structure and pleasant wettability. At 525 °C hot press, it believes that Al shows the growth and well perform of bond ability to AlMgB₁₄ matrix all over the sample. Alternatively, as cast sample, show somewhat mediocre wetting interface and non uniform distribution.

Keywords— Consolidation, Wettability, Composite, Aluminium, Isostatic press

Reference

1. I.E. Anderson, B.K.Lograsso, T.W.Ellis, Ames Lab, Iowa State Univestity, US Patent No 5,368,657, Nov 29, 1994.
2. B.A.Cook, J.L.Harringa,T.L.Lweis and A.M.Russell, "A New Class of Ultra-Hard Materials Based on AlMgB₁₄", Scripta Materialia, Vol 42, pp 11-22, 2000
3. J.M.Torralba, C.E.da Costa, F.Velasco, "P/M aluminum matrix composites: an overview", Journal of Materials Processing Technology, Vol.133, pp 203-206, 2003
4. S.Yamada, K.Hirao, Y.Yamauchi, S.Kanzaki, "High strength B₄C-TiB₂ composites fabricated by reaction hot-pressing", Journal of the European Ceramic Society, Vol 23, pp1123-1130, 2003
5. K.M.Shorowordi, T.Laoui, A.S.M.A.Haseeb, J.P.Celis, L.Froyen, "Microstructure and interface characteristics of N₄C, SiC and Al₂O₃ reinforced Al Matrix composites: a comparative study" Journal of Materials Processing Technology, Vol 142, pp 738-743, 2003

* Corresponding author. Tel.: 662-664-1000 ext 8666; fax: 662-664-1000 ext 8663; e-mail: kageeporn@swu.ac.th.

การประชุมเพื่อเสนอผลงานวิจัยของนักวิจัยรุ่นใหม่ และพบกับเมธีวิจัยอาวุโส สกว., ตุลาคม 2006

Wettability of AlMgB₁₄ and SiC particles on Al matrix composite

K.Wongpreedee^{a,*}, T. Tansakul^a, P. Teeratipivat^a, A.M.Russell^b, B.A. Cook^c

^aDivision of Materials Science (Gems and Jewelry), Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok, Thailand, 10110.

^bDepartment of Materials Science and Engineering, Iowa State University, Ames, IA, 50010, USA

^cAmes Laboratory of the U.S. Department of Energy, Ames, IA 50011, USA

Abstract—In this study, the wettability of Al matrix-Boride (AlMgB₁₄) and Al matrix- Silica carbide (SiC) specimens was investigated. Al-AlMgB₁₄ was performed by hot isostatic technique and molten casting. Al-SiC was stirred in a fully liquid and semi-solid conditions then centrifugal casting. The experiments were observed the difficulty of achieving a uniform distribution of particles, the wettability between the particles and matrix, the porosity in as-cast specimens, and the chemical reactions between the particles on matrix composites. The microstructures were comparative the distribution of particles on Al matrix from various techniques. The mechanical properties of Al composite were investigated in as-cast state and after forging operation. Evaluation of mechanical properties showed that the forged samples had strength values.

Keywords— Wettability, Composite, Aluminium, Mechanical properties, Distribution

Reference

1. A.R. Kennedy, A.E. Karantzalis, S.M. Wyatt, The microstructure and mechanical properties of TiC and TiB₂-reinforced cast metal matrix composites, J. Mater. Sci. 34 (1999) 933–940.
2. B.A.Cook, J.L.Harringa, T.L.Lweis and A.M.Russell, "A New Class of Ultra-Hard Materials Based on AlMgB₁₄", Scripta Materialia, Vol 42, pp 11-22, 2000
3. I.E. Anderson, B.K.Lograsso, T.W.Ellis, Ames Lab, Iowa State Univestity, US Patent No 5,368,657, Nov 29, 1994.
4. J. Hashim, L. Looney, M.S.J. Hashmi, The enhancement of wettability of SiC particles in cast aluminium matrix composites, Journal of Materials Processing Technology 119 (2001) 329-335.
5. J.M.Torralba, C.E.da Costa, F.Velasco, "P/M aluminum matrix composites: an overview", Journal of Materials Processing Technology, Vol.133, pp 203-206, 2003
6. S. Balasivanandha Prabu, L. Karunamoorthy, S. Kathiresan, B. Mohan, Influence of stirring speed and stirring time on distribution of particles in cast metal matrix composite, Journal of Materials Processing Technology 171 (2006) 268–273.
7. S.M.L. Nai, M. Gupta, Influence of stirring speed on the synthesis of Al/SiC based functionally gradient materials, Compos. Struct. 57 (2002) 227–233.

* Corresponding author. Tel.: 662-649-5632; fax: 662-664-1000 ext 8663; e-mail: kageeporn@swu.ac.th.

วารสารวิทยาศาสตร์ มศว

อลูมิเนียมคอมโพสิตกับวัสดุเสริมแรงซิลิกาคาร์ไบด์ด้วยอนุภาคขนาดจุลภาคและนาโน

ธนภรณ์ ตันสกุล, ปราโมทย์ ชีระทิปวิวัฒน์ และ ขจีพร วงศ์ปรีดี¹

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บทคัดย่อ

อลูมิเนียมคอมโพสิต ที่มีซิลิกาคาร์ไบด์เป็นวัสดุเสริมแรง โดยทำการผลิตแบบการหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและการรีดขึ้นรูป เทคนิคการหล่อทำได้โดยการหลอมแบบสันโดยการทำให้เป็นของเหลวแบบกึ่งเจลและของเหลวแบบไหล จากนั้นทำการหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะสามารถช่วยทำให้อนุภาคของซิลิกาคาร์ไบด์กระจายตัวได้ดี แต่เนื่องด้วยการเกาะติดของวัสดุซิลิกาคาร์ไบด์นี้มีความสามารถในการเกาะติดและการเปียกที่ต่ำกับอลูมิเนียม และพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่ขึ้นงาน แต่ยังมีเกิดการเกิดพันธะการเกาะติดของซิลิกาคาร์ไบด์ในอลูมิเนียม ต่อจากนั้นอนุภาคสามารถจัดได้โดยการรีดขึ้นรูปขึ้นงาน จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล พบว่า ความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของการขึ้นรูป และอัตราส่วนและขนาดของซิลิกาคาร์ไบด์ก็มีผลกับคุณสมบัติเชิงกลเช่นกันแต่ไม่เด่นชัดเท่ากับการขึ้นรูป การอภิปรายจะอยู่บนพื้นฐานทฤษฎีของความแข็งแรงสำหรับคอมโพสิตที่เกิดจากความหนาแน่นของดิสโลเคชันที่กระจายตัวอยู่รอบๆ เฟสที่สอง และการกระจายตัวของดิสโลเคชันแบบเรขาคณิต

คำสำคัญ คอมโพสิต, อลูมิเนียม, ซิลิกาคาร์ไบด์, ดิสโลเคชัน, การเปียก, การกระจายตัว, การหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

¹ Corresponding author. โทร.: 662-649-5632; โทรสาร: 662-664-1000 ต่อ 8663; อีเมล: kageeporn@swu.ac.th.

วารสารวิทยาศาสตร์ มศว

Al composite reinforcement with micro and nano-size of SiC

The relations of mechanical properties and processing of Al-SiC composite

T. Tansakul, P. Thirathipviwat, K.Wongpreedee^{*},

General Science Department, Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok, Thailand, 10110.

Abstract

This experiment has been explored on Al composite reinforced SiC centrifugal casting and rolling techniques. Al-SiC was stirred in a fully liquid and semi-solid conditions then centrifugal casting. The experiments were observed the difficulties of achieving a uniform distribution of particles, the wettability between the particles and matrix, the porosity in as-cast specimens, and the chemical reactions between the particles on matrix composites. The rolling deformation had been diminished the blemish from casting and improved the mechanical properties of composites. The strengthening had been significantly improved with the increment of high deformation and also the samples adding an amount of and varying the size of SiC is somewhat improved. The discussion was simplified the strength of composite on the circumstance of high dislocation densities in the matrix near second phase interfaces and the presence of geometrically necessary dislocation.

Keywords—Composite, Aluminum, Silicon carbide, Dislocation, Centrifugal casting

^{*} Corresponding author. Tel.: 662-649-5632; fax: 662-649-1000 ext 8663; e-mail: kageeporn@swu.ac.th.

Microstructure and interface characteristic of AlMgB₁₄ reinforced in Al composites

K.Wongpreedee^{a,*}, A.M.Russell^b, B.A. Cook^c

^a*Division of Materials Science (Gems and Jewelry), Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok, Thailand, 10110.*

^b*Department of Materials Science and Engineering, Iowa State University, Ames, IA, 50010, USA*

^c*Ames Laboratory of the U.S. Department of Energy, Ames, IA 50011, USA*

Al-AlMgB₁₄ has been firstly mixed as composite. Al powder had been prepared by Gas Atomization Reaction Synthesis (GARS) technique and AlMgB₁₄ prepared by hot isostatic pressing methods. Samples produced by mechanical alloying/ cold uniaxial pressing and pour melting techniques. The results had been compared the wettability of each processing methods. The cast samples showed somewhat mediocre wetting interface and non uniform distribution. Alternatively, the pressing sample has been swaged to test the ability to deform. The AlMgB₁₄ had been moved along swaging direction with 100 micron size of AlMgB₁₄ scattered in Al composites.

Keywords— Wettability, Composite, Aluminum, Mechanical alloying, Processing

* Corresponding author. Tel.: 662-664-1000 ext 8666; fax: 662-664-1000 ext 8663; e-mail: kageeporn@swu.ac.th.

Strengthening of Al-SiC composites produced by centrifugal casting and rolling techniques

K.Wongpreedee^{*}, T. Tansakul, P. Thirathipviwat,

Division of Materials Science (Gems and Jewelry), Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok, Thailand, 10110.

Composites of commercially pure aluminum (98.87%) containing different sizes and volume fractions of particulate silicon carbide reinforcement were made by centrifugal casting technique. The technique was made by different stirring speeds and times with the centrifugal rate at 1500 rpm. The casting bar were then rolled to diminish the small hollows created during casting operation. The rolling deformation has been performed to investigate the strengthening of materials. In addition, the hardness data were then compared to the other study at various volume compositions of SiC. The discussion was simplified the strength of composite on the circumstance of high dislocation densities in the matrix near second phase interfaces and the presence of geometrically necessary dislocation.

Keywords—Composite, Aluminum, Silicon carbide, Dislocation, Centrifugal casting

^{*} Corresponding author. Tel.: 662-649-5632; fax: 662-664-1000 ext 8663; e-mail: kageeporn@swu.ac.th.