

การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของอะลูมิเนียมผสมโพสิต
เสริมความแข็งแรงด้วยอนุภาคเซอร์โคเนียมไดโบไรด์

Characterization of Aluminum Composites Reinforced with ZrB₂ Particles

ไกลกัวงวล นียมศิลป์ชัย ศรีนัยพร หมื่นใจ และ พร่อมพงษ์ ปานดี*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: phromphong.pan@kmutt.ac.th*

Klaikangvol Niyomsilchai, Sarunporn Minchai and Phromphong Pandee*

Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University

of Technology Thonburi, E-mail: phromphong.pan@kmutt.ac.th*

Received 20 May 2022

Accepted 28 Dec 2022; Available online 29 Dec 2022

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะเฉพาะของอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อเกรด AA4032 ที่มีการเติมทองแดงในปริมาณร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก และเสริมแรงด้วยอนุภาคเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ (ZrB₂) ที่ผ่านกระบวนการเติมจากการทำปฏิกิริยาของฟลักซ์ 2 ชนิดคือ K₂ZrF₆ และ KBF₄ ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของอะลูมิเนียมผสมโพสิตเสริมความแข็งแรงด้วยอนุภาคเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ โดยใช้เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากผลการทดลองพบว่าปริมาณของอนุภาคซิลิคอนปฐมภูมิเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณทองแดงจาก ร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก จากผลของการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ยืนยันการก่อตัวของอนุภาค เซอร์โคเนียมไดโบไรด์ อีกทั้งยังพบว่าขนาดของโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอนมีขนาดเล็กลง และความแข็งแรงของอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อดีขึ้นจากการเพิ่มปริมาณทองแดง และเสริมความแข็งแรงด้วยอนุภาคเซอร์โคเนียมไดโบไรด์

คำหลัก: อะลูมิเนียมผสมซิลิคอน เซอร์โคเนียมไดโบไรด์ กระบวนการกวนด้วยใบพัด ความแข็งแรง

Abstract

In the present study, AA4032 with high Cu composites reinforced with zirconium diboride (ZrB₂) particles were synthesized by the in situ reaction of molten aluminum with salts K₂ZrF₆ and KBF₄. The composites were characterized using XRD, OM, and SEM. According to the findings, the amount of primary Si particles rose as the Cu concentration increased from 1 wt.% to 3.5 wt.%. The XRD patterns confirmed the formation of ZrB₂ particulates without the presence of any other compounds. The formation of ZrB₂ particles refines the eutectic Si phases of the aluminum matrix extensively. The hardness of the material was improved by adding high amounts of Cu and ZrB₂ particles.

Keywords: Aluminum-silicon alloy, Zirconium diboride, Stir casting process, Hardness

1. บทนำ

อะลูมิเนียมถือเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่ถูกนิยมนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน เนื่องจากอะลูมิเนียมมีทั้งความสามารถในการทนต่อความร้อน การกัดกร่อน และทนต่อการแตกหัก จึงทำให้อะลูมิเนียมมีการใช้งานเป็นอันดับ 2 รองลงมาจากเหล็ก และมีความสำคัญมากในเชิงเศรษฐกิจ โดยปริมาณการใช้งานอะลูมิเนียมจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในอนาคตเนื่องจากอะลูมิเนียมบริสุทธิ์เป็นโลหะที่มีน้ำหนักเบา มีความหนาแน่น 2.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีจุดหลอมเหลว 660 องศาเซลเซียส

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษเกี่ยวกับโลหะอะลูมิเนียมเกรด AA4032 ซึ่งเป็นอะลูมิเนียมในกลุ่ม 4000 จะมีซิลิคอนเป็นธาตุผสมหลัก โดยธาตุซิลิคอนที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อการไหลและทำให้อุณหภูมิของการหลอมเหลวโลหะลดลง ซึ่งอะลูมิเนียมกลุ่ม 4000 จะมีปริมาณซิลิคอนสูงถึงร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก ส่วนใหญ่นิยมนำมาใช้ผลิตเป็นลวดเชื่อม หรือโลหะเชื่อมประสานของอะลูมิเนียมด้วยกันเอง โดยการเติมแมกนีเซียมในอะลูมิเนียมเกรดนี้ จะทำให้สามารถอบชุบทางความร้อนได้ ซึ่งอะลูมิเนียมกลุ่ม 4000 จะมีความแข็งแรงปานกลาง มีความสามารถในการไหลดี มีการขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ จึงทำให้โลหะอะลูมิเนียมเกรด AA4032 ได้รับความนิยมในการนำมาใช้งานด้านอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมยานอวกาศ และอุตสาหกรรมทางรถไฟ เป็นต้น โดยนิยมนำมาผลิตชิ้นส่วนในกระบวนการตีขึ้นรูปร้อน ไม่ว่าจะเป็นลูกสูบ (Piston) คอมเพรสเซอร์แบบสโครล (Scroll compressors) เนื่องจากอะลูมิเนียมเกรด AA4032 มีปริมาณซิลิคอน (Si) สูง และมีปริมาณทองแดง (Cu) ต่ำ อีกทั้งยังมีคุณสมบัติด้านการหล่อที่ดี ทนทาน น้ำหนักเบา มีความต้านทานอุณหภูมิสูง มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนที่ต่ำ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติทางกลของโลหะอะลูมิเนียมเกรด AA4032 ให้ดีขึ้น โดยการเติมทองแดง ในปริมาณร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก จากเดิมที่มีปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และทำให้โลหะอะลูมิเนียมคอมโพสิต

(Aluminum Matrix Composites; AMCs) แข็งแรงขึ้น โดยการเติมอนุภาคเสริมแรงชนิดเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ (ZrB_2) เป็นอนุภาคเสริมแรงระดับนาโนลิเมตร ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าอนุภาคเสริมแรงระดับไมโครเมตร โดยส่งผลให้โลหะอะลูมิเนียมคอมโพสิตมีค่าการยืดตัวที่ดีขึ้น มีเสถียรภาพทางความร้อนสูง มีความแข็งแรงสูง มีความต้านทานการสึกหรอสูง สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงขึ้นไปได้

2. วิธีการทดลอง

2.1 กระบวนการหล่อโลหะอะลูมิเนียม

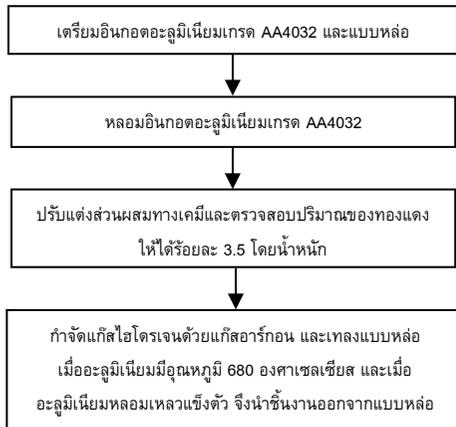
การศึกษาวิจัยนี้ใช้โลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อเกรด AA4032 ซึ่งวัสดุหลักในการทดลอง ได้แก่ โลหะอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ร้อยละ 99.7 โดยน้ำหนัก โลหะซิลิคอนบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9 โดยน้ำหนัก โลหะแม่อะลูมิเนียมผสมทองแดง โดยมีทองแดงผสมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โลหะแมกนีเซียมบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9 โดยน้ำหนัก และโลหะแม่อะลูมิเนียมผสมนิกเกิล โดยมีนิกเกิลผสมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมผสมเกรด AA4032 [1]

Si	Cu	Fe	Cr	Mg	Ni	Zn	Al
11.0-13.5	0.5-1.3	Max	Max	0.8-1.3	0.5-1.3	Max	Bal.

งานวิจัยนี้ได้ทำการปรับแต่งส่วนผสมทางเคมีของโลหะอะลูมิเนียมเกรด AA4032 ซึ่งมีปริมาณของโลหะทองแดงร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ให้มีปริมาณของโลหะทองแดงเป็นร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก และอีกส่วนผสมมีปริมาณของโลหะทองแดงเป็นร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก และมีการเติมอนุภาคเสริมแรงชนิดเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ (ZrB_2) ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

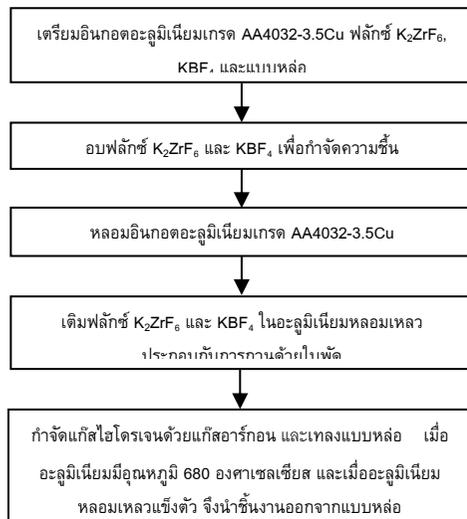
2.1.1 การหล่อโลหะอะลูมิเนียมเกรด AA4032 ที่ทำการเติมทองแดงในปริมาณร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก



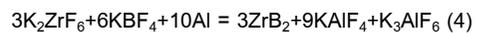
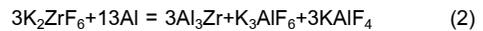
ตารางที่ 2 ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมผสมเกรด AA4032 ที่ทำการเติมทองแดงในปริมาณร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก

Si	Cu	Mg	Ni	Fe	Zr	B	Al
12.15	3.57	0.83	0.55	0.30	-	-	Bal.

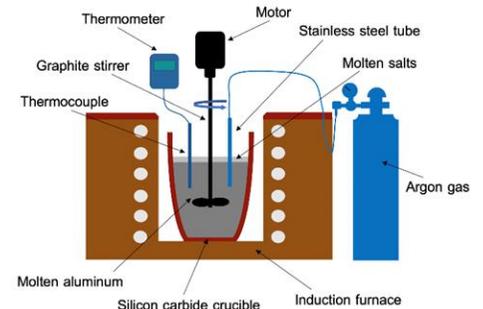
2.1.2 การหล่อโลหะอะลูมิเนียมเกรด AA4032 ที่มีปริมาณทองแดงร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก และทำการเติมเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก



โดยอนุภาคเสริมแรงชนิดเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ (ZrB₂) เป็นอนุภาคเสริมแรงที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาของผงฟลักซ์ 2 ชนิด ได้แก่ โพแทสเซียมเซอร์โคเนียมฟลูออไรด์ (K₂ZrF₆) และโพแทสเซียมฟลูออโรโบเรต (KBF₄) ผ่านกระบวนการ in-situ



จากสมการข้างต้น (1-4) [2] เป็นการทำให้ปฏิกิริยาของโพแทสเซียมเซอร์โคเนียมฟลูออไรด์ (K₂ZrF₆) และโพแทสเซียมฟลูออโรโบเรต (KBF₄) ที่เติมลงในอะลูมิเนียม ได้เป็นเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ (ZrB₂)



รูปที่ 1 กระบวนการหล่อหลอมอะลูมิเนียม

ตารางที่ 3 ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมผสมเกรด AA4032 ที่มีปริมาณทองแดงร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก และทำการเติมเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

Si	Cu	Mg	Ni	Fe	Zr	B	Al
12.24	3.52	0.87	0.58	0.47	2.68	0.57	Bal

2.2 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคจะดำเนินการโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ในการตรวจสอบขนาดและรูปร่างของโครงสร้างทางจุลภาค เริ่มจากการเตรียมผิวของชิ้นงานด้วยเครื่องขัดกระดาษทรายเบอร์ 40 grit ในการปรับผิวหน้า และขัดผิวด้วยกระดาษทรายเบอร์ 180, 320, 400, 600, 800

และ 1200 ตามลำดับ จากนั้นขัดชิ้นงานด้วยผงเพชร (Diamond polishing, DP) และขั้นตอนสุดท้ายขัดด้วยผงขัดออกไซด์ (Oxide polishing, OP-S) ซึ่งจุดที่ทำการตรวจสอบโครงสร้าง ต้องเว้นระยะจากขอบของชิ้นงานไม่น้อยกว่า 5 มิลลิเมตร ที่กำลังขยาย 700 และ 2500 เท่า จากนั้นถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ชนิดฟิลด์อิมิชชัน (Field Emission-Scanning Electron Microscopy, FE-SEM) รุ่น NOVA NANOSEM 450 ในการถ่ายภาพ และใช้เทคนิค Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) สำหรับวิเคราะห์ปริมาณของธาตุบนพื้นผิววัสดุ นอกจากนี้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ในอะลูมิเนียมผสมซิลิคอน AA4032 ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer รุ่น D8 Discover โดยสารแต่ละชนิดมีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่แตกต่างกันตามลักษณะของโครงสร้างนั้น ๆ ทำการทดสอบโดยให้มุมเริ่มต้นที่ 20 องศา และมุมสุดท้ายที่ 80 องศา ซึ่งผลที่แสดงออกมาจะอยู่ในรูปของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศามุม Two-theta และค่าความเข้ม

2.3 การทดสอบความแข็ง

ทำการทดสอบความแข็งของวัสดุโดยใช้เครื่องวัดความแข็งแบบบริเนล (Brinell) ซึ่งหัวกดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร ใช้ภาระกรรมในการกด 62.5 kgf ระยะเวลา 15 วินาที ทำการเตรียมชิ้นงานทดสอบโดยการขัดผิวชิ้นงานด้วยเครื่องขัดกระดาษทรายสายพานเบอร์ 40 grit ในการปรับผิวหน้า จากนั้นทำการขัดผิวด้วยกระดาษทรายเบอร์ 180, 320, 400, 600, และ 800 ตามลำดับ

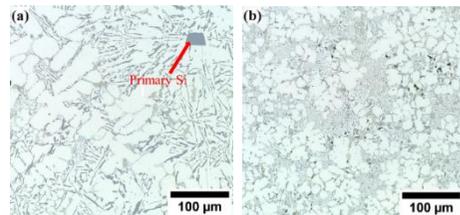
ในการทดสอบจะนำชิ้นงานทดสอบวางบนแท่นวัดความแข็ง และเลื่อนแท่นวัดความแข็งให้ผิวหน้าของชิ้นงานชนกับหัวกด ซึ่งเครื่องจะทำการวัดความแข็งโดยอัตโนมัติ จากนั้นอ่านค่าความแข็งจากเครื่องวัดความแข็ง โดยจะทำการทดสอบซ้ำจำนวน 5 ครั้งต่อ 1 ชิ้นงาน โดยเครื่องจะทำการเฉลี่ยค่าความแข็งให้แล้วนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ผล

3. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

3.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางโลหะวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

3.1.1 ผลต่อซิลิคอนปฐมภูมิ

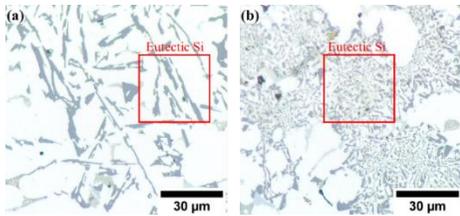
จากรูปที่ 2 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของโลหะอะลูมิเนียม-ซิลิคอนผสมหล่อเกรด AA4032 รูปที่ 2 (a) มีปริมาณ Cu ร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก พบว่ามีซิลิคอนปฐมภูมิอยู่ ซึ่งจากงานวิจัยของ Suwaree และคณะ [3] เมื่อเพิ่ม Cu จะทำให้ปริมาณซิลิคอนปฐมภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีช่วงการแข็งตัวที่เพิ่มขึ้น ส่วนรูปที่ 2 (b) มีปริมาณ Cu ร้อยละ 3.5 ที่ผ่านการเติมเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก พบว่าไม่มีซิลิคอนปฐมภูมิเกิดขึ้น



รูปที่ 2 โครงสร้างทางจุลภาคของโลหะอะลูมิเนียม-ซิลิคอนผสมหล่อเกรด AA4032 (a) AA4032-3.5Cu, (b) AA4032-3.5Cu+5%ZrB₂

3.1.2 ผลต่อขนาดยูเทคติกซิลิคอน

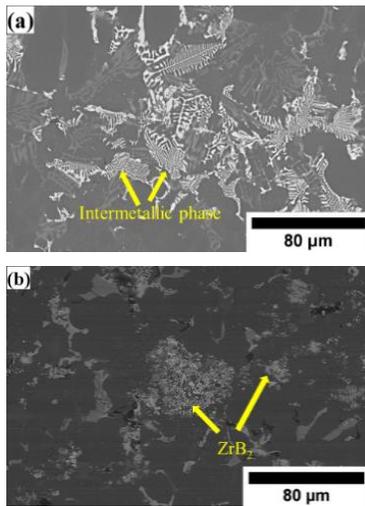
จากรูปที่ 3 บริเวณสีต่ำเป็นโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอน และบริเวณสีขาวเป็นโครงสร้าง α -Al ซึ่งจากรูปที่ 3 (a) คือภาพโครงสร้างของโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อเกรด AA4032 ที่มี Cu ร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก พบว่าบริเวณโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอนจะมีขนาดใหญ่และยาวแหลม สำหรับรูปที่ 3 (b) คือภาพโครงสร้างของโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อเกรด AA4032 ที่มี Cu ร้อยละ 3.5 และผ่านการเติมเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก จะพบได้ว่าบริเวณโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอนจะมีขนาดเล็กและไม่แหลม



รูปที่ 3 โครงสร้างทางจุลภาคของโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อเกรด AA4032 (a) AA4032-3.5Cu, (b) AA4032-3.5Cu+5%ZrB₂

3.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางโลหะวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.2.1 ผลการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



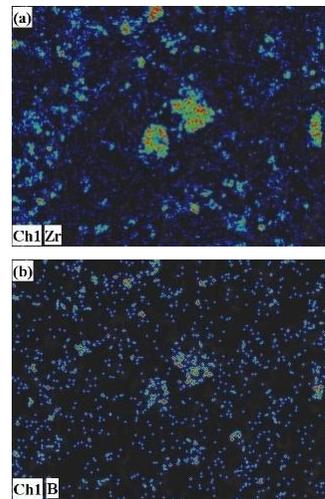
รูปที่ 4 โครงสร้างทางจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (a) AA4032-3.5Cu, (b) AA4032-3.5Cu+5%ZrB₂

จากรูปที่ 4 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในโหมด Backscattered electron โดยรูปที่ 4 (a) คือโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อเกรด AA4032 ที่มี Cu ร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก จะพบเฟสสารประกอบเชิงโลหะ (Intermetallic phase) และสำหรับรูปที่ 4 (b) คือโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อเกรด AA4032 ที่มี Cu

ร้อยละ 3.5 ที่ผ่านการเติมเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก จะพบว่ามีการก่อตัวของอนุภาคเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ที่กระจายตัวอยู่เป็นกลุ่มก้อน

3.2.2 เทคนิค EDS แสดงองค์ประกอบทางเคมี

จากรูปที่ 5 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนผสมเกรด AA4032 ที่มี Cu ร้อยละ 3.5 และผ่านการเติมเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุเชิงแผนภาพ จะพบลักษณะการกระจายตัวของธาตุบนพื้นที่ผิวนั้น จากรูปที่ 5 (a) แสดงการกระจายตัวของธาตุเซอร์โคเนียม (Zr) และรูปที่ 5 (b) แสดงการกระจายตัวของธาตุเซอร์บอน (B) พบว่ามีการกระจายตัวกันอยู่เป็นกลุ่มก้อน

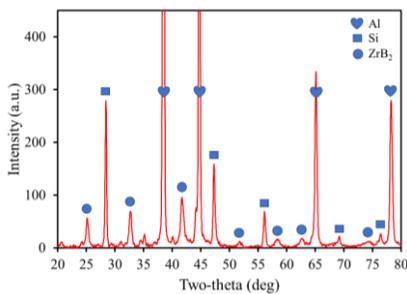


รูปที่ 5 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อเกรด AA4032-3.5Cu+5%ZrB₂ (a) การกระจายตัวของธาตุเซอร์โคเนียม (Zr), (b) การกระจายตัวของธาตุเซอร์บอน (B)

3.2.3 การวิเคราะห์วัสดุด้วยเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

จากรูปที่ 6 ผลการตรวจสอบวิเคราะห์วัสดุด้วยเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โดยพิกที่

พบ ได้แก่ อะลูมิเนียม ซิลิคอน และเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ [2, 4-6] ซึ่งพบว่าผลการตรวจสอบได้ยืนยันการก่อตัวของอนุภาคเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ในชิ้นงานทดสอบ จะมีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ปรากฏพีคของอนุภาคอย่างชัดเจน และมี International Centre for Diffraction Data (ICDD) ที่สามารถระบุชนิดของธาตุและสารประกอบได้ โดยธาตุ Al มี ICDD: 00-004-0787, Si มี ICDD: 04-001-7247 และ ZrB₂ มี ICDD: 34-0423 [7-8]



รูปที่ 6 กราฟแสดงผลการตรวจสอบวิเคราะห์วัสดุของชิ้นงานทดสอบจากความสัมพันธ์ระหว่างองศามุม Two-theta และค่าความเข้มของ AA4032-3.5Cu+ZrB₂

3.3 การทดสอบความแข็ง

ผลจากการทดสอบความแข็งของวัสดุโดยใช้เครื่องวัดความแข็ง Brinell hardness tester พบว่าโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อเกรด AA4032 ที่มี Cu ร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก และผ่านการเติมเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ ทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งจากงานวิจัยของ Senthil Kumaran และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาวิจัยพบว่าค่าความแข็งจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอนุภาคเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอนุภาคเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ทำให้มีความต้านทานการเสียรูป (Plastic deformation) มากขึ้น ซึ่งทำให้คอมโพสิตมีความแข็งเพิ่มขึ้น อีกทั้งการมีอนุภาคเซอร์โคเนียมไดโบไรด์จะเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของดิสโลเคชัน ซึ่งมีส่วนช่วยในการเพิ่มความแข็งของคอมโพสิต โดยโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อเกรด AA4032 ที่มี Cu ร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก ที่ไม่ผ่านการเติม

เซอร์โคเนียมไดโบไรด์มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 113.3 HB ส่วนโลหะอะลูมิเนียม-ซิลิคอนผสมหล่อเกรด AA4032 ที่มี Cu ร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก และผ่านการเติมเซอร์โคเนียมไดโบไรด์มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 118.2 HB

4. สรุปผลการทดลอง

โลหะอะลูมิเนียม-ซิลิคอนผสมหล่อเกรด AA4032 ที่ผ่านการเพิ่มปริมาณทองแดงเป็นร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณของซิลิคอนปฐมภูมิเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อสมบัติทางกลในด้านของความแข็งที่เพิ่มขึ้น และสำหรับการเติมเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ลงในโลหะอะลูมิเนียม-ซิลิคอนผสมหล่อเกรด AA4032 ที่มีปริมาณทองแดงร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก ทำให้ปริมาณของซิลิคอนปฐมภูมิลดลง ส่งผลต่อโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกล พบว่า มีการปรับรูปทรงและขนาดของยูเทคติกซิลิคอนให้มีขนาดเล็กและไม่แหลม ทำให้ค่าความแข็งที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 113.3 HB เป็น 118.2 HB ตามลำดับ

5. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อเกรด AA4032 ที่ผ่านการเพิ่มปริมาณทองแดงเป็นร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้มีปริมาณซิลิคอนปฐมภูมิที่เพิ่มขึ้น ทำให้การทดสอบความแข็งเมื่อในบริเวณซิลิคอนปฐมภูมิ จะส่งผลให้ค่าความแข็งสูงขึ้น และสำหรับโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อเกรด AA4032 ที่มีปริมาณทองแดงร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก และผ่านการเติมอนุภาคเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก การทดสอบความแข็งในบริเวณกลุ่มก้อนของอนุภาคเซอร์โคเนียมไดโบไรด์ ส่งผลให้ความแข็งของโลหะบริเวณนั้นมีค่าสูงขึ้น จึงทำให้มีค่าความแข็งที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้น การศึกษางานวิจัยในอนาคต จำเป็นต้องศึกษาวิธีการที่ช่วยให้อนุภาคเสริมแรงสามารถกระจายตัวได้ดีขึ้น ซึ่งอาจส่งผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาของอะลูมิเนียมผสมซิลิคอน และต้องมีการศึกษาถึงสมบัติทางกลด้านอื่นๆ เพิ่มเติมเช่น การรับแรงดึง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณสำหรับการศึกษาวิจัยนี้ และให้ความอนุเคราะห์ในด้านสถานที่เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการดำเนินงาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Metal Handbook Vol. 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Pure Metals. ASM, Metals Park, Ohio; 1979.
- [2] Tian K, Zhao Y, Jiao L, Zhang S, Zhang Z, Wu X. Effects of in situ generated ZrB₂ nanoparticles on microstructure and tensile properties of 2024Al matrix composites. Journal of Alloys and Compounds. 2014; 594: 1-6.
- [3] Chankitmongkol S, Eskin D G, Patakham U, Limmaneevichitr C. Microstructure and elevated temperature mechanical properties of a direct-chill cast AA4032 alloy with copper and erbium additions. Journal of Alloys and Compounds. 2019; 782: 865-874.
- [4] Gupta R, Daniel B S S. Impression creep behaviour of ultrasonically processed in-situ Al₃Zr-Al alloy composite in as-cast condition. Materials Characterization. 2020; 169: 110594.
- [5] Li H, Jiao L, Xu R, Li F, Lu S, Qiao Y, Li C, Zhang P. Surface wear behavior and friction and wear mechanism studies of A356/3 wt.% Al₃Zr composites. Journal of Materials Engineering and Performance. 2021; 30(5): 3892-3902.
- [6] Selvam J D R, Dinaharan I. In situ formation of ZrB₂ particulates and their influence on microstructure and tensile behavior of AA7075 aluminum matrix composites. Engineering Science and Technology. 2017; 20: 187-196.
- [7] Zhang W, Dai F Z, Xiang H, Zhao B, Wang X, Ni N, Karre R, Wu S, Zhou Y. Enabling highly efficient and broadband electromagnetic wave absorption by tuning impedance match in high-entropy transition metal diborides (HE TMB₂). Journal of Advanced Ceramics. 2021; 10(6): 1299-1316.
- [8] Yurcho A, Peters K M, Hetzel B, Zeller M, Wagner T R, Solomon V C. Microstructural analysis of ceramic-metallic interpenetrating phase composites. Proceedings of the 2011 ASEE North Central & Illinois-Indiana Section Conference; 2011 April 1-2; Central Michigan University, Michigan. 2011. p.1-6.
- [9] Kumaran S S, Babu S K, Natarajan S, Prasad K S. High temperature sliding wear behavior of Al 4032-ZrB₂ in situ composite. Journal of Materials Science. 2009; 4(3): 283-298.