

ผลกระทบของการเติมตัวกระป๋องเครื่องดื่มต่อการปรับสภาพเฟสเบต้าในโลหะผสมหล่อ
อลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก ที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิล

Effects of Beverage Can Body Addition on β Phase Modification
in Recycled Al-Si-Fe Cast Alloy

จิงกมล ลุยจันทร์* และ พิสิทธิ์ เมืองน้อย

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110

E-mail: jinkamon.lui@rmutr.ac.th

Jinkamon Luijan* and Phisit Muangnoy

Department of Production Engineering Technology, Faculty of Industry and Technology,

Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Wang Klai Kangwon Campus,

Prachuap Khiri Khan Province 77110, Thailand

E-mail: jinkamon.lui@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการเติมตัวกระป๋องเครื่องดื่มต่อการปรับสภาพโครงสร้างจุลภาคเฟส β ในโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก ที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิล โดยนำตัวกระป๋องเครื่องดื่มเติมลงในน้ำโลหะหลอมเหลวปริมาณการเติมร้อยละ 5, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เวลาค้ำน้ำโลหะ 30 นาที เกลงโมลสแตนเลสผนังบางที่มีอัตราการเย็นตัว $0.2\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ ผลการทดลองพบว่าโครงสร้างจุลภาคตัวกระป๋องเครื่องดื่มประกอบด้วยเฟส $\text{Al}_6(\text{Mn,Fe})$ และเฟส Mg_2Si โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก ที่ไม่ได้ผ่านการเติมตัวกระป๋องเครื่องดื่มแสดงเฟส β กระจายตัวบนพื้นเฟส α -Al หลังจากเติมตัวกระป๋องเครื่องดื่มร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้เฟส β มีขนาดและความยาวลดลง ที่ปริมาณการเติมตัวกระป๋องเครื่องดื่มร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก สามารถปรับสภาพเฟส β ให้กลายเป็นเฟส α ในปริมาณเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อปริมาณการเติมตัวกระป๋องเครื่องดื่มร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีประสิทธิภาพการปรับสภาพเฟส β ได้มากที่สุด จากผลการวิเคราะห์ปริมาณเฟสในการทดลองพบว่าเฟส β ลดลงร้อยละ 50-80 ขึ้นอยู่กับปริมาณการเติมตัวกระป๋องเครื่องดื่มในการทดลอง

คำสำคัญ: โลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก; การปรับสภาพเฟส; งานหล่อ; ตัวกระป๋องเครื่องดื่ม

Abstract

The objective of this research was to study the effects of beverage can body addition on the β phase modification in recycled Al-Si-Fe cast alloys. Beverage can body parts with different proportions (5, 10, 20 and 30 wt.%) were added into the molted Al-Si-Fe alloy for 30 minutes holding time, then poured into a stainless steel mold at 0.2 °C/s cooling rate. The result on the beverage can body microstructure was found to consist of $Al_6(Mn,Fe)$ and Mg_2Si phases. The microstructure of the Al-Si-Fe cast alloy indicates that the β phase that distributes in the α -Al matrix. After the addition of 5 wt.% of the beverage can body, the size and length of the β phase decreases. The addition of 10, 20 and 30 wt.% of beverage can body showed transformation from the β phase to the α phase. In particular, the addition of 30 wt.% of the beverage can body which led to the most efficient of modification of the β phase. The quantitative analysis of the phases showed that the β phase decreased by 50-80 % depending on amount the beverage can body addition.

Keywords: Al-Si-Fe cast alloy; Modification; Casting; Beverage can body

1. บทนำ

ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ในประเทศไทยนิยมใช้โลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิกอนเกรดงานหล่อ (A319, A356 และ A380) มาผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ เช่น ล้ออัลลอยด์ ลูกสูบเก่า และอะไหล่เครื่องยนต์ เป็นต้น ซึ่งการนำอลูมิเนียมเกรดเหล่านี้นำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าจะเกิดปัญหาการปนเปื้อนของเหล็กในปริมาณสูง 0.5-1.5 wt.% สาเหตุในการปนเปื้อนนี้นั้นพบได้หลายกรณี เช่น กระบวนการหล่อที่ไม่มีคุณภาพ โดยมีการนำเหล็กมาใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับงานหล่อหรือการนำกลับมาใช้ใหม่ของอลูมิเนียมที่มีส่วนผสมทางเคมีของเหล็กแตกต่างกัน (กรณีนำชิ้นส่วนที่ขึ้นรูปโดยใช้แม่แบบถาวร ที่มีปริมาณเหล็กสูง มาหลอมผสมกับเกรดงานหล่อทรายขึ้นที่มีปริมาณเหล็กต่ำ) จากสาเหตุข้างต้นส่งผลต่อการก่อตัวเป็นเฟส β - Al_3FeSi (เฟส β) ในโครงสร้างจุลภาค โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการหล่อทรายขึ้น ที่มีอัตราการแข็งตัวต่ำ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพชิ้นงานหล่อและสมบัติเชิงกลที่ลดต่ำลง [1-2] กรรมวิธีที่ใช้สำหรับปรับสภาพ (Modification) เฟส β ในปัจจุบันนิยมเติมธาตุแมงกานีส ลิเทียม โพแทสเซียม และโครเมียม [3-8] ลงไปในน้ำอลูมิเนียมหลอมเหลว ทำให้เกิดการก่อตัวกลายเป็นเฟส α - $Al_6(Mn,Cr,Fe)_3Si_2$ (เฟส α) ที่มีลักษณะคล้ายกับตัวอักษรจีน (Chinese script) ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของชิ้นงานหล่อดีขึ้น [7-8] จากงานวิจัยที่ผ่านมา Li และคณะ [9] ศึกษาผลกระทบของปริมาณการเติมสตรอนเทียม เหล็ก และแมงกานีส ในโลหะผสมเกรด A319 พบว่าธาตุแมงกานีสสามารถปรับสภาพเฟส β กลายเป็นเฟส α ได้ นอกจากนี้ยังพบว่ารูพรุน (Porosity) และแขนของต้นเดนไดรต์ (Secondary dendrite arm spacing) ในชิ้นงานหล่อลดลง โดยที่ Gao และคณะ [10] ศึกษาพฤติกรรมการเพิ่มความแข็งแรงและรูปร่างของเฟส

กระป๋องเครื่องดื่มเริ่มหลอมเหลวเติมฟลักซ์เพื่อปกคลุมผิวหน้า ค้างน้ำโลหะไว้ในเตา 30 นาที และไล่แก๊สโดยใช้แก๊สอาร์กอน ใช้เวลา 5 นาที ตักสารมลทินบริเวณผิวหน้าโลหะหลอมเหลว จากนั้นเทโลหะหลอมเหลวลงในแบบหล่อสแตนเลสผนังบาง ที่อุณหภูมิ 720 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง (wt.%)

| Alloys / Part name | Si | Fe | Mn | Mg | Al |
|--|-------|--------|-------|-------|------|
| Al-Si-Fe | 6.782 | >0.942 | 0.020 | 0.264 | Bal. |
| Beverage can body | 0.306 | 0.537 | 1.067 | 0.563 | Bal. |
| Al-Si-Fe + 30 wt. % of beverage can body | 6.65 | 0.931 | 0.420 | 0.194 | Bal. |

ตารางที่ 2 ออกแบบการทดลอง (wt.%)

| โลหะผสม | ตัวกระป๋องเครื่องดื่ม | โลหะผสม Al-10%Sr |
|----------|-----------------------|------------------|
| Al-Si-Fe | 5 | 0.04 |
| Al-Si-Fe | 10 | 0.04 |
| Al-Si-Fe | 20 | 0.04 |
| Al-Si-Fe | 30 | 0.04 |

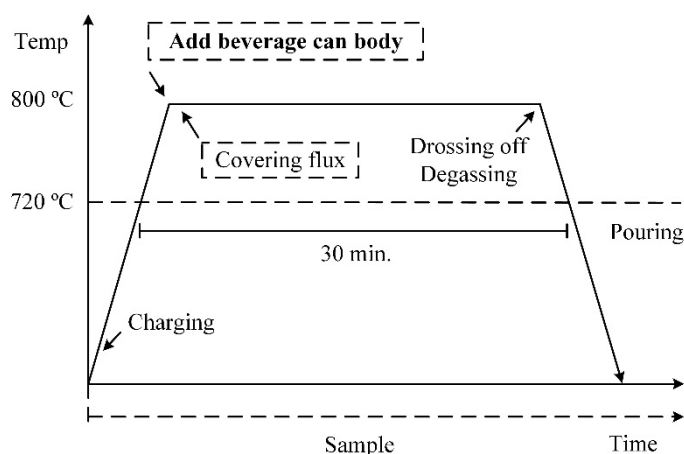
2.3 ขั้นตอนการปรับสภาพเฟส

ในขั้นตอนการศึกษาประสิทธิภาพการปรับสภาพเฟส β นั้น นำโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิกอน-เหล็ก ปริมาณเท่ากับ 5 กิโลกรัม หลอมในเตาไฟฟ้าขดลวดด้านทาน ใช้เบ้าซิลิกอนคาร์ไบด์ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เมื่อโลหะผสมเริ่มหลอมเหลวเติมตัวกระป๋องเครื่องดื่ม ดังตารางที่ 2 ทดลองเติมตัวกระป๋องเครื่องดื่มในปริมาณ 5, 10, 20 และ 30 wt.% ตามลำดับ และกำหนดโลหะผสม Al-10%Sr ในปริมาณ 0.04 wt.% เท่ากันในทุกสภาวะการทดลอง จากนั้นเติมฟลักซ์เพื่อปกคลุมผิวหน้า ค้างน้ำโลหะในเตา 30 นาที ไล่แก๊สโดยใช้แก๊สอาร์กอนใช้เวลา 5 นาที และตักสารมลทินบริเวณผิวหน้าโลหะหลอมเหลว เทโลหะหลอมเหลวลงในแบบหล่อสแตนเลสผนังบาง ที่อุณหภูมิ 720 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 1

2.4 ขั้นตอนการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

เตรียมชิ้นงานที่ได้จากการหลอมมาล้างทำความสะอาดด้วยเอทานอลและน้ำ หลังจากนั้นเป่าชิ้นงานให้แห้ง นำชิ้นงานหล่อจากการทำความสะอาดมาขัดด้วยกระดาษทราย 320 ถึง 1200 กริต ตามลำดับ นำไปขัดละเอียดด้วยผ้าสักหลาดโดยใช้ผงขัดอลูมินาขนาด 1 และ 0.5 ไมครอน และคอลลอยด์ซิลิกอน ด้วยเครื่องขัดชิ้นงานยี่ห้อ STRUERS รุ่น DAP-7 จากนั้นกัดผิวหน้าด้วยสารละลายเคลเลอร์ (Keller's reagent) ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscopy) ยี่ห้อ NIKON รุ่น ECLIPSE MA200 ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5410 LV

ทำการวิเคราะห์ธาตุในเชิงปริมาณและวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุด้วย สเปกโทรมิตรีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy dispersive X-ray spectrometry; EDS) ยี่ห้อ OXFORD รุ่น LINK ISIS 300 ร่วมกับกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ตรวจสอบสารประกอบเชิงโลหะโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer; XRD) ยี่ห้อ BRUKER รุ่น D8 DISCOVER และวัดปริมาณเฟสที่เกิดขึ้นโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ (Image analysis system)



รูปที่ 1 ขั้นตอนการปรับสภาพเฟส

3. ผลการทดลอง และหัวข้อ

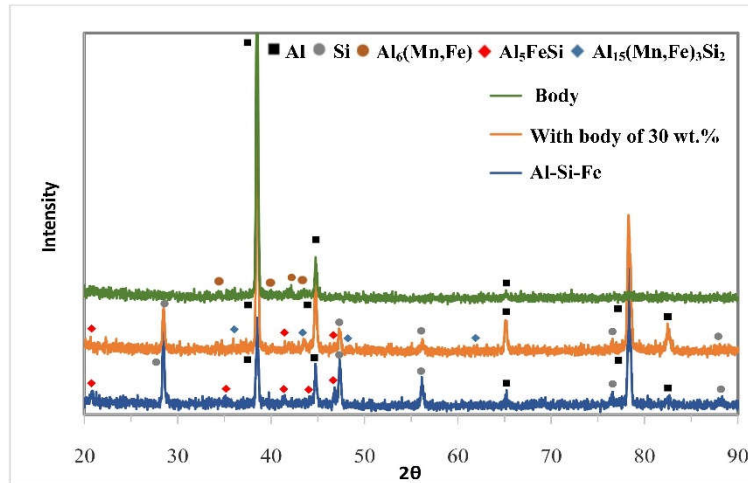
3.1 การวิเคราะห์สารประกอบเชิงโลหะโดยเทคนิค XRD

ผลการวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบเพื่อยืนยันชนิดของสารประกอบเชิงโลหะที่เกิดขึ้นในตัวกระป๋องเครื่องดื่ม โลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิกอน-เหล็ก และโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิกอน-เหล็ก หลังจากการผ่านการปรับสภาพเฟสโดยการเติมตัวกระป๋องเครื่องดื่มในปริมาณ 30 wt.% ดังรูปที่ 2 พบว่าตัวกระป๋องเครื่องดื่มประกอบด้วยธาตุอลูมิเนียม และเฟส $Al_6(Mn,Fe)$ จากผลการวิเคราะห์โลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิกอน-เหล็ก ประกอบด้วยธาตุอลูมิเนียม ซิลิกอน และ เฟส β ในขณะที่โลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิกอน-เหล็ก ผ่านการปรับสภาพเฟสโดยการเติมตัวกระป๋องเครื่องดื่มในปริมาณ 30 wt.% ประกอบด้วยธาตุอลูมิเนียม ซิลิกอน เฟส β และเฟส α

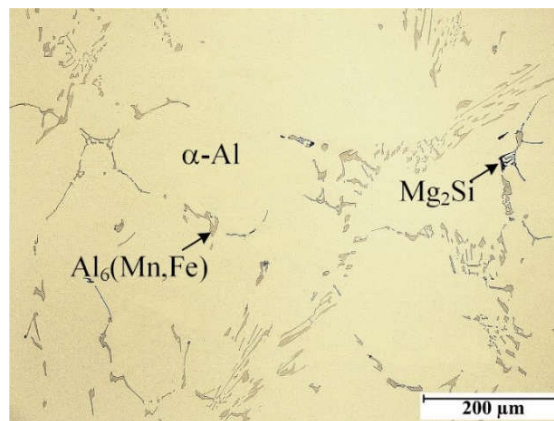
3.2 โครงสร้างจุลภาคตัวกระป๋องเครื่องดื่ม

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคตัวกระป๋องเครื่องดื่มที่ถูกนำกลับมาหลอมใหม่เพื่อใช้ในการศึกษาผลกระทบต่อ การปรับสภาพเฟส β พบว่าประกอบด้วยเฟส $Al_6(Mn,Fe)$ [18-20] มีลักษณะเป็นเส้นยาวขนาด 50-100 ไมครอน และเฟส Mg_2Si อยู่บนพื้นของเฟส $\alpha-Al$ ดังรูปที่ 3 ผลการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีโดยใช้เทคนิค EDS ในเฟส $Al_6(Mn,Fe)$ ดังรูปที่ 4(ก) บริเวณตำแหน่งที่ 1 มีปริมาณธาตุอลูมิเนียม แมงกานีส และเหล็ก เท่ากับ

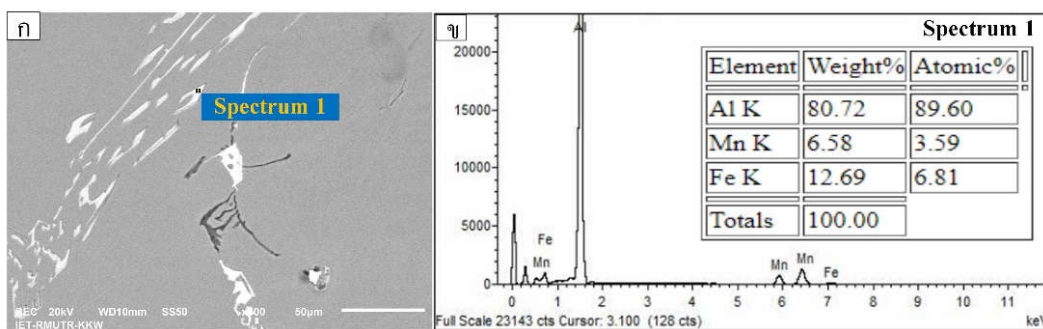
80.72, 6.58 และ 12.69 wt.% ตามลำดับ ดังรูปที่ 4(ข) การวิเคราะห์ธาตุดังกล่าวสอดคล้องกับผล XRD ของตัว
 ครอบป้องกันเครื่องดัดรูปที่ 2



รูปที่ 2 เทคนิค XRD วิเคราะห์สารประกอบเชิงโลหะของตัวครอบป้องกันเครื่องดัด โลหะผสมหล่อ
 อลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก และโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก ที่ปริมาณครอบป้องกันเครื่องดัด 30 wt.%



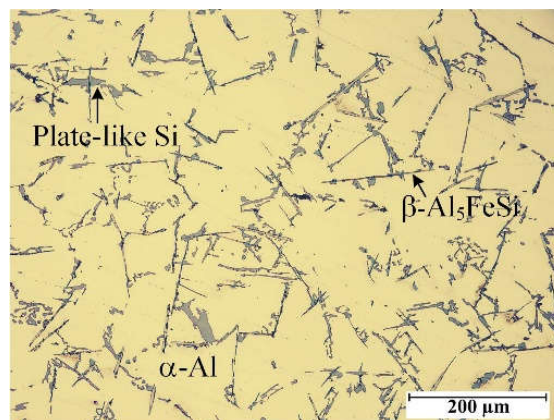
รูปที่ 3 โครงสร้างจุลภาคตัวครอบป้องกันเครื่องดัด



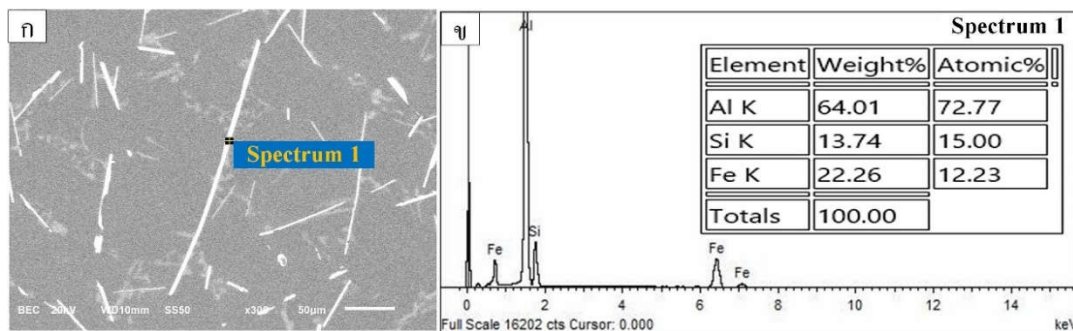
รูปที่ 4 (ก) SEM โครงสร้างจุลภาคตัวครอบป้องกันเครื่องดัด (ข) EDS ที่ตำแหน่งที่ 1

3.3 โครงสร้างจุลภาคโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิกอน-เหล็ก ไม่ผ่านการปรับสภาพเฟส

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิกอน-เหล็ก พบว่าโครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยเฟสยูเทคติกซิลิกอนที่มีรูปทรงไม่แน่นอน และเฟส β ลักษณะเป็นเส้นยาวมีขนาดในช่วง 50-200 ไมครอน กระจายตัวบนพื้นเฟส α -Al ดังรูปที่ 5 เมื่อตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีโดยใช้เทคนิค EDS เฟส β บริเวณตำแหน่งที่ 1 ดังในรูปที่ 6(ก) พบว่ามีปริมาณธาตุอลูมิเนียม ซิลิกอน และเหล็ก ปริมาณเท่ากับ 64.01, 13.74 และ 22.26 wt.% ตามลำดับ ดังรูปที่ 6(ข) การวิเคราะห์ธาตุดังกล่าวซึ่งสอดคล้องกับผล XRD ของโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิกอน-เหล็ก ดังรูปที่ 2



รูปที่ 5 โครงสร้างจุลภาคโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิกอน-เหล็ก ไม่ผ่านการปรับสภาพเฟส

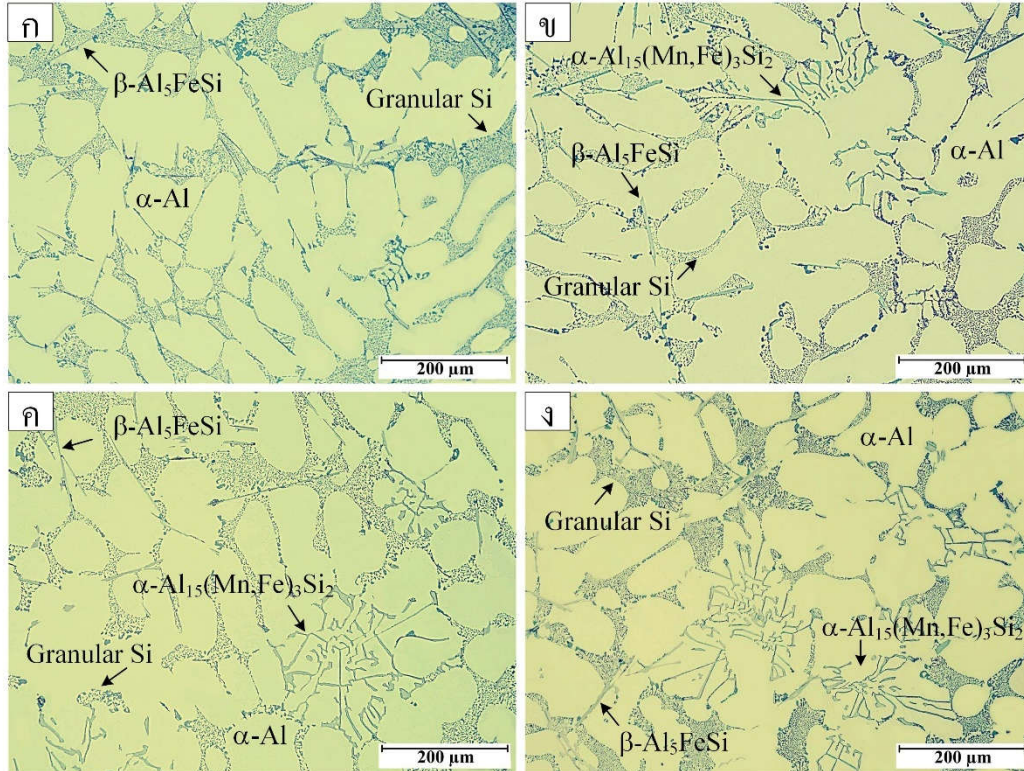


รูปที่ 6 (ก) SEM โลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิกอน-เหล็ก (ข) EDS บริเวณตำแหน่งที่ 1

3.4 โครงสร้างจุลภาคโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิกอน-เหล็ก ผ่านการปรับสภาพเฟสโดยการเติมตัวกระป๋องเครื่องดีม

ผลการปรับสภาพโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิกอน-เหล็ก โดยการเติมตัวกระป๋องเครื่องดีมลงไป ปริมาณ 5 wt.% พบว่าเฟส β มีขนาดและความยาวลดลงเท่ากับ 100-150 ไมครอน แต่ปริมาณการเติมที่น้อยเกินไป นั้นไม่เพียงพอต่อการก่อตัวของเฟส α ในโครงสร้างจุลภาคได้ ดังรูปที่ 7(ก) การเติมตัวกระป๋องเครื่องดีมลงไป ปริมาณ 10 และ 20 wt.% พบว่าสามารถเปลี่ยนเฟส β ให้กลายเป็นเฟส α ได้เพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 7(ข) - (ค) ที่

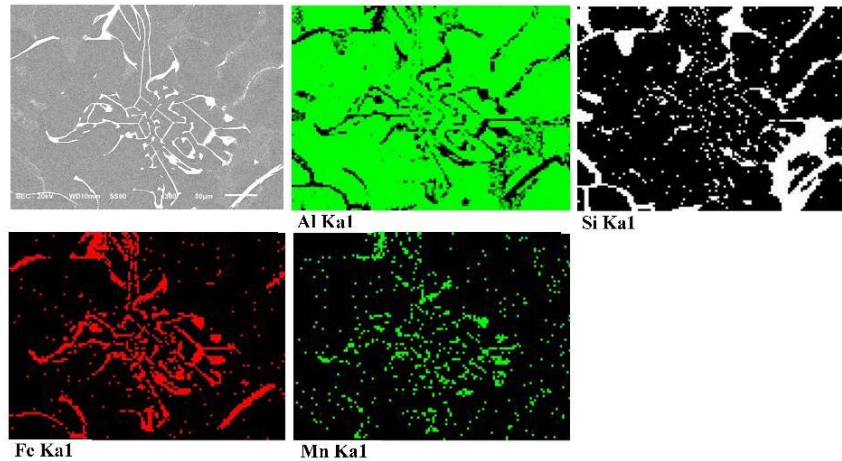
ปริมาณเติมตัวกระป๋องเครื่องตีที่สูงขึ้นเท่ากับ 30 wt.% พบว่ามีประสิทธิภาพในการปรับสภาพเฟส β ที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการเติมที่น้อยกว่า อย่างไรก็ตามเฟส β ยังคงหลงเหลืออยู่ในโครงสร้างจุลภาคเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังรูปที่ 7(ง)



รูปที่ 7 โครงสร้างจุลภาคโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิกอน-เหล็ก ผ่านการปรับสภาพเฟสโดยการเติมตัวกระป๋องเครื่องตี (ก) 5 wt.% (ข) 10 wt.% (ค) 20 wt.% และ (ง) 30 wt.%

3.5 การวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุผสมโดยใช้เทคนิค X-ray mapping

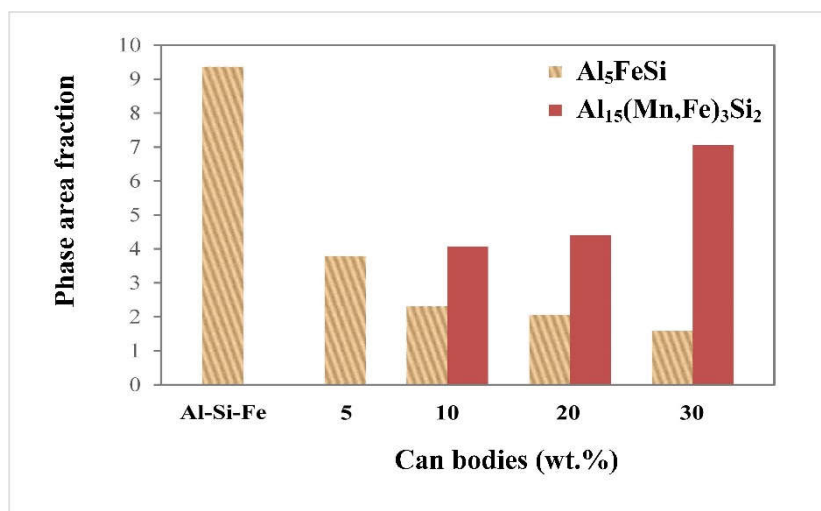
รูปที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุผสมที่เป็นผลมาจากการเติมตัวกระป๋องเครื่องตีปริมาณ 30 wt.% ในโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิกอน-เหล็ก โดยใช้เทคนิค X-ray mapping บริเวณเฟส α พบว่ามีการกระจายตัวของธาตุอลูมิเนียม เหล็ก แมงกานีส และซิลิกอน กระจายตัวอย่างหนาแน่นบริเวณเฟส α ที่มีลักษณะคล้ายตัวอักษรจีน ซึ่งจากผลการตรวจสอบนี้สามารถยืนยันได้ว่าส่วนผสมทางเคมีในเฟส α นั้นประกอบด้วยธาตุอลูมิเนียม เหล็ก แมงกานีส และซิลิกอน เป็นหลัก นอกจากนี้ยังพบการปรากฏตัวของเฟส β อยู่บ้างเล็กน้อยในโครงสร้างจุลภาค ซึ่งประกอบด้วยธาตุอลูมิเนียม เหล็ก และซิลิกอน โดยปกติสัดส่วนที่เหมาะสมในการปรับสภาพเฟส β ให้สมบูรณ์นั้น สัดส่วนระหว่างธาตุ Mn : Fe เท่ากับ 0.5 : 1 [21] จากผลการทดลองนี้ปริมาณธาตุแมงกานีสมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการปรับสภาพเฟส β ให้หมดไปจากโครงสร้างจุลภาคได้



รูปที่ 8 เทคนิค X-ray mapping แสดงการกระจายตัวของธาตุบริเวณ เฟส α และ β ในโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก ที่ปริมาณกระป๋องเครื่องดื่ม 30 wt.%

3.6 ปริมาณเฟสโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก ผ่านการปรับสภาพเฟสโดยการเติมตัวกระป๋องเครื่องดื่ม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเฟส β และ α ที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ หลังจากปรับสภาพเฟสโดยการเติมตัวกระป๋องเครื่องดื่ม เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนพื้นที่เฟส (Phase area fraction) ต่อปริมาณการเติม 5, 10, 20 และ 30 wt.% พบว่ามีสัดส่วนของเฟส β เท่ากับ 3.78, 2.37, 2.04 และ 1.58 ตามลำดับ และสัดส่วนของเฟส α ที่ปริมาณการเติม 10, 20 และ 30 wt.% เท่ากับ 4.08, 4.46 และ 7.06 ตามลำดับ ดังนั้นจากปริมาณเฟส β ที่ลดลง เนื่องจากปริมาณธาตุแมงกานีสที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้เกิดการก่อตัวของเฟส α ขึ้นมาแทนที่เฟส β ในโครงสร้างจุลภาค การเติมตัวกระป๋องเครื่องดื่มเพื่อปรับสภาพเฟส β ให้กลายเป็นเฟส α นั้น ปริมาณการเติมที่สูง ส่งผลต่อประสิทธิภาพการปรับสภาพเฟส β ที่ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการเติมที่ต่ำ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ปริมาณเฟสของโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก และโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก ผ่านการปรับสภาพเฟสโดยการเติมตัวกระป๋องเครื่องดื่ม

4. การอภิปรายผลการทดลอง

ผลการทดลองในงานวิจัยนี้พบว่า การเติมตัวกระป๋องเครื่องตีลงไปในน้ำโลหะหลอมเหลวของโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก มีผลต่อการปรับสภาพเฟส β ให้กลายเป็นเฟส α โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเติม 20 และ 30 wt.% ดังรูปที่ 7(ค) - (ง) เนื่องจากผลกระทบของธาตุแมงกานีสในเฟส $Al_6(Mn,Fe)$ ที่มีปริมาณมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การเติมตัวกระป๋องที่ปริมาณ 5 และ 10 wt.% จึงส่งผลต่อการปรับสภาพเฟส β ที่ดีกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา Gao และคณะ [10] ที่พบว่าปริมาณธาตุแมงกานีสที่สูงส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการปรับสภาพเฟสที่ดี สำหรับกลไกการปรับสภาพเฟสสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อเติมตัวกระป๋องเครื่องตีที่มีส่วนผสมของเฟส $Al_6(Mn,Fe)$ ลงไปในน้ำโลหะหลอมเหลว จะเกิดการละลายตัวของเฟส $Al_6(Mn,Fe)$ ระหว่างการค้ำน้ำโลหะเหลวในเตา หลังการเทน้ำโลหะเกิดการแข็งตัวของเฟส α -Al ก่อตัวเป็นเฟสแรกที่อุณหภูมิ 609 องศาเซลเซียส [22] เป็นที่ทราบกันดีว่าความสามารถในการละลายของธาตุผสมในเฟส α -Al ต่ำ เมื่อมีการเติบโตของต้นเดนไดรต์ (Dendrite tip) เข้าสู่เฟสของเหลว เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงและความเข้มข้นของธาตุแมงกานีส เหล็ก ซิลิคอน ในของเหลวเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลต่อการรวมตัวของธาตุอลูมิเนียม แมงกานีส เหล็ก ซิลิคอน ก่อตัวเป็นเฟส α และเติบโตขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ปริมาณธาตุเหล็กจะถูกนำไปใช้ในการก่อตัวเฟส α ทำให้ปริมาณธาตุเหล็กในน้ำโลหะหลอมเหลวลดลง ไม่เพียงพอในการก่อตัวของเฟส β เมื่อความเข้มข้นของธาตุซิลิคอนในน้ำโลหะหลอมเหลว เท่ากับ 11.7 wt.% จะเกิดการแปลงเฟสที่ปฏิกิริยาเทคนิค ดังในรูปที่ 10 จากการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีในการทดลองพบว่าปริมาณธาตุแมงกานีสเท่ากับ 0.4 wt.% เมื่อพิจารณาแผนภาพ อลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก ที่ปริมาณธาตุแมงกานีส เท่ากับ 0.4 wt.% [21] จากปริมาณธาตุแมงกานีสที่สูงขึ้น ส่งผลต่อการก่อตัวของเฟส α ในโครงสร้างจุลภาค นอกจากนี้ยังพบว่าสัดส่วนระหว่างธาตุ Fe : Mn ของโลหะผสมส่งผลกระทบต่อปริมาณการก่อตัวของเฟส α อย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาเมื่อธาตุแมงกานีสเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างจุลภาคจากเฟส β กลายเป็นเฟส α [10, 23-24] ในขณะที่เฟสยูเทคติกซิลิคอนนั้นสามารถเปลี่ยนรูปร่างจากรูปทรงไม่แน่นอน กลายเป็นรูปทรงกลมมน ทุกๆ สถานะการทดลอง ซึ่งเป็นผลมาจากการเติมโลหะผสม Al-10%Sr ธาตุสตรอนเทียมทำหน้าที่ไปขัดขวางการเติบโตของผลึกซิลิคอนในระนาบ $\langle 112 \rangle$ และทำให้เกิดการเติบโตในหลายทิศทาง [25] สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา พิสิทธิ์ เมืองน้อย และจิณกมล ลุยจันทร์ [26] การปรับปรุงลักษณะและรูปร่างของเฟสซิลิคอนนั้น ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลที่ดีในโลหะผสมหล่ออลูมิเนียมยังสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Li และคณะ [27] ที่พบว่า การปรับปรุงเฟสซิลิคอนนั้น ส่งผลที่ดีต่อค่าสมบัติเชิงกลของโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม

ผลการทดลองเติมตัวกระป๋องเครื่องตีลงไปในน้ำโลหะหลอมเหลวของโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก สามารถปรับสภาพเฟส β ให้กลายเป็นเฟส α ได้ ผลการทดลองนี้สามารถใช้เป็นทางเลือกสำหรับอุตสาหกรรมงานหล่อผลิตชิ้นส่วน ซึ่งสามารถลดปริมาณการใช้โลหะผสมหล่อ Al-Si ปฐมภูมิ (Primary Al-Si cast alloys) โดยที่สามารถเลือกใช้โลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก ที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิลทดแทน

- [2] B.J.M. Freitas, L.B. Otani, C.S. Kiminami, W.J. Botta and C. Bolfarini, "Effect of iron on the microstructure and mechanical properties of the spray-formed and rotary-swaged 319 aluminum alloy," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 102, No. 9-12, 2019, pp. 3879-3894.
- [3] P. Ashtari, H. Tezuka, and T. Sato, "Modification of Fe-containing Intermetallic Compounds in an Al-Si-Cu Fe Cast Alloy Using Sr, Li and Mn Additions," In Materials Forum, Vol. 28, 2004, pp. 951-955.
- [4] P. Ashtari, H. Tezuka, and T. Sato, "Influence of Li addition on intermetallic compound morphologies in Al-Si-Cu-Fe cast alloys," Scripta Materialia, Vol. 51, No. 1, 2004, pp. 43-46.
- [5] P. Ashtari, H. Tezuka, and T. Sato, "Modification of Fe-containing intermetallic compounds by K addition to Fe-rich AA319 aluminum alloys," Scripta materialia, Vol. 53, No. 8, 2005, pp. 937-942.
- [6] W. Eidhed, "Modification of β -Al₅FeSi compound in recycled Al-Si-Fe cast alloy by using Sr, Mg and Cr additions," Journal of materials science and technology-shenyang, Vol. 24, No. 1, 2008, pp. 45-47.
- [7] S.S. Kumari, R.M. Pillai and B.C. Pai, "A study on the structural, age hardening and mechanical characteristics of Mn and Ca added Al-7Si-0.3 Mg-0.6 Fe alloy," Journal of alloys and compounds, Vol. 453, No. 1-2, 2008, pp. 167-173.
- [8] S.S. Kumari, R.M. Pillai, T.P.D. Rajan and B.C. Pai, "Effects of individual and combined additions of Be, Mn, Ca and Sr on the solidification behaviour, structure and mechanical properties of Al-7Si-0.3 Mg-0.8 Fe alloy," Materials science and engineering: A, Vol. 460, 2007, pp. 561-573.
- [9] Z. Li, N. Limodin, A. Tandjaoui, P. Quaegebeur, P. Osmond and D. Balloy, "Influence of Sr, Fe and Mn content and casting process on the microstructures and mechanical properties of AlSi7Cu3 alloy," Materials Science and Engineering: A, Vol. 689, 2017, pp. 286-297.
- [10] T. Gao, K. Hu, L. Wang, B. Zhang and X. Liu, "Morphological evolution and strengthening behavior of α -Al (Fe, Mn) Si in Al-6Si-2Fe-xMn alloys," Results in physics, Vol. 7, 2017, pp. 1051-1054.
- [11] M.P. Groover, Fundamentals of Modern Manufacturing, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2010.
- [12] S. Kalpakjian, and S.R. Schmid, Manufacturing Processes for Engineering Material, Pearson Education, Inc., 2008.
- [13] J.R. Davis, Aluminum and Aluminum alloys, ASM International, Materials Park, USA, 2001.
- [14] พยूर เสนทองแก้ว, ดิสนีย์ชาติเศรษฐพงษ์, เซาวลิต ลิ้มมณีวิจิตร, ปฏิภาณ จุ้ยเจิม และ ชนวรรชก์ มีศักดิ์, "อิทธิพลของการเติมกระป๋องเครื่องตีมีรีไซเคิลและการสันสะเทือนทางกลต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของโลหะผสมอะลูมิเนียมซิลิคอนเกรด A356," การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49: สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ, 2554, หน้า 34-41.

- [26] พิสิทธิ์ เมืองน้อย และ จินกมล ลุยจันทร์, “อิทธิพลของธาตุไทเทเนียมและดรอนเทียมต่อประสิทธิภาพการปรับสภาพเกรนละเอียดและการปรับสภาพเฟสยูเทคติกซิลิคอน ในโลหะผสมหล่อ Al-Si-Mg,” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ปีที่ 24, ฉบับที่ 3, 2560, หน้า 31-40.
- [27] Q. Li, Y. Zhu, B. Li, S. Zhao, C. Wang, Y. Lan and Y. Zhang, “Influences of Al-20Si-2.5 Fe-2Mn Master Alloy Additions on the Microstructure and Mechanical Properties of Hypereutectic Al-20Si Alloys,” International Journal of Metalcasting, Vol. 14, No .2, 2020, pp. 409-422.