

บทที่ 4

ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

กระบวนการไฮโมจิไนซ์เป็นกรรมวิธีหนึ่งที่ทำให้อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์อะลูมิเนียมมีคุณภาพดีขึ้น เนื่องจากกรรมวิธีดังกล่าวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสในระดับอินเทอร์เมทัลลิกเฟส คือทำให้มีการละลายของแมกนีเซียมซิลิไซด์ (Mg_2Si) อย่างสมบูรณ์ และมีการเปลี่ยนแปลงอินเทอร์เมทัลลิกจาก เบต้า อะลูมิเนียม เหล็ก ซิลิกอน ($\beta-AlFeSi$) ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งเข็มแหลมคมเป็น เฟสแอลฟา อะลูมิเนียม เหล็ก ซิลิกอน ($\alpha-AlFeSi$) ซึ่งมีลักษณะกลมมนซึ่งอินเทอร์เมทัลลิกเฟสที่กลมมนนี้มีผลทำให้เกิดดิสโลเคชัน (dislocation) ได้ง่าย อีกทั้งยังเพิ่มค่าความเหนียว (ductile) ในโลหะอะลูมิเนียม ทำให้โลหะอะลูมิเนียมดังกล่าวสามารถอัดรีดขึ้นรูปได้ง่าย ผิวของผลิตภัณฑ์งานอัดรีดขึ้นรูปสวยงามไม่เกิดการขีดข่วน หรือเกิดรอยขีดข่วน (scratch) งานวิจัยนี้ให้ความสนใจถึงผลของกระบวนการไฮโมจิไนซ์ต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 โดยแบ่งการวิจัยออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการวิจัยตัวอย่างในระดับสเกลห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ และ ส่วนที่ 2 เป็นการวิจัยตัวอย่างในระดับสเกลโรงงานอุตสาหกรรมมา ซึ่งได้ผลการวิจัยดังนี้

4.1 ผลการวิจัยตัวอย่างในระดับสเกลห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

4.1.1 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคทางแสง

4.1.1.1 โครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนส์นาน 2 ชั่วโมง

4.1.1.1.1 ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคม

จากการวิจัยเมื่อนำเอาตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ขนาด $1.5 \times 1.5 \times 1$ ซม. โดยประมาณผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง มาตรวจดูโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงเทียบกับตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่งที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ได้ผลการวิจัยดังรูป 4.1

จากรูป 4.1 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์นาน 2 ชั่วโมงจะสังเกตเห็นว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการโฮโมจิไนซ์สูงขึ้นเส้นอินเตอร์เมทัลลิกเฟสที่มีลักษณะเป็นโครงข่ายร่างแหเส้นสีเทาเข้มซึ่งตกตะกอนบริเวณตำแหน่งของขอบเกรน (Grain boundary) จะเริ่มแตกเป็นปล้องๆ เล็ก และลักษณะการแตกเป็นปล้องเล็กๆจะมากขึ้นที่อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการโฮโมจิไนซ์สูงขึ้น



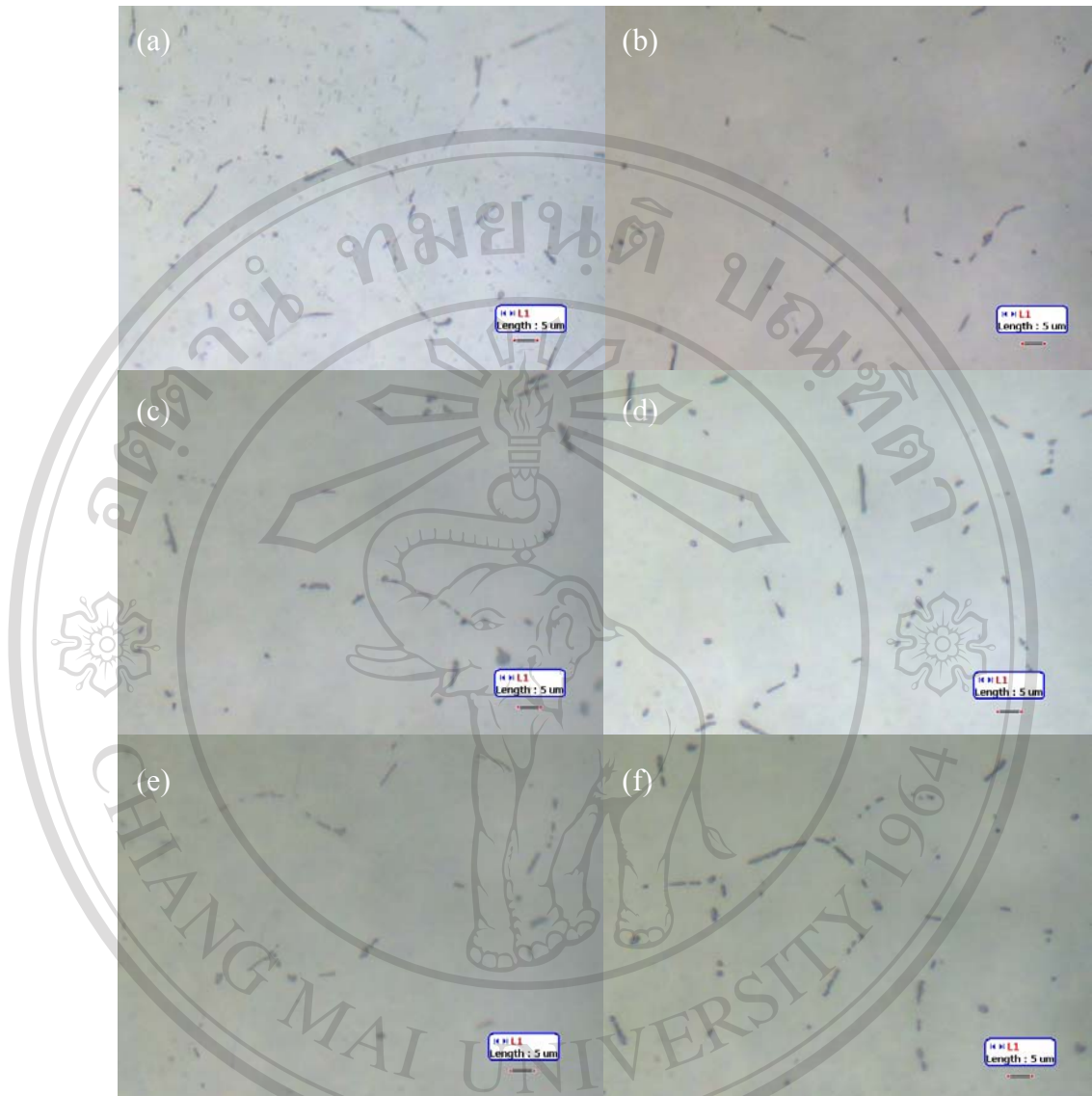
รูป 4.1 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงที่ กำลังขยาย 600 เท่า เมื่อ (a) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ (b), (c), (d), (e), (f) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590 และ 600 °C นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง

ซึ่งจะสังเกตเห็นความแตกต่างของโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงอย่างชัดเจน ดังรูป 4.1 (f) และเมื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาคของแท่งบิลเลตที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์จะสังเกตเห็นอินเตอร์เมทัลลิกเฟสที่มีขนาดเล็กๆ สีเทาอ่อนกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอภายในเกรน และ หายไปเมื่อแท่งบิลเลตผ่านกระบวนการ ไฮโมจิไนซ์

4.1.1.1.2 ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำ

จากการทดลองเมื่อนำเอาตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ขนาด $1.5 \times 1.5 \times 1$ ซม. โดยประมาณมาผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง มาตรวจดูโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงเทียบกับตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่งที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ได้ผลการวิจัยดังรูป 4.2

เมื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมแท่งที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิต่างกั นาน 2 ชั่วโมงผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องจะสังเกตเห็นว่าลักษณะโครงสร้างแห วน ตำแหน่งขอบเกรนจะแตกออกเป็นปล้องๆ กลมมนเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการไฮโมจิไนซ์สูงขึ้น และ อินเตอร์เมทัลลิกที่กระจายตัวภายในเกรนของอะลูมิเนียมละลายหายไปเมื่ออะลูมิเนียมดังกล่าวผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์นาน 2 ชั่วโมงผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำ เช่นเดียวกับอะลูมิเนียมแท่งที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัดลม



รูป 4.2 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงที่ กำลังขยาย 600 เท่า เมื่อ (a) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ (b), (c), (d), (e), (f) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590 และ 600 °C นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง

4.1.1.1.3 ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็ง

จากการวิจัยเมื่อนำเอาตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ขนาด $1.5 \times 1.5 \times 1$ ซม. โดยประมาณ ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 2 ชั่วโมง จากนั้น ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0 °C มาตรวจดูโครงสร้างทางจุลภาคด้วย

กล้องจุลทรรศน์แสงเทียบกับตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่งที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ได้
ผลการวิจัยดังรูป 4.3



รูป 4.3 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงที่
กำลังขยาย 600 เท่า เมื่อ (a) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ (b), (c),
(d), (e), (f) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580,
590 และ 600 °C นาน 2 ชั่วโมงเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 0 °C

เมื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมแท่งที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิต่างกัน นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็งอุณหภูมิ 0 °C จะสังเกตเห็นว่าลักษณะโครงสร้างแหวน ตำแหน่งขอบเกรนจะแตกออกเป็นปล้องๆ กลมมนเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการโฮโมจีไนซ์สูงขึ้น และ อินเตอร์เมทัลลิกที่กระจายตัวภายในเกรนของอะลูมิเนียมละลายหายไปเมื่ออะลูมิเนียมดังกล่าวผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำเช่นเดียวกับอะลูมิเนียมแท่งที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัสดม และ น้ำ

4.1.1.2 โครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 4 ชั่วโมง

4.1.1.2.1 ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัสดม

จากการวิจัยเมื่อนำเอาตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ขนาด 1.5×1.5×1 ซม.โดยประมาณผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 4 ชั่วโมง จากนั้นผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัสดมที่อุณหภูมิห้อง มาตรฐานจตุโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงเทียบกับตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่งที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ได้ผลการวิจัยดังรูป 4.4

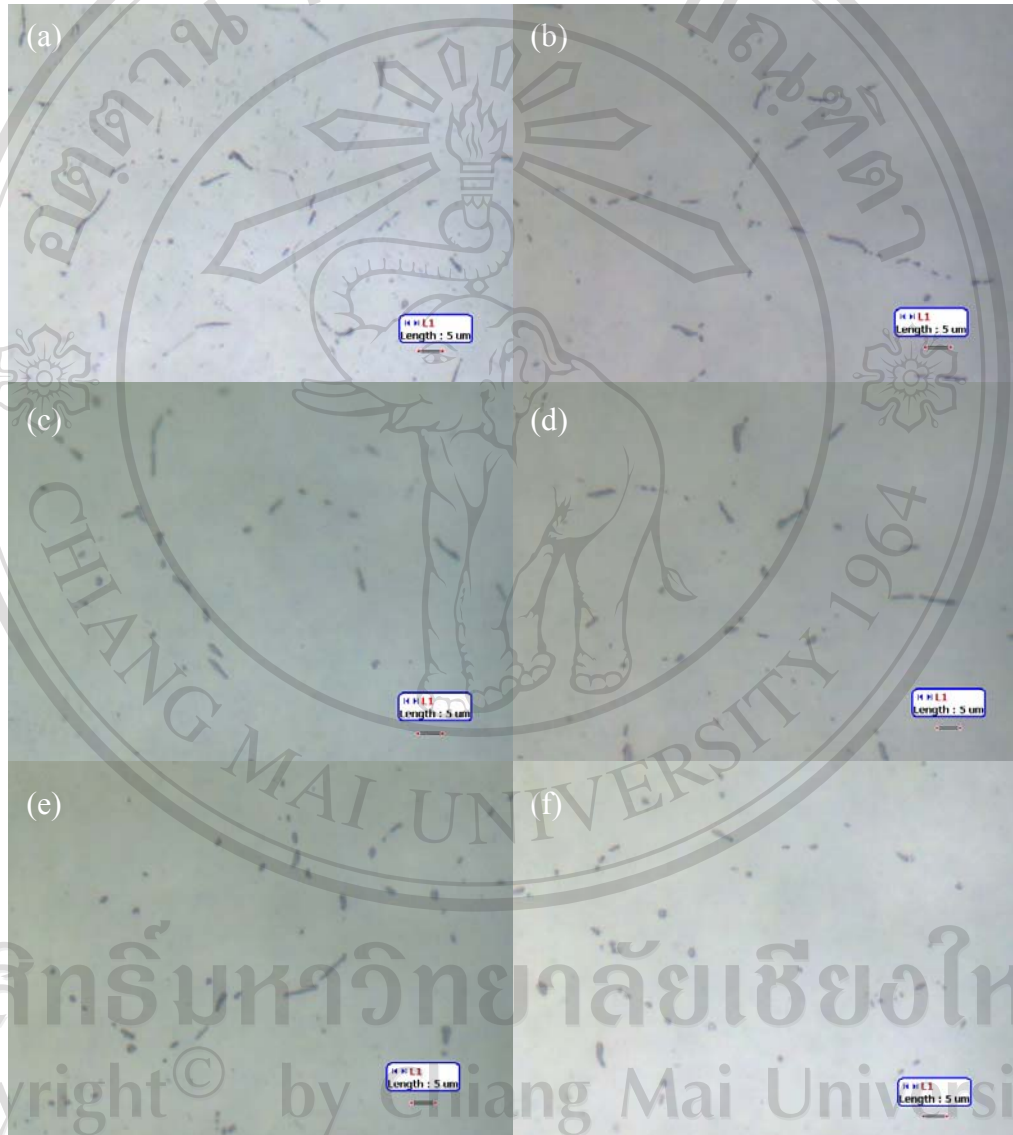
จากรูป 4.4 พบว่าลักษณะอินเตอร์เมทัลลิกเฟสที่มีสีเทาเข้ม (Dark gray) ปรากฏ ณ ตำแหน่งขอบเกรนของแท่งบิลเลตที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปจากแท่งอะลูมิเนียมบิลเลต 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ กล่าวคืออินเตอร์เมทัลลิกเฟสที่มีลักษณะเป็นโครงข่ายร่างแหยาวต่อเนื่องกัน เริ่มแตกออกเป็นปล้องๆ เพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการโฮโมจีไนซ์เพิ่มขึ้น และ อินเตอร์เมทัลลิกเฟสขนาดเล็กภายในเกรนละลายหายไปเมื่ออะลูมิเนียมแท่งผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์



รูป 4.4 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงที่ กำลังขยาย 600 เท่า เมื่อ (a) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ (b), (c), (d), (e), (f) คืออะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590 และ 600 °C นาน 4 ชั่วโมงผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคม

4.1.1.2.2 ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำ

จากการวิจัยเมื่อนำเอาตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ขนาด $1.5 \times 1.5 \times 1$ ซม. โดยประมาณ ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 4 ชั่วโมง จากนั้นผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง มาตรฐานโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงเทียบกับตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่งที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ได้ผลการวิจัยดังรูป 4.5



รูป 4.5 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงที่ กำลังขยาย 600 เท่า เมื่อ (a) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ (b), (c), (d), (e), (f) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590 และ 600 °C นาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง

เมื่อพิจารณาอะลูมิเนียมแท่งที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิต่างกัน นาน 4 ชั่วโมงจากนั้นผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องพบว่าอินเตอร์เมทัลลิกเฟสที่มีลักษณะโครงสร้างร่างแหยาวต่อเนื่องกันเริ่มแตกออกเป็นปล้องๆ กลมมนมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการไฮโมจิไนซ์สูงขึ้นสังเกตได้ชัดเจนดังรูปการทดลองที่ 4.5 (f) และ อินเตอร์เมทัลลิกเฟสที่มีลักษณะสีเทาอ่อนที่กระจายตัวภายในเกรนของอะลูมิเนียมละลายหายไปเมื่ออะลูมิเนียมผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์เช่นเดียวกับอะลูมิเนียมแท่งที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิต่างกันนาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคม

4.1.1.2.3 ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็ง

จากการวิจัยเมื่อนำเอาตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ขนาด $1.5 \times 1.5 \times 1$ ซม. โดยประมาณผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 4 ชั่วโมง จากนั้นผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0 °C มาตรวจดูโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงเทียบกับตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่งที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ได้ผลการวิจัยดังรูป 4.6

เมื่อพิจารณาอะลูมิเนียมแท่งที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิต่างกันนาน 4 ชั่วโมงจากนั้นผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0 °C จะสังเกตพบว่าลักษณะอินเตอร์เมทัลลิกซึ่งปรากฏบริเวณขอบเกรน ที่มีลักษณะเป็นโครงสร้างร่างแหยาวต่อเนื่องกันนั้นเริ่มแตกออกเป็นปล้องๆเล็กๆ กลมมนขึ้น เช่นเดียวกับอะลูมิเนียมแท่งที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิต่างกันนาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วย พัลคม และ น้ำ อีกทั้งทั้งอินเตอร์เมทัลลิกขนาดเล็กสีเทาอ่อนที่กระจายอยู่ภายในเกรนของอะลูมิเนียมก็ละลายหายไปเช่นกัน



รูป 4.6 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงที่ กำลังขยาย 600 เท่า เมื่อ (a) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ (b), (c), (d), (e), (f) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590 และ 600 °C นาน 4 ชั่วโมงเย็น ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 0 °C

4.1.2 โครงสร้างจุลภาคอิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกราด

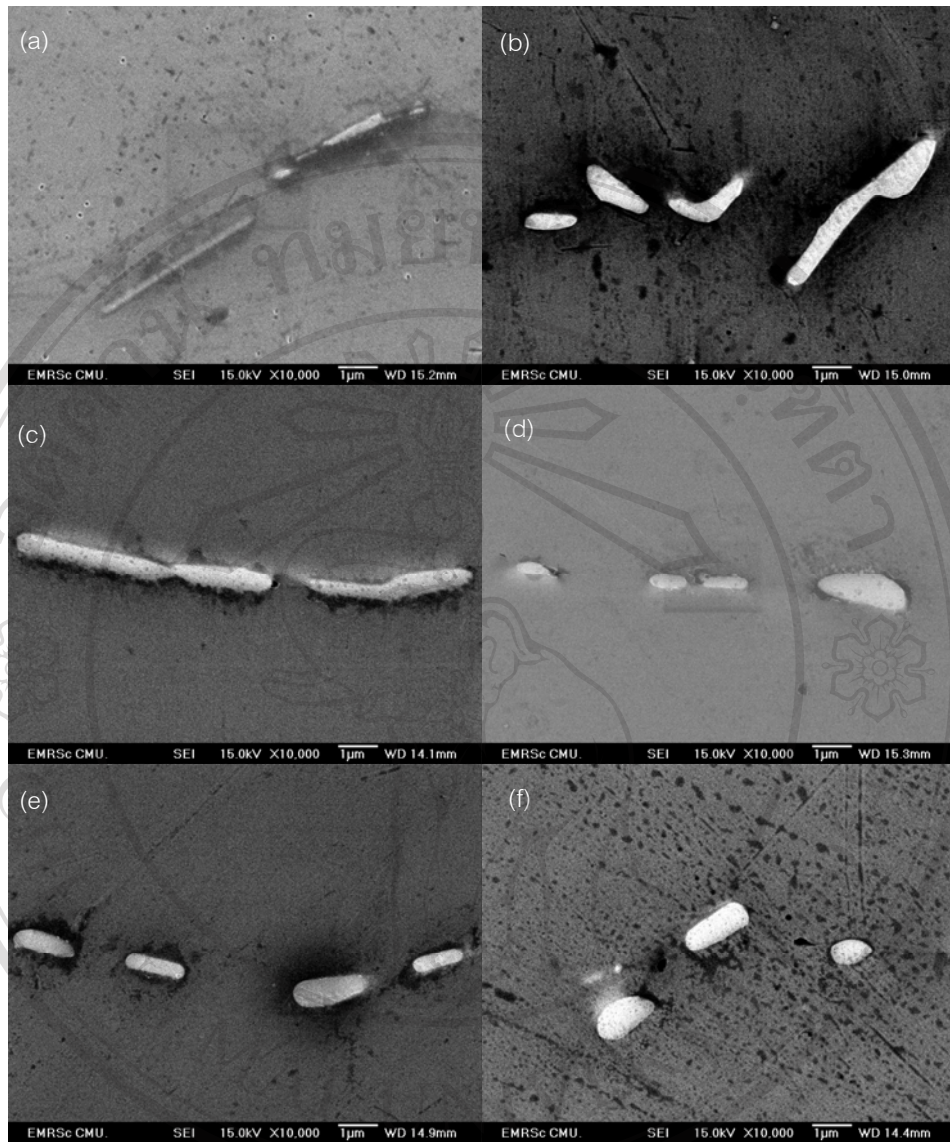
4.1.2.1 โครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 2 ชั่วโมง

จากการวิจัยเมื่อนำเอาตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ขนาด $1.5 \times 1.5 \times 1$ ซม. โดยประมาณอบที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 2 ชั่วโมง และ ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง เย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง และ เย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็ง 0 °C มาตรวจดูโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10000 เท่า เทียบกับตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่งที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ได้ผลการวิจัยดังรูป 4.7, 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ

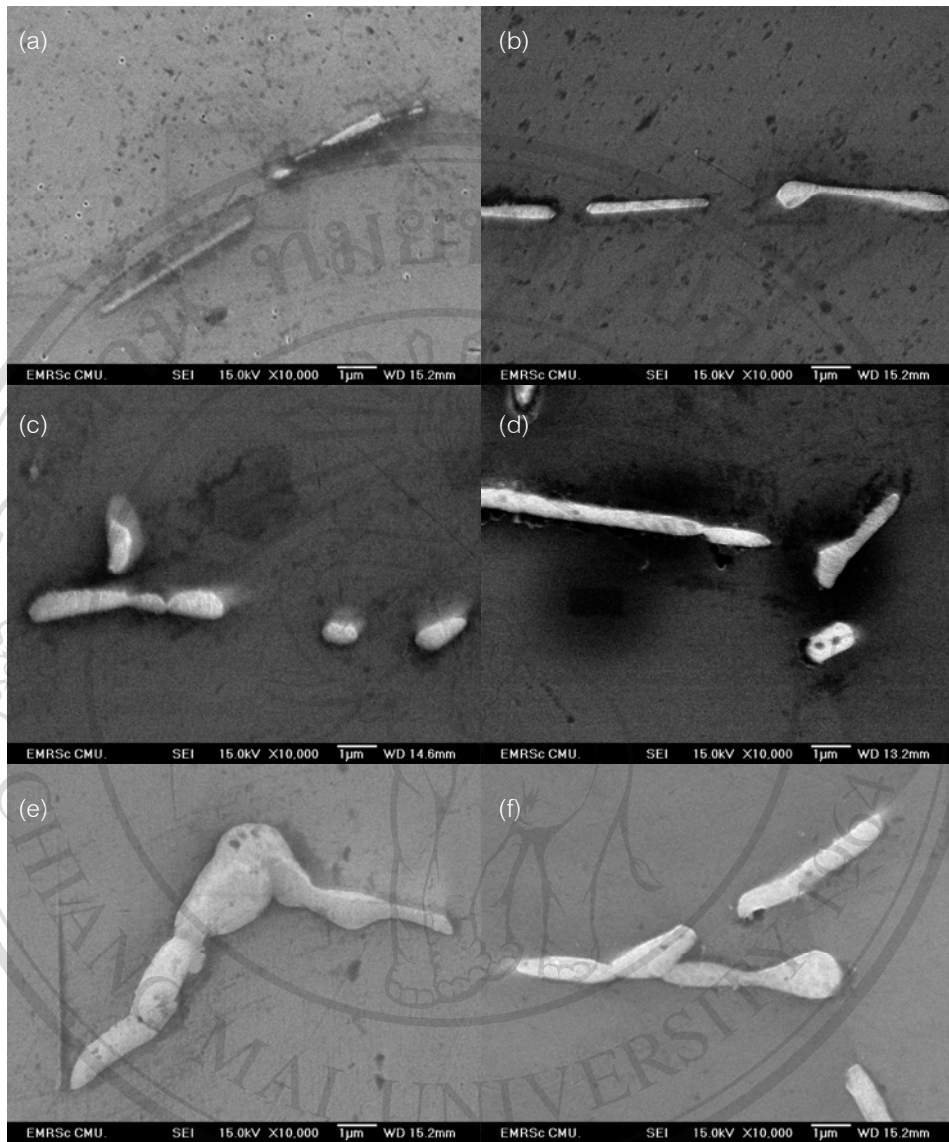
เมื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมแท่งที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิต่างกั นาน 2 ชั่วโมงเย็น ผ่านกระบวนการเย็นตัวลงด้วย พัลคม น้ำ และ น้ำผสมน้ำแข็ง ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะสังเกตพบว่า หลังจากที่อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคมนั้นลักษณะอินเตอร์เมทัลลิกที่มีลักษณะเป็นแท่งเข็มแหลมคมซึ่งปรากฏ ณ ตำแหน่งขอบเกรนนั้น จะเริ่มแตกเป็นปล้องๆ ที่มีขนาดกลมมนขึ้นเมื่ออะลูมิเนียมแท่งผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งสังเกตได้ชัดเจนดังรูปการทดลองที่ 4.7 (f)

เมื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวลงด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องจะสังเกตพบว่า ลักษณะของอินเตอร์เมทัลลิกเฟสที่มีลักษณะเป็นแท่งแหลมคมนั้นจะมีลักษณะแตกออกเป็นปล้องที่ไม่กลมมน ยังคงปรากฏเฟสที่แหลมคมบางตำแหน่ง ถึงแม้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการโฮโมจีไนซ์จะสูงขึ้นก็ตาม ดังปรากฏผลการวิจัยดังรูป 4.8

และ เมื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นด้วยน้ำผสมน้ำแข็งอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสพบว่า ลักษณะของอินเตอร์เมทัลลิกที่ปรากฏบริเวณขอบเกรนนั้นจะมีลักษณะแตกออกเป็นปล้องที่ไม่กลมมน ยังคงปรากฏเฟสที่แหลมคมบางตำแหน่ง บางบริเวณ เช่นเดียวกับอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิต่างกั นาน 2 ชั่วโมงเย็นตัวด้วยน้ำ ซึ่งสังเกตได้จากผลการวิจัยรูป 4.9

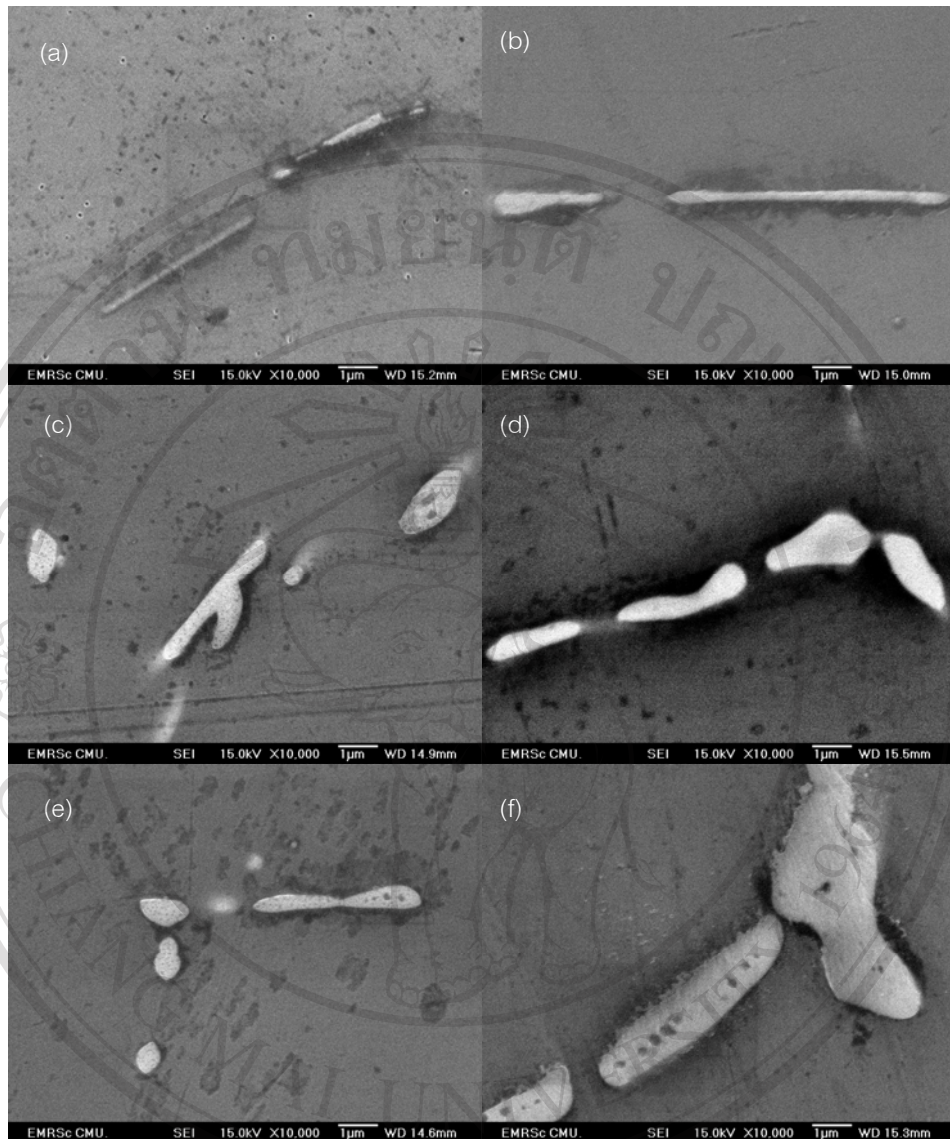


รูป 4.7 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10000 เท่า เมื่อ (a) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ (b), (c), (d), (e), (f) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590 และ 600 °C นาน 2 ชั่วโมงผ่านกระบวนการย่นตัวด้วยพัลลัมที่อุณหภูมิห้อง



รูป 4.8 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ด้วยกล้องจุลทรรศน์

อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10000 เท่า เมื่อ (a) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ (b), (c), (d), (e), (f) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590 และ 600 °C นาน 2 ชั่วโมงผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง



รูป 4.9 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ด้วยกล้องจุลทรรศน์

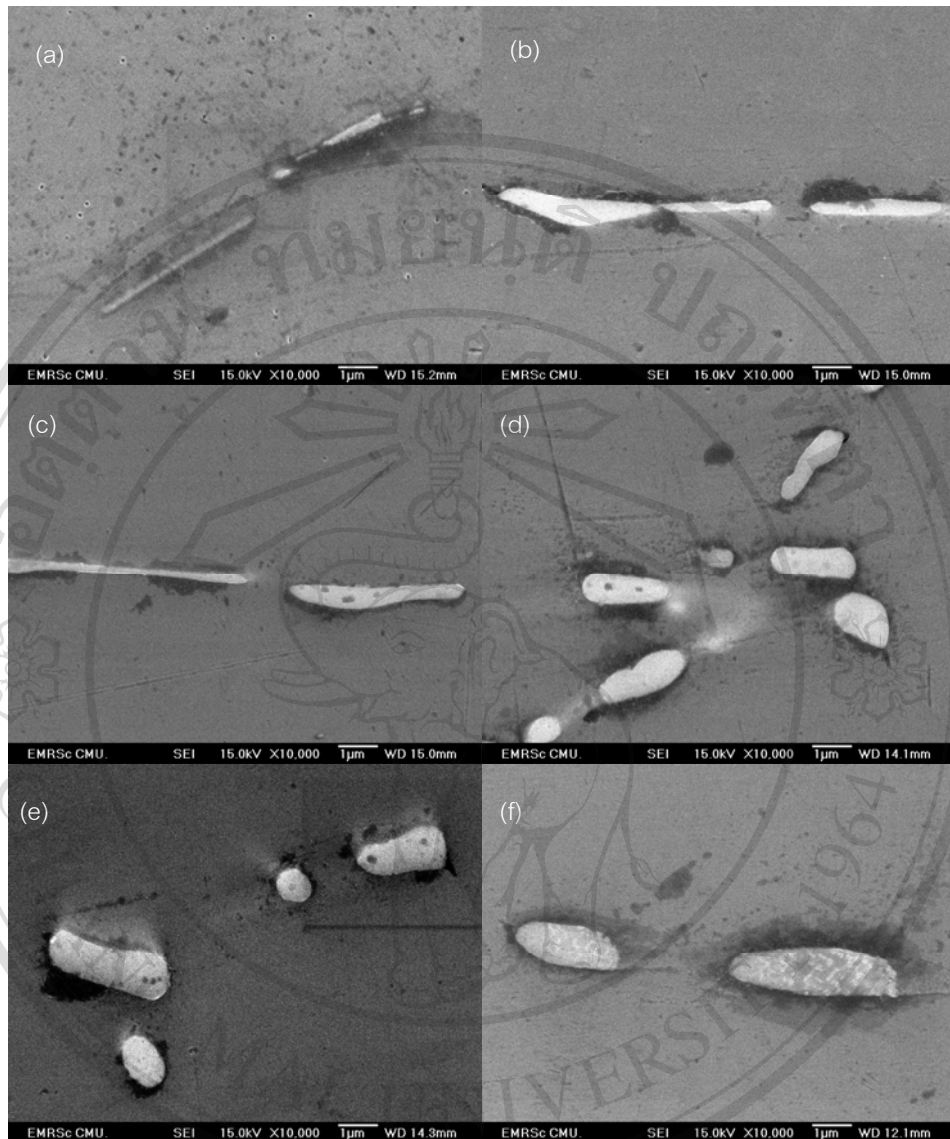
อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10000 เท่า เมื่อ (a) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ (b), (c), (d), (e), (f) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590 และ 600 °C นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0 °C

4.1.2.2 โครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั้นาน 4 ชั่วโมง

จากการวิจัยเมื่อนำเอาตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ขนาด $1.5 \times 1.5 \times 1$ ซม. โดยประมาณผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั้นที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 4 ชั่วโมง และผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง เย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง และ เย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็ง 0 °C มาตรฐานโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ กำลังขยาย 10000 เท่า เทียบกับตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่งที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั้นได้ผลการวิจัยดังรูป 4.10, 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ

จากรูป 4.10 พบว่าลักษณะอินเตอร์เมทัลลิกเฟสที่มีลักษณะเป็นสีขาวปรากฏ ณ ตำแหน่งขอบเกรนของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั้นที่อุณหภูมิแตกต่างกัน มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปจากอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั้น กล่าวคือ อินเตอร์เมทัลลิกเฟสที่มีลักษณะเป็นโครงข่ายร่างแหยาว เริ่มแตกออกเป็นปล้องๆ เพิ่มมากขึ้น และลักษณะของปล้องที่แตกออกมีลักษณะกลมมนขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการไฮโมจิในชั้นสูงขึ้น

และ เมื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั้นาน 4 ชั่วโมงผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องเทียบกับอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั้นนั้น พบว่าลักษณะอินเตอร์เมทัลลิกเฟสที่ปรากฏบริเวณขอบเกรนนั้นจะแตกเป็นปล้องที่กลมมนขึ้นเช่นเดียวกับอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิในชั้นที่อุณหภูมิต่างกันนาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคมดังรูป 4.11 ในขณะที่อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็ง 0 °C ยังคงปรากฏอินเตอร์เมทัลลิกเฟสที่แหลมคมบางตำแหน่งบางบริเวณ แม้อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการไฮโมจิในชั้นสูงขึ้น ดังเกตได้จากรูป 4.12 (b), (c) และ (d)



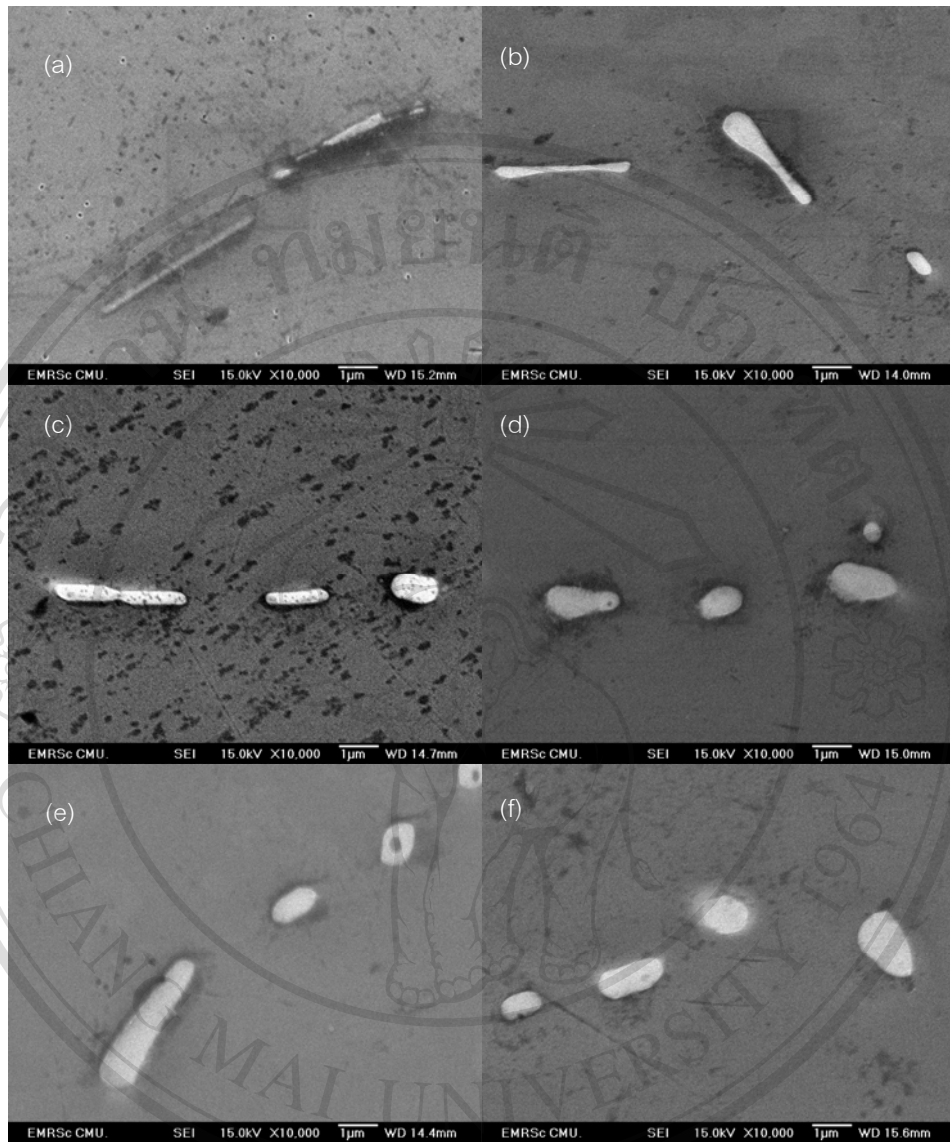
รูป 4.10 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ด้วยกล้องจุลทรรศน์

อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 1000 เท่า เมื่อ (a) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่าน

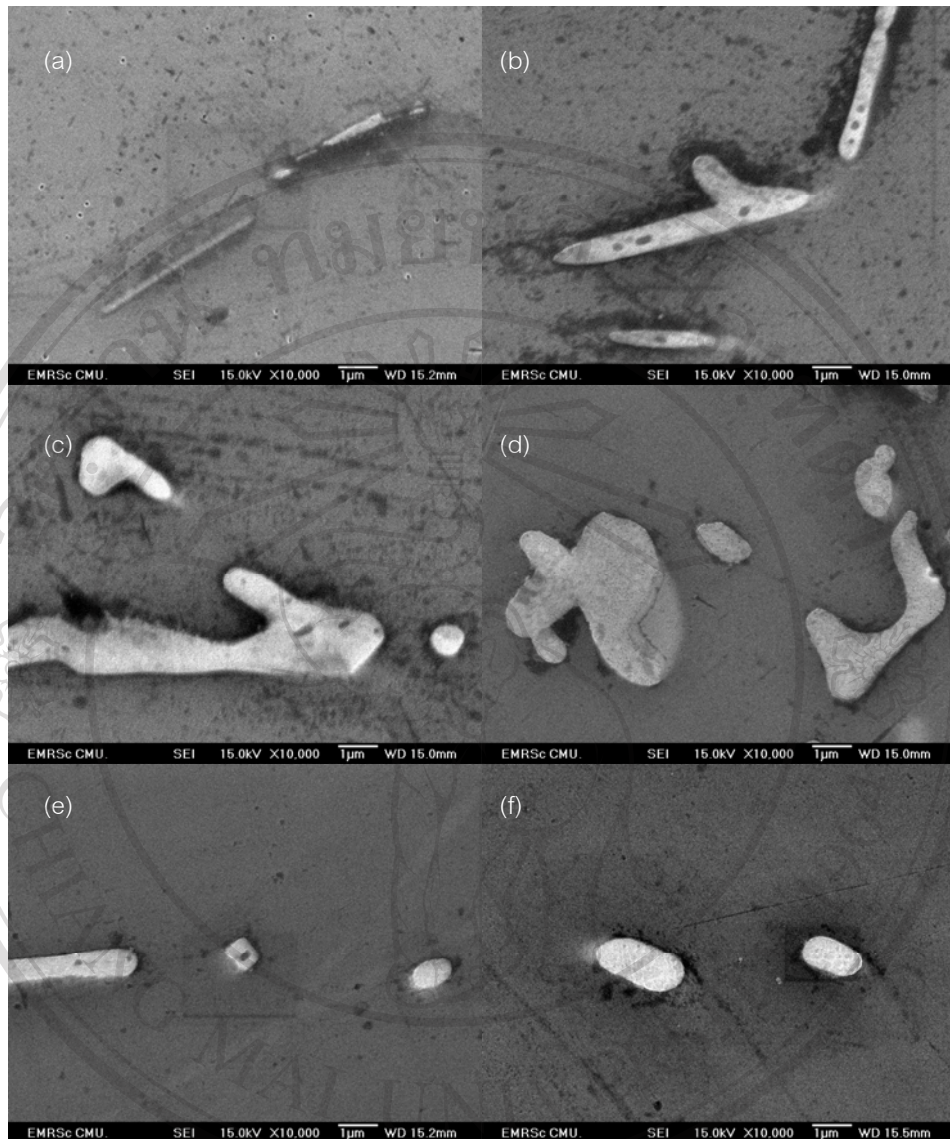
กระบวนการไฮโมจิไนซ์ (b), (c), (d), (e), (f) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการไฮ

โมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590 และ 600 °C นาน 4 ชั่วโมงผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วย

พัลลัม



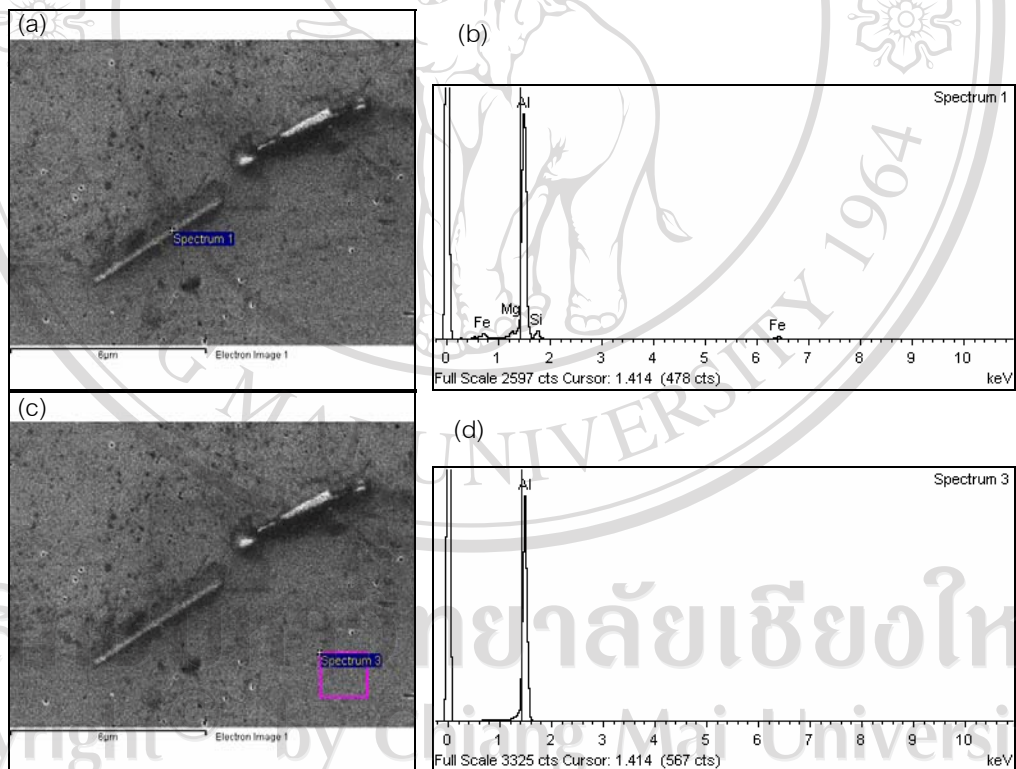
รูป 4.11 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 1000 เท่า เมื่อ (a) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ (b), (c), (d), (e), (f) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590 และ 600 °C นาน 4 ชั่วโมงผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง



รูป 4.12 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 1000 เท่า เมื่อ (a) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ (b), (c), (d), (e), (f) คือ อะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590 และ 600 °C นาน 4 ชั่วโมงผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็ง 0 °C

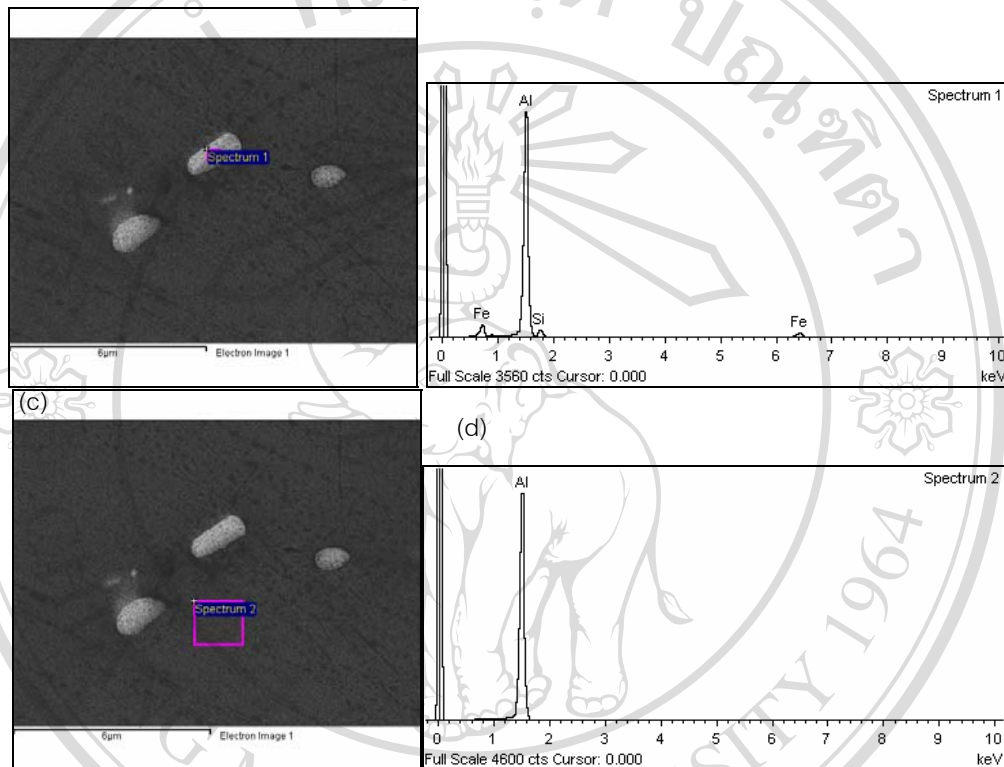
4.1.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอ็นเนอร์จีดีสเพอร์ซีฟสเปกโตรสโกปี (Energy dispersive spectroscopy)

เมื่อใช้เทคนิค SEM/EDS วิเคราะห์บริเวณอินเตอร์เมทัลลิกเฟส และ เมตริกซ์ของ อะลูมิเนียมของแท่งอะลูมิเนียม 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ พบว่า บริเวณอินเตอร์เมทัลลิกเฟสที่มีลักษณะของเฟสมีรูปร่างเป็นแท่งเข็มนี้มีปริมาณ ธาตุ แมกนีเซียม (Mg), ซิลิกอน (Si), อะลูมิเนียม (Al), เหล็กซิลิกอน (Si) ซึ่งโดยปกติแล้ว ในธรรมชาติ ธาตุเหล่านี้จะรวมตัวกันในรูปสารประกอบอินเตอร์เมทัลลิกเฟสในรูป แมกนีเซียมซิลิไซด์ Mg_2Si อะลูมิเนียมซิลิกอน แมกนีเซียม (AlSiMg) และ อะลูมิเนียม ซิลิกอน เหล็ก (AlFeSi) ซึ่งอินเตอร์เมทัลลิกดังกล่าวจะตกตะกอนในบริเวณขอบเกรนของโลหะอะลูมิเนียม ดังแสดงในรูป 4.12 (a) และ (b) และเมื่อใช้เทคนิค SEM/EDS วิเคราะห์ไปยังบริเวณ เมตริกซ์ของอะลูมิเนียมพบว่ามีปริมาณธาตุ อะลูมิเนียม (Al) อยู่เพียงธาตุเดียว ดังแสดงในรูป 4.13 (c) และ (d)



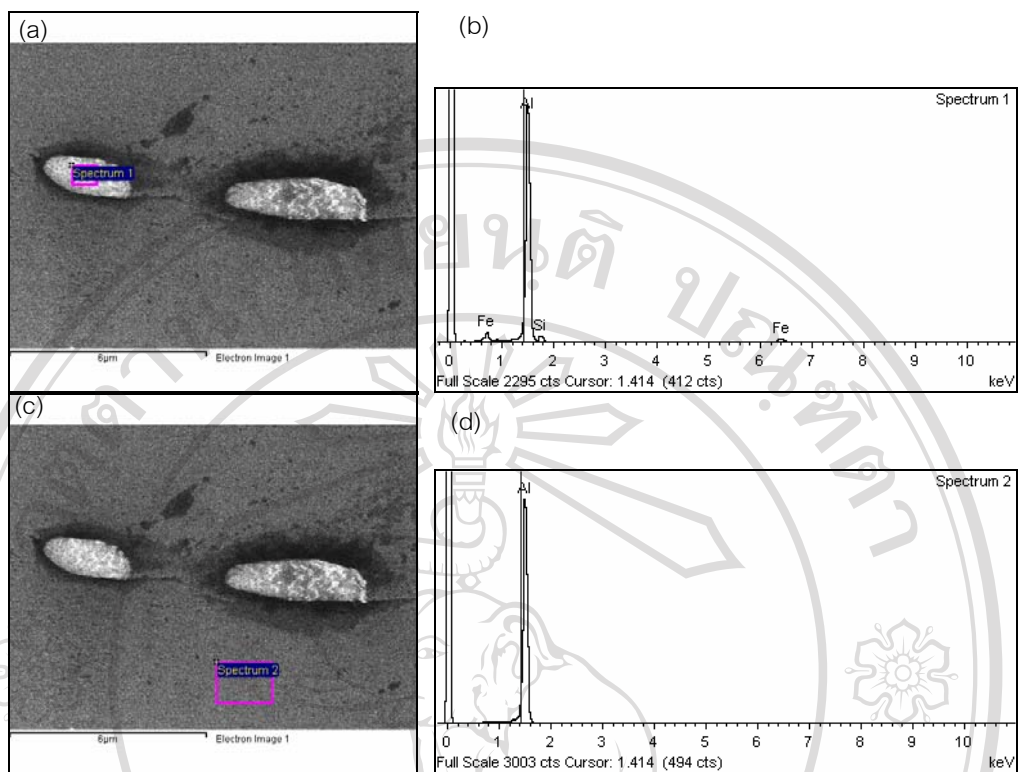
รูป 4.13 บริเวณที่ใช้เทคนิค SEM/EDS วิเคราะห์โครงสร้างของแท่งอะลูมิเนียมที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์, (a) บริเวณอินเตอร์เมทัลลิกเฟส (b) กราฟแสดงปริมาณธาตุที่พบบริเวณอินเตอร์เมทัลลิกเฟส (c) บริเวณเมตริกซ์อะลูมิเนียม (d) กราฟแสดงปริมาณธาตุที่พบบริเวณเมตริกซ์อะลูมิเนียม

เมื่อใช้เทคนิค SEM/EDS ทำการวิเคราะห์โครงสร้างของแท่งอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 °C นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง พบว่าบริเวณอินเตอร์เมทัลลิกเฟสมีปริมาณธาตุ อะลูมิเนียม เหล็ก ซิลิกอน ปรากฏอยู่ และ บริเวณเมตริกซ์อะลูมิเนียมยังคงมีธาตุอะลูมิเนียมปรากฏอยู่เท่านั้น ดังแสดงดังรูป 4.14



รูป 4.14 บริเวณที่ใช้เทคนิค SEM/EDS วิเคราะห์โครงสร้างของแท่งอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 °C นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคม (a) บริเวณอินเตอร์เมทัลลิกเฟส (b) กราฟแสดงปริมาณธาตุที่พบบริเวณอินเตอร์เมทัลลิกเฟส (c) บริเวณเมตริกซ์อะลูมิเนียม (d) กราฟแสดงปริมาณธาตุที่พบบริเวณเมตริกซ์อะลูมิเนียม

ในการทำงานเดียวกันเมื่อใช้เทคนิคดังกล่าวทำการวิเคราะห์อินเตอร์เมทัลลิกเฟส และเมตริกซ์ของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 °C นาน 4 ชั่วโมง และผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง พบว่าบริเวณอินเตอร์เมทัลลิกเฟสยังคงมีปริมาณธาตุ อะลูมิเนียม เหล็ก ซิลิกอน ปรากฏอยู่ และ บริเวณเมตริกซ์อะลูมิเนียมยังคงมีธาตุอะลูมิเนียมปรากฏอยู่เท่านั้น ดังแสดงดังรูป 4.15



รูป 4.15 บริเวณที่ใช้เทคนิค SEM/EDS วิเคราะห์โครงสร้างของแท่งอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 °C นาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคม, (a) บริเวณอินเทอร์เมทัลลิกเฟส (b) กราฟแสดงปริมาณธาตุที่พบบริเวณอินเทอร์เมทัลลิกเฟส (c) บริเวณเมตริกซ์อะลูมิเนียม (d) กราฟแสดงปริมาณธาตุที่พบบริเวณเมตริกซ์อะลูมิเนียม

กระบวนการไฮโมจิไนซ์เป็นกระบวนการที่ใช้ในการเปลี่ยนรูปร่างอินเทอร์เมทัลลิกเฟส βAlFeSi ซึ่งมีรูปร่างเป็นแท่งเข็มแหลมคมเป็น αAlFeSi ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM/EDS แล้ว บริเวณอินเทอร์เมทัลลิกเฟสของชิ้นตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590, 600 °C นาน 4 และ 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวลงด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง น้ำที่อุณหภูมิห้อง และ น้ำผสมน้ำแข็ง 0 °C จะปรากฏธาตุ Al, Fe และ Si และ บริเวณเมตริกซ์ของชิ้นตัวอย่างดังกล่าวจะปรากฏเฉพาะธาตุ Al เท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

จากตาราง 4.1, 4.2 และ 4.3 เมื่อเทียบอัตราส่วนของเหล็กต่อซิลิกอนโดยร้อยละของน้ำหนัก ซึ่งวิเคราะห์ได้จากเทคนิค SEM/EDS ของอะลูมิเนียมแท่งที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ และ ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิต่างกัน และ อัตราการเย็นตัวต่างกัน เพื่อทำนายลักษณะรูปร่างของอินเทอร์เมทัลลิกที่พบในตำแหน่งบริเวณขอบเกรนนั้น พบว่า อินเทอร์เมทัลลิกที่ปรากฏตำแหน่งขอบเกรนของอะลูมิเนียมแท่งที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์นั้นน่าจะเป็นเป็น

เฟสของ β -AlFeSi ในรูปของสารประกอบ Al_5FeSi เนื่องจากมีค่า Fe:Si โดยประมาณเท่ากับ 2:1 สอดคล้องตามงานวิจัยที่บริษัทโคมาโค ประเทศออสเตรียได้เคยทำเอาไว้ [18]

ตาราง 4.1 แสดงปริมาณธาตุที่พบในตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ และ ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590 และ 600 °C นาน 2 และ 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวลงด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง

เงื่อนไขการวิจัย	ปริมาณธาตุที่พบในอินเทอร์เมทัลลิกเฟส (Weight%)				อัตราส่วนโดยประมาณ	ปริมาณธาตุที่พบในเมตริกซ์อะลูมิเนียม (Weight%)
	Al	Si	Fe	Mg	Fe/Si	Al
As-Cast	82.28	6.13	9.83	1.75	2:1	100
560C(2hrs)	76.88	5.75	17.36	0	3:1	100
570°C(2hrs)	86.11	3.90	10.00	0	3:1	100
580°C(2hrs)	83.98	3.75	12.27	0	3:1	100
590°C(2hrs)	76.11	5.98	17.91	0	3:1	100
600°C(2hrs)	86.48	4.83	14.69	0	3:1	100
560°C(4hrs)	76.28	5.93	17.80	0	3:1	100
570°C(4hrs)	79.86	5.13	15.01	0	3:1	100
580°C(4hrs)	79.62	5.77	18.61	0	3:1	100
590°C(4hrs)	75.95	5.92	18.13	0	3:1	100
600°C(4hrs)	82.60	4.03	13.37	0	3:1	100

จากตาราง 4.1 เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของ Fe:Si ของอะลูมิเนียมแท่งที่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิต่างกันนาน 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวลงด้วยพัลคมพบว่า ลักษณะรูปร่างของอินเทอร์เมทัลลิกเฟสที่ปรากฏ ณ ตำแหน่งขอบเกรนนั้นน่าจะมีรูปร่างเป็น α -AlFeSi ในรูปสารประกอบ $Al_5Fe_3Si_2$ เนื่องจากค่าอัตราส่วน Fe:Si โดยประมาณเท่ากับ 3:1 สอดคล้องตามงานวิจัยที่บริษัทโคมาโค ประเทศออสเตรียได้เคยทำเอาไว้ [18]

ตาราง 4.2 แสดงปริมาณธาตุที่พบในตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ และ ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590 และ 600 °C นาน 2 และ 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง

เงื่อนไขการวิจัย	ปริมาณธาตุที่พบในอินเตอร์เมทัลลิกเฟส (Weight%)				อัตราส่วนโดยประมาณ	ปริมาณธาตุที่พบในเมตริกซ์อะลูมิเนียม (Weight%)
	Al	Si	Fe	Mg		
As-Cast	82.28	6.13	9.83	1.75	2:1	100
560°C (2hrs)	87.48	2.40	10.12	0	4:1	100
570°C (2hrs)	84.63	3.32	12.06	0	3:1	100
580°C (2hrs)	78.93	4.10	16.97	0	4:1	100
590°C (2hrs)	73.43	4.37	22.20	0	5:1	100
600°C (2hrs)	80.63	4.53	14.85	0	3:1	100
560°C (4hrs)	80.41	4.49	15.10	0	3:1	100
570°C (4hrs)	82.74	3.93	13.33	0	3:1	100
580°C (4hrs)	77.79	4.26	17.95	0	4:1	100
590°C (4hrs)	82.36	4.01	13.63	0	3:1	100
600°C (4hrs)	71.30	5.50	23.10	0	4:1	100

จากตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM/EDS ของอะลูมิเนียมแท่งที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิต่างกันนาน 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมงผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำพบว่า ลักษณะรูปร่างของอินเตอร์เมทัลลิกเฟสน่าจะเป็นเฟส α -AlFeSi ในรูปสารประกอบ $Al_{13}Fe_3Si_2$ เนื่องจากค่าอัตราส่วน Fe:Si โดยประมาณเท่ากับ 3:1 และ น่าจะอยู่ในรูปสารประกอบ Al_8Fe_2Si เนื่องจากค่า Fe:Si โดยประมาณมีค่าเท่ากับ 4:1 อีกทั้งยังมีโอกาสที่น่าจะอยู่ในรูปสารประกอบ $Al_{12}Fe_3Si$ และ Al_7Fe_3Si เนื่องจากค่าอัตราส่วน Fe:Si โดยประมาณมีค่าเท่ากับ 5:1 ซึ่งอยู่ในช่วง 6:1 สอดคล้องตามงานวิจัยที่บริษัทโคมาโค ประเทศออสเตรียได้เคยทำนายไว้ [18]

ตาราง 4.3 แสดงปริมาณธาตุที่พบในตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ และ ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590 และ 600 °C นาน 2 และ 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวลงด้วยน้ำผสมน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0 °C

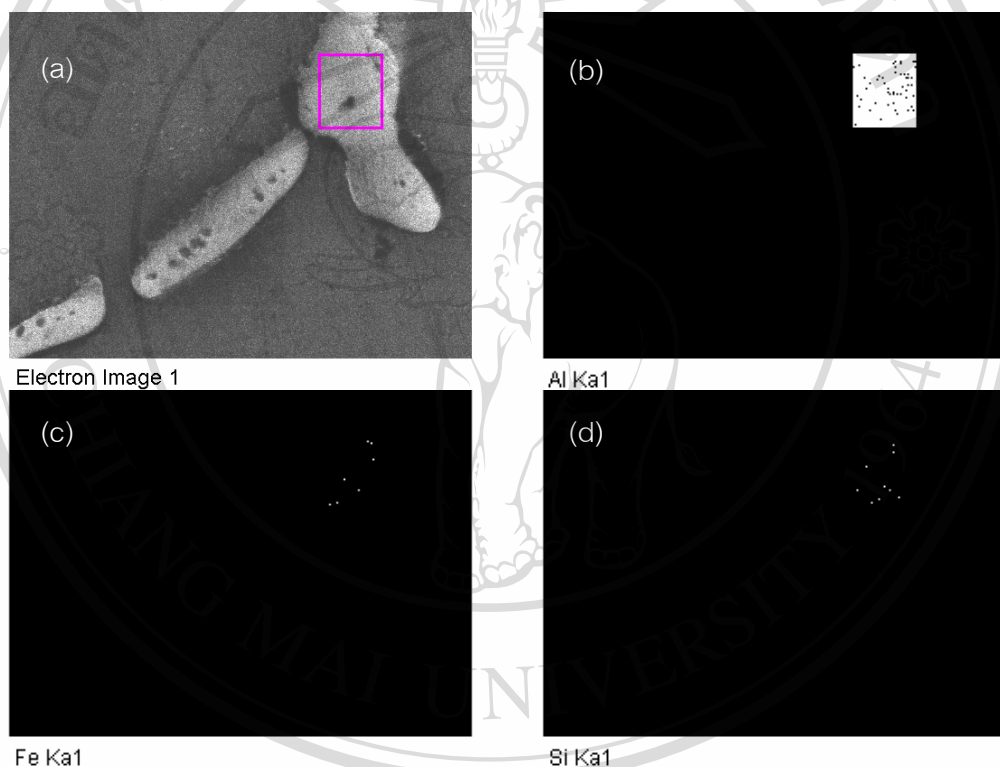
เงื่อนไข การวิจัย	ปริมาณธาตุที่พบในอินเตอร์เมทัลลิก เฟส (Weight%)				อัตราส่วน โดย ประมาณ Fe/Si	ปริมาณธาตุที่พบใน เมตริกซ์อะลูมิเนียม (Weight%) Al
	Al	Si	Fe	Mg		
As-Cast	82.28	6.13	9.83	1.75	2:1	100
560°C (2hrs)	73.24	10.45	16.31	0	2:1	100
570°C (2hrs)	81.26	3.86	14.88	0	4:1	100
580°C (2hrs)	75.09	5.10	19.81	0	4:1	100
590°C (2hrs)	81.74	3.80	14.46	0	4:1	100
600°C (2hrs)	73.74	4.26	21.76	0	5:1	100
560°C (4hrs)	81.41	3.81	14.78	0	4:1	100
570°C (4hrs)	90.38	2.84	6.78	0	2:1	100
580°C (4hrs)	75.50	5.55	18.93	0	3:1	100
590°C (4hrs)	77.59	3.80	18.61	0	5:1	100
600°C (4hrs)	73.18	5.55	21.28	0	4:1	100

จากตาราง 4.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM/EDS ของอะลูมิเนียมแท่งที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิต่างกันนาน 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมงผ่านการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0 °C พบว่าลักษณะรูปร่างของอินเตอร์เมทัลลิกเฟสปรากฏ น่าจะมีแนวโน้มที่เป็น $\alpha\text{-AlFeSi}$ ในรูปสารประกอบ $\text{Al}_{15}\text{Fe}_3\text{Si}_2$ เนื่องจากค่าอัตราส่วน Fe:Si โดยประมาณเท่ากับ 3:1 ในรูปสารประกอบ $\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$ เนื่องจากค่าอัตราส่วน Fe:Si โดยประมาณมีค่าเท่ากับ 4 : 1 อีกทั้งยังมีโอกาสว่าจะอยู่ในรูปสารประกอบ $\text{Al}_7\text{Fe}_3\text{Si}$ และ $\text{Al}_{12}\text{Fe}_3\text{Si}$ เนื่องจากมีค่าอัตราส่วน Fe:Si โดยประมาณเท่ากับ 5:1 ซึ่งใกล้เคียงกับ 6:1 นอกจากนี้ที่อุณหภูมิไฮโมจิไนซ์ต่ำ ประมาณ 560-570 °C โอกาสที่จะตรวจพบ $\beta\text{-AlFeSi}$ ในรูปของสารประกอบ Al_5FeSi เนื่องจากมีค่า

Fe:Si โดยประมาณเท่ากับ 2:1 สอดคล้องตามงานวิจัยที่บริษัทโคมาโค ประเทศออสเตรเลียได้เคยทำมาไว้ [18]

4.1.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกรรมวิธีแมปปิง (Mapping)

กรรมวิธีดังกล่าวเป็นการใช้ลำอิเล็กตรอนสแกนบนบริเวณพื้นที่สนใจศึกษาพิเศษ จากการวิจัย ได้สุ่มตัวอย่างบริเวณอินเตอร์เมทัลลิกเฟสของอะลูมิเนียมแท่งที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ มาทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุดังแสดงดังรูป 4.16

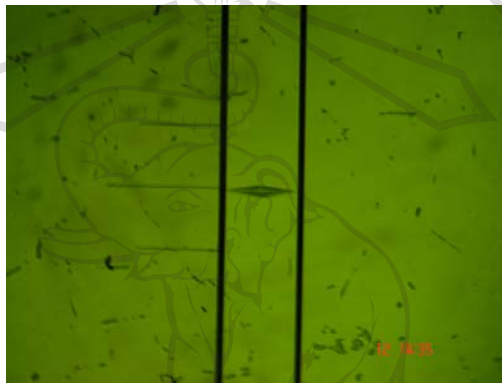


รูป 4.16 การกระจายของธาตุบริเวณอินเตอร์เมทัลลิกเฟส (a) บริเวณอินเตอร์เมทัลลิกเฟสที่สนใจศึกษา (b) การกระจายตัวของธาตุอะลูมิเนียม AlKa1 (c) การกระจายตัวของธาตุเหล็ก FeKa1 และ (d) การกระจายตัวของธาตุซิลิกอน SiKa1

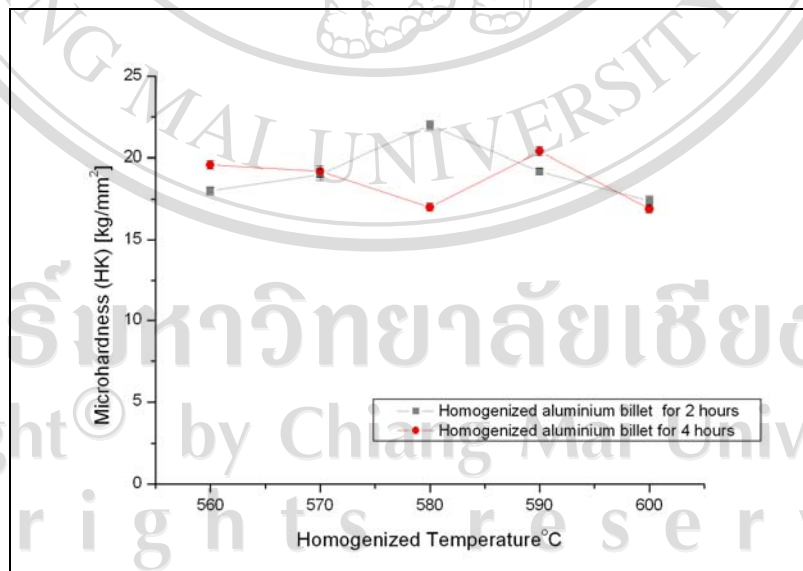
จากรูป 4.16 การกระจายตัวของธาตุบริเวณอินเตอร์เมทัลลิกเฟสพบว่าบริเวณที่สนใจศึกษามีการกระจายตัวของธาตุ Al Fe และ Si อย่างสม่ำเสมอ แสดงว่าบริเวณอินเตอร์เมทัลลิกดังกล่าวเป็นสารประกอบ AlFeSi

4.1.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็ง

ค่าความแข็งคือ ความสามารถในการต้านการแปรรูปของวัสดุโดยการกดที่ผิว หรือ การขัดถู การวิจัยนี้ได้นำอะลูมิเนียมแท่งที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์และผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิต่างกัน นาน 2 และ 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง น้ำที่อุณหภูมิห้อง และ น้ำผสมน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0 °C มาทำการวัดความแข็งด้วยหัวกดแบบนูน ซึ่ง ลักษณะรอยกดมีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมเปียกปูนดังรูป 14.17 และ ค่าความแข็งแสดงได้ดังรูป 14.18, 14.19 และ 14.20 ตามลำดับ

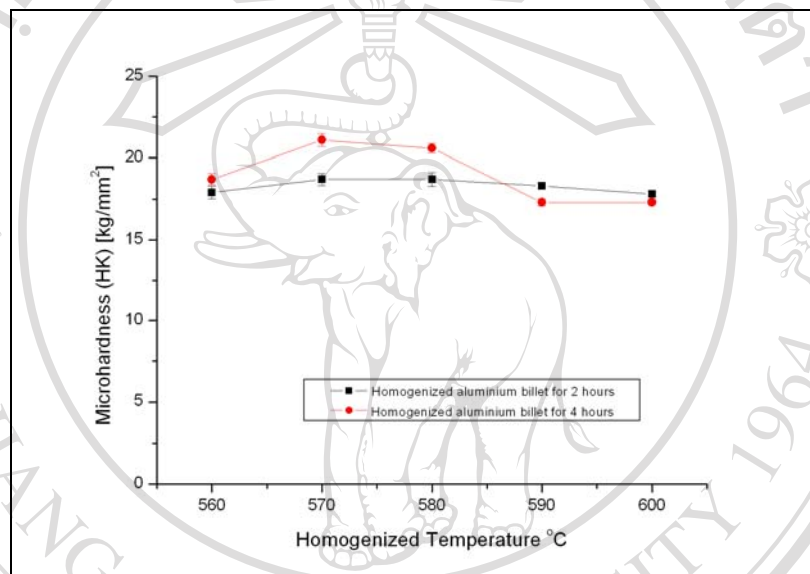


รูป 14.17 ลักษณะรอยกดด้วยเครื่องวัดค่าความแข็งแบบนูน



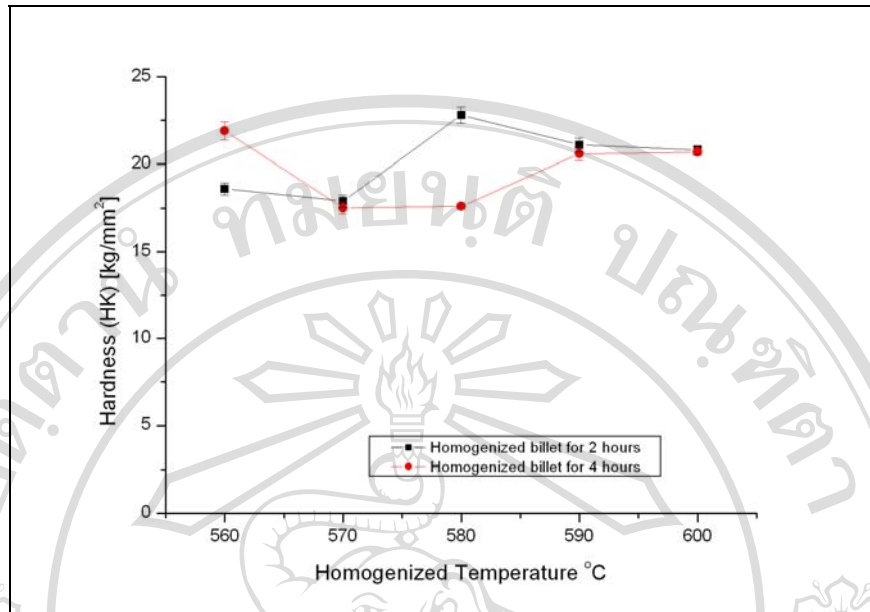
รูป 4.18 กราฟแสดงค่าความแข็งของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580 590 และ 600 °C นาน 2 ชั่วโมงและ 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง

จากรูป 4.18 กราฟแสดงค่าความแข็งของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580 590 และ 600 °C นาน 2 ชั่วโมงผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัคคมที่อุณหภูมิห้อง พบว่าค่าความแข็งจะเริ่มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการการโฮโมจิไนซ์เพิ่ม และมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิโฮโมจิไนซ์ 580 °C และ กลับลดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิโฮโมจิไนซ์เพิ่มขึ้นเป็น 590 และ 600 °C ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าความแข็งที่อุณหภูมิโฮโมจิไนซ์เดียวกัน แต่ใช้เวลาในการโฮโมจิไนซ์นานขึ้นพบว่าค่าความแข็งเริ่มลดต่ำลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการโฮโมจิไนซ์และมีค่าต่ำสุดที่อุณหภูมิโฮโมจิไนซ์ 580 °C



รูป 4.19 กราฟแสดงค่าความแข็งของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580 590 และ 600 °C นาน 2 ชั่วโมงและ 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง

เมื่อพิจารณาค่าความแข็งรูป 4.19 กราฟแสดงค่าความแข็งของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580 590 และ 600 °C นาน 2 ชั่วโมงเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องพบว่าค่าความแข็งมีค่าไม่ค่อยแตกต่างกันมากนักและมีค่าต่ำกว่าค่าความแข็งของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ซึ่งผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ที่อุณหภูมิเดียว และกระบวนการเย็นตัวแบบเดียวกันแต่ใช้เวลาในการโฮโมจิไนซ์นาน 4 ชั่วโมง พบว่า ลักษณะค่าความแข็งของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์นาน 4 ชั่วโมงเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องนั้นค่าความแข็งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิโฮโมจิไนซ์ และ กลับลดต่ำลงที่อุณหภูมิโฮโมจิไนซ์ 580 °C

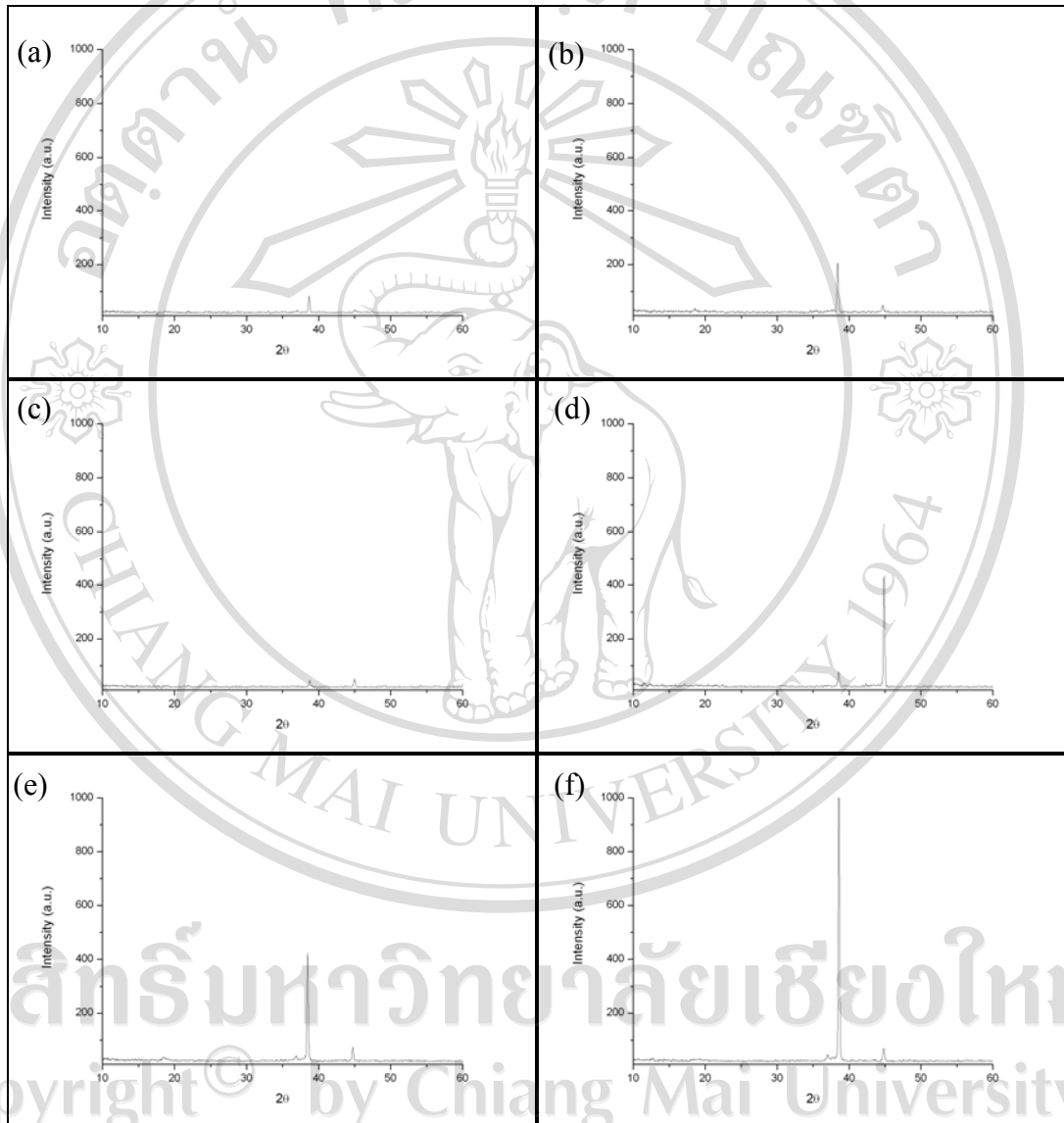


รูป 4.20 กราฟแสดงค่าความแข็งของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580 590 และ 600 °C นาน 2 ชั่วโมงและ 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็งอุณหภูมิ 0 °C

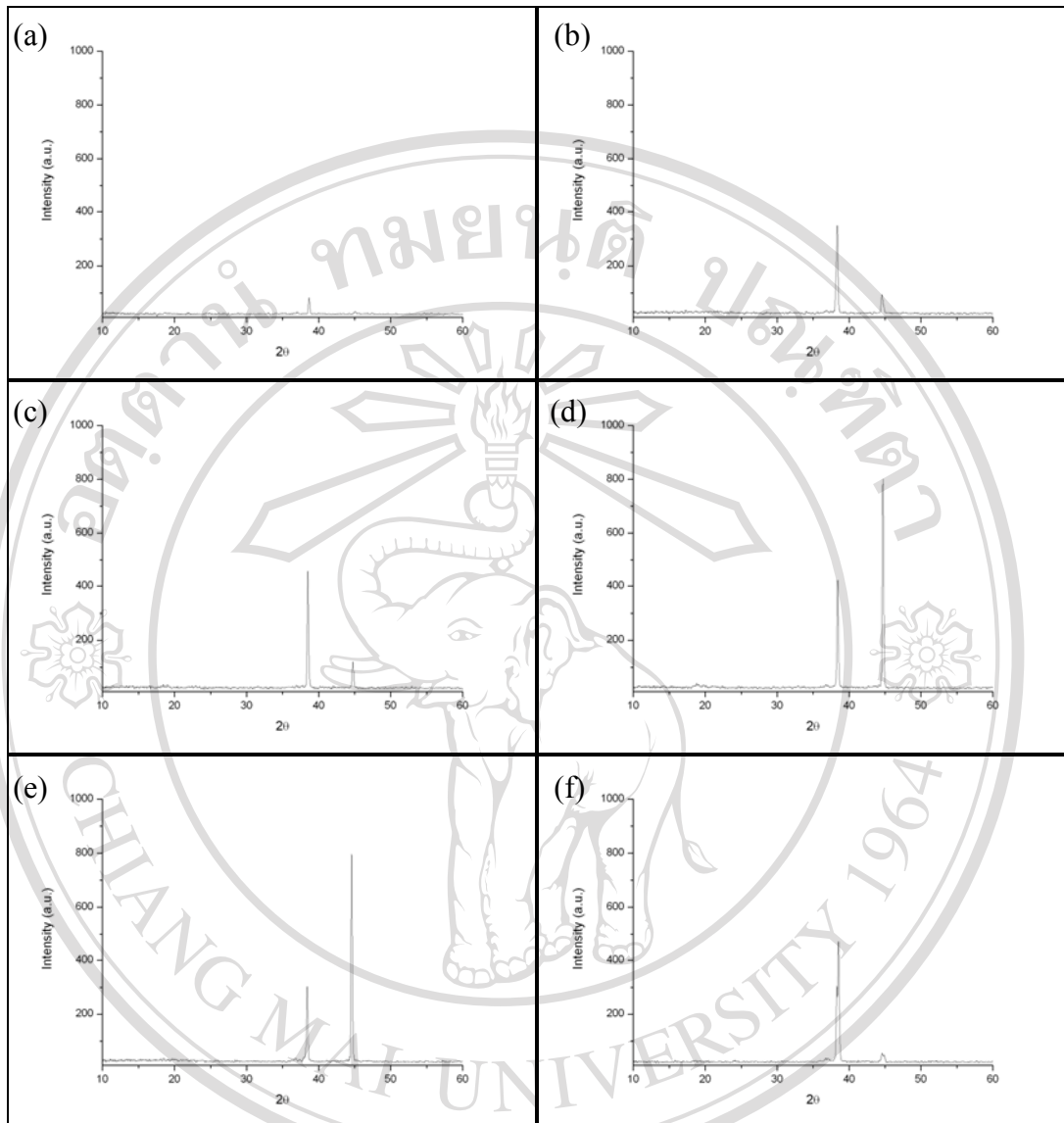
จากรูปกราฟที่ 4.20 แสดงค่าความแข็งของอะลูมิเนียมแท่งที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580 590 และ 600 °C นาน 2 ชั่วโมงและ 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยน้ำผสมน้ำแข็งอุณหภูมิ 0 °C พบว่าที่เวลาที่ใช้โฮโมจีไนซ์นาน 2 ชั่วโมงค่าความแข็งมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโฮโมจีไนซ์โดยค่าความแข็งมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิโฮโมจีไนซ์ 580 °C และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการโฮโมจีไนซ์เป็น 4 ชั่วโมงค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงและมีค่าต่ำสุดที่อุณหภูมิ 570 และ 580 °C จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิโฮโมจีไนซ์สูงขึ้น

4.1.6 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

จากการทดลองได้นำอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมงเย็นตัวด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง ไปทดสอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ได้ผลการวิจัยดังรูป 4.21 และ 4.22 ตามลำดับ



รูป 4.21 (a), (b), (c), (d), (e) และ (f) กราฟแสดงฟลักความเข้มที่มุม 2θ ของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ และ ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 560 , 570, 580, 590 และ 600 °C ตามลำดับนาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคม



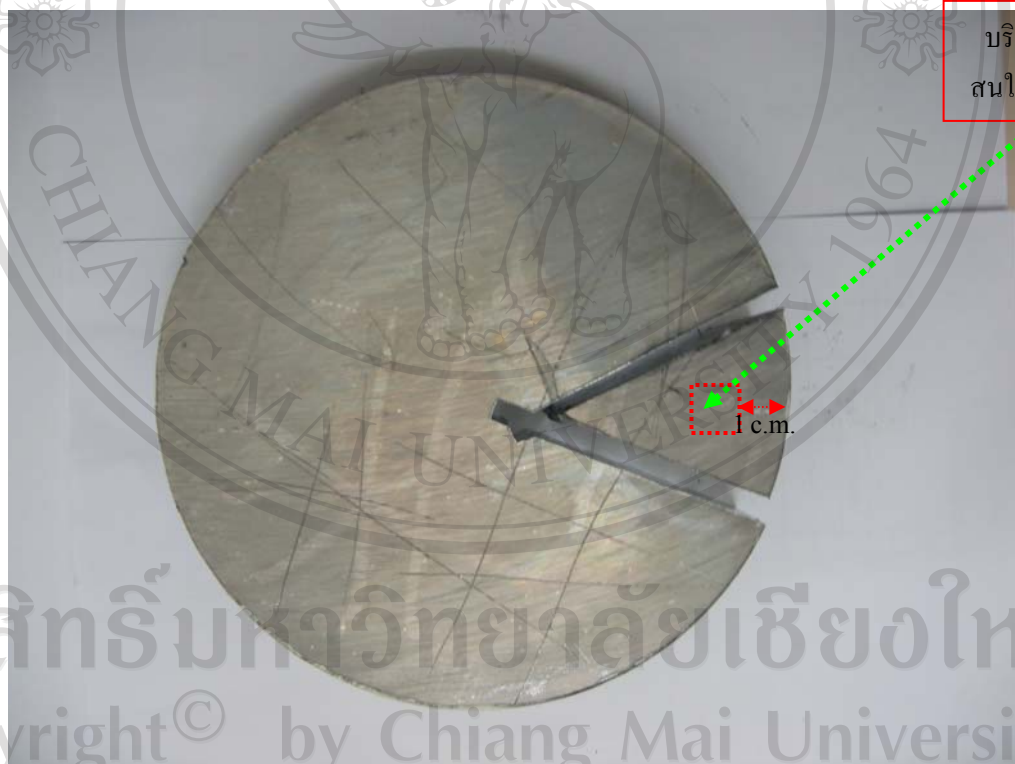
รูป 4.22 (a), (b), (c), (d), (e) และ (f) กราฟแสดงฟลักความเข้มที่มุม 2θ ของอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีไนซ์ และ ผ่านกระบวนการไฮโดรจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 560 , 570, 580, 590 และ 600 °C ตามลำดับนาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพิคดล

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีไนซ์ และผ่านกระบวนการไฮโดรจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580, 590 และ 600 °C นาน 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง พบว่าความเข้มของฟลักจะปรากฏชัดเจนที่มุม 2θ มีค่าโดยประมาณเท่ากับ 38 และ 44 เนื่องจากลักษณะของฟลักที่ปรากฏมีลักษณะแหลมคมชัดเจน และ เมื่อเทียบกับ JCPDS แล้วสามารถวิเคราะห์ได้ว่าตัวอย่างดังกล่าวเป็นธาตุอะลูมิเนียม และไม่สามารถวิเคราะห์อินเทอร์เมทัลลิกเฟสได้เนื่องจากค่าของรังสีเอกซ์มีขนาดใหญ่กว่าค่าของ

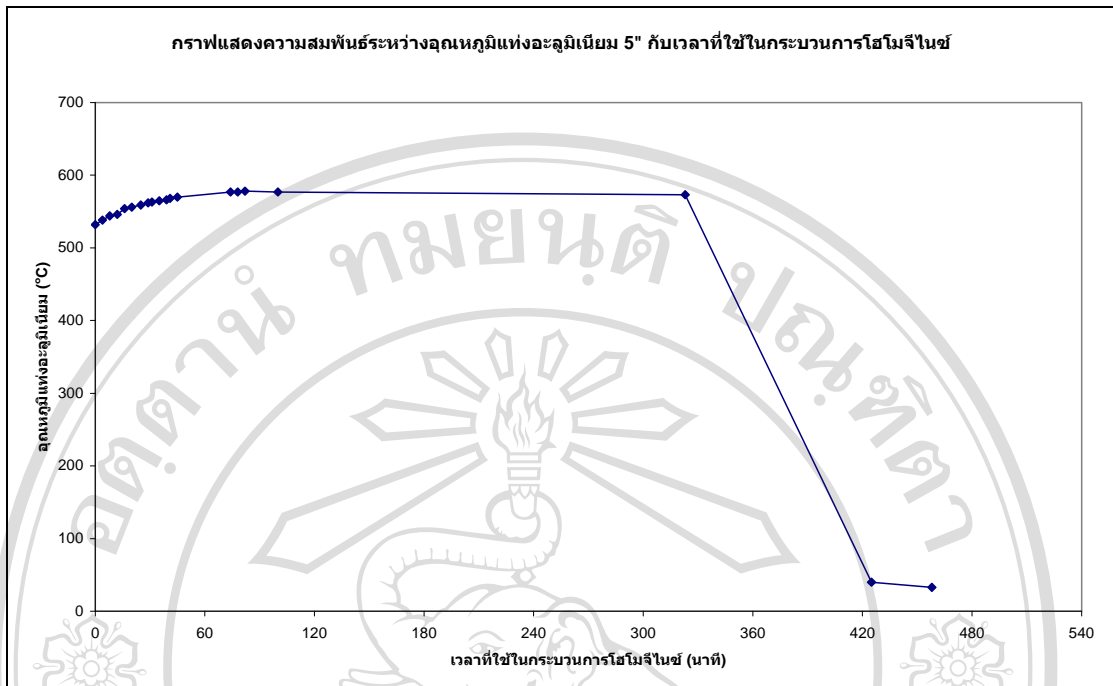
อิเล็กตรอนที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM/EDS ดังนั้นโอกาสที่จะตรวจเจออินเตอร์เมทัลลิกเฟสที่มีขนาดเล็กในระดับไมครอนนั้นมีโอกาสน้อยมาก

4.2 ผลการวิจัยในระดับสเกลโรงงานอุตสาหกรรม

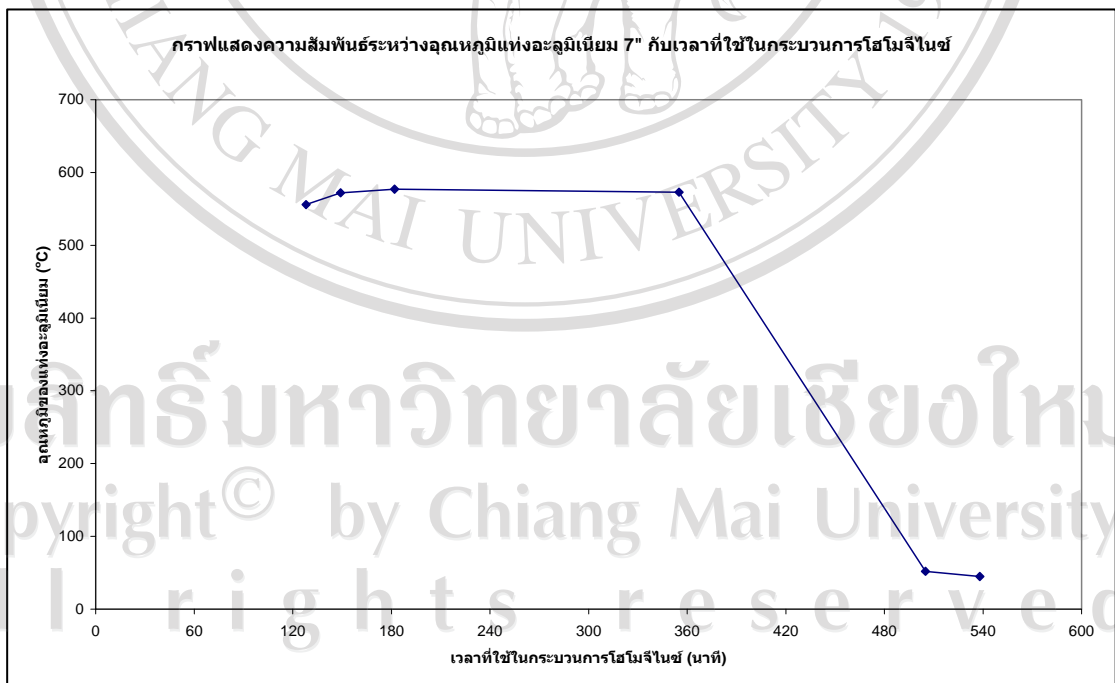
ในงานวิจัยนี้ได้สุ่มตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่งจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว และ 7 นิ้ว ที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ ในตำแหน่งบริเวณ หัว กลาง และ ท้าย แท่ง ของแท่งอะลูมิเนียม 6063 แท่งเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ยาว 4.20 เมตร และ สำหรับแท่งเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 นิ้ว ยาว 4.10 เมตร ที่ระยะห่างจากเส้นรอบวง 1 เซนติเมตร ตามรูป 4.23 มาตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค และ ค่าความแข็ง ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และ เครื่องทดสอบค่าความแข็งแบบนูนป และ อุณหภูมิของอะลูมิเนียมแท่งที่ผ่านกระบวนการไฮโมจิไนซ์ แสดงได้ดังรูป 4.24 และ 4.25



รูป 4.23 ตำแหน่งที่สนใจศึกษาโครงสร้างจุลภาค และ ค่าความแข็ง



รูป 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของแท่งอะลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5" ที่ผ่านกระบวนการไฮโมจีไนซ์จากโรงงานอุตสาหกรรม



รูป 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของแท่งบิลเลตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7" ที่ผ่านกระบวนการไฮโมจีไนซ์ในโรงงานอุตสาหกรรม

4.2.1 โครงสร้างจุลภาคทางแสง

เมื่อนำเอาตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง ได้ผลการวิจัยดังรูป 4.26 และ รูป 4.27



รูป 4.26 โครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างอะลูมิเนียม 6063 เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง กำลังขยาย 600 เท่า (a) บริเวณส่วนหัวแท่ง (b) บริเวณกลางแท่ง (c) บริเวณท้ายแท่ง ของตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ และ (d) ส่วนหัวแท่ง (e) บริเวณกลางแท่ง (f) บริเวณท้ายแท่ง ของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์จากโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้เวลาอบแห้ง (Soaking time) นาน 2 ชั่วโมง 30 นาที อุณหภูมิของแท่งอะลูมิเนียม 575 °C



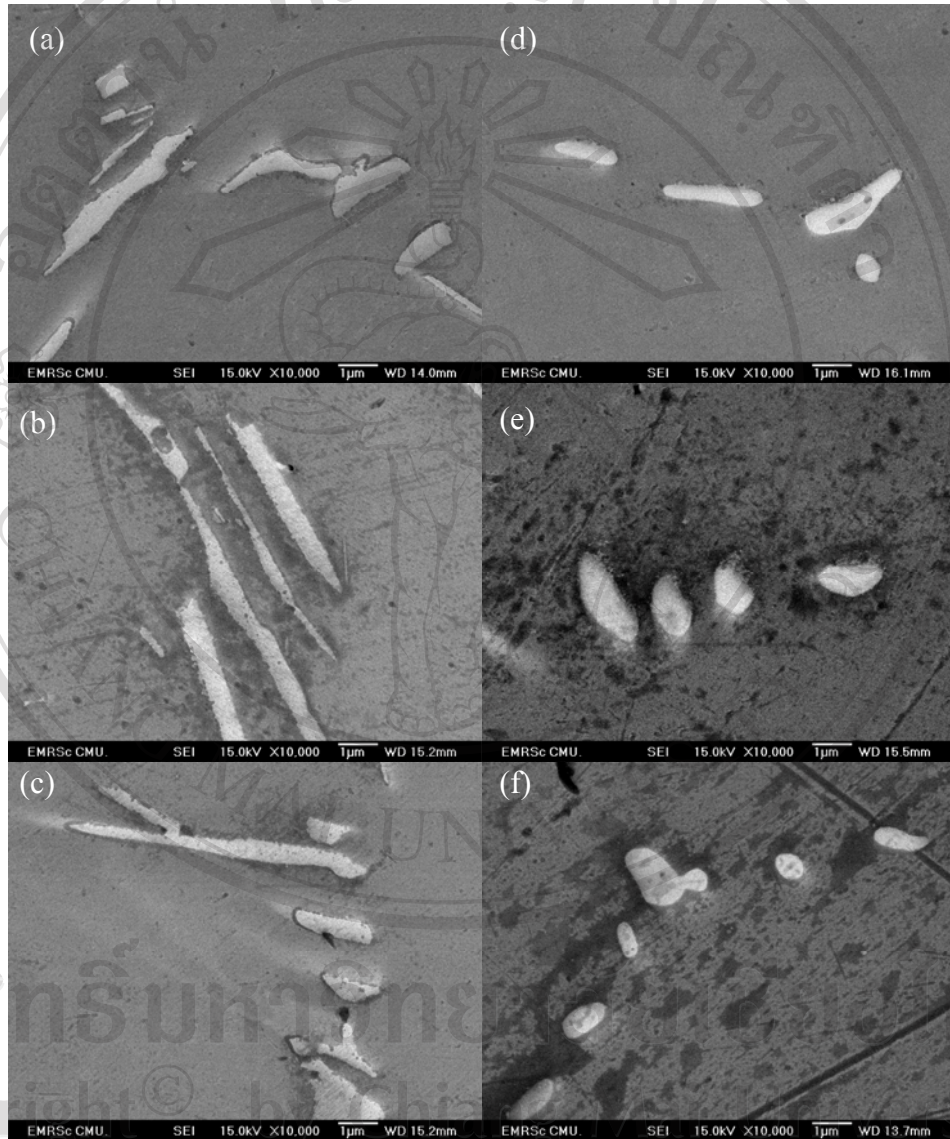
รูป 4.27 โครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างอะลูมิเนียม 6063 เส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง กำลังขยาย 600 เท่า (a) บริเวณส่วนหัวแท่ง (b) บริเวณกลางแท่ง (c) บริเวณท้ายแท่ง ของตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีไนซ์ และ (d) ส่วนหัวแท่ง (e) บริเวณกลางแท่ง (f) บริเวณท้ายแท่ง ของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีไนซ์จากโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้เวลาอบแห้ง นาน 2 ชั่วโมง 30 นาที อุณหภูมิของแท่งอะลูมิเนียม 575 °C

เมื่อพิจารณาโครงสร้างอินเตอร์เมทัลลิกเฟสของตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีไนซ์ พบว่า เฟสที่ปรากฏ ณ ตำแหน่งขอบเกรนนั้น จะมีลักษณะเป็นแท่งเชื่อมต่อเนื่องกันเป็นโครงสร้างร่างแห เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจีไนซ์ ลักษณะเฟสดังกล่าวจะแตกออกเป็นปล้องๆ และ กลมมนขึ้น จะสังเกตเห็นได้ดังรูป 4.26 และ 4.27

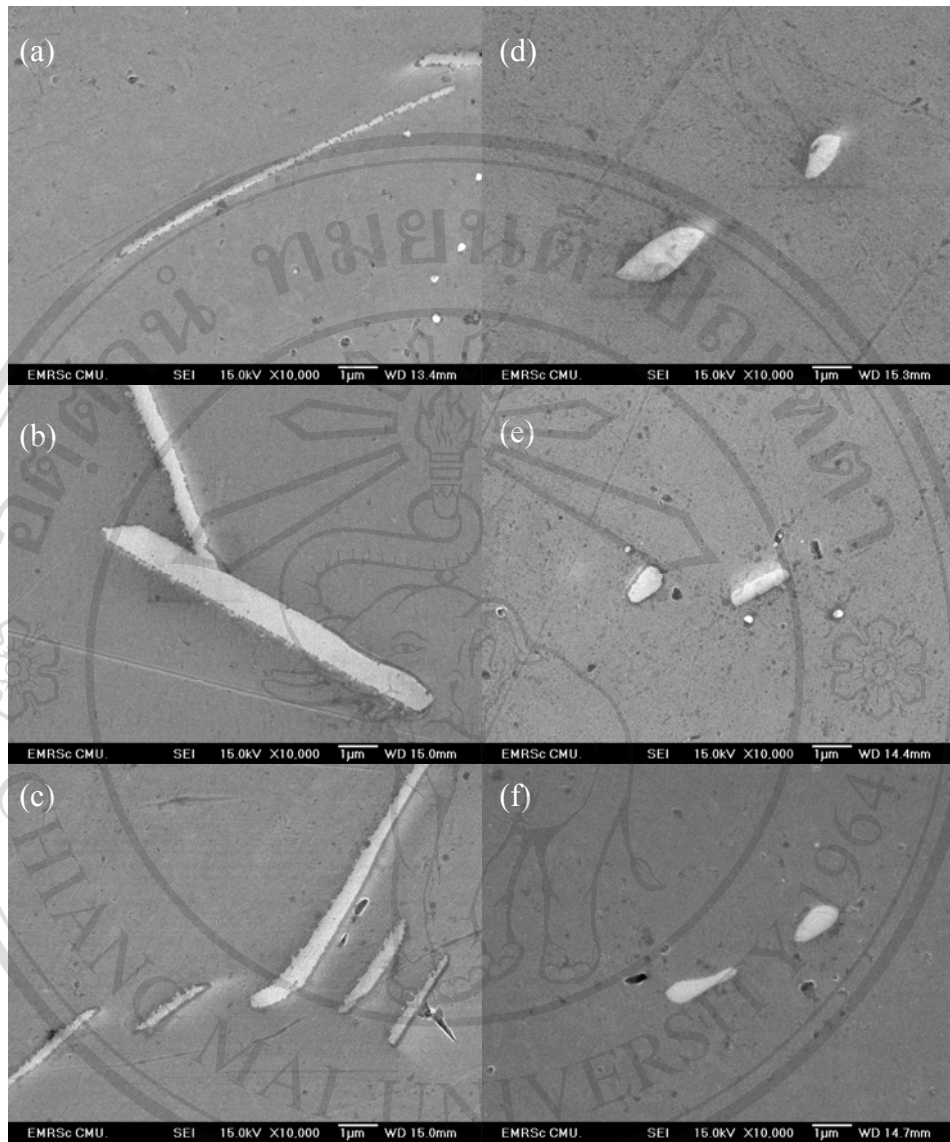
4.2.2 โครงสร้างจุลภาคอิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกราด

4.2.2.1 ภาพโครงสร้างจุลภาค

เมื่อนำชิ้นตัวอย่างทดสอบจากโรงงานอุตสาหกรรมมาตรวจโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10000 ได้ผลการวิจัยดังรูป 4.28 และ 4.29



รูป 4.28 โครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างอะลูมิเนียม 6063 เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 10000 เท่า (a) บริเวณส่วนหัวแท่ง (b) บริเวณกลางแท่ง (c) บริเวณท้ายแท่ง ของตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนส์ และ (d) ส่วนหัวแท่ง (e) บริเวณกลางแท่ง (f) บริเวณท้ายแท่ง ของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนส์จากโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้เวลาอบแช่ นาน 2 ชั่วโมง 30 นาที อุณหภูมิของแท่งอะลูมิเนียม 575 °C



รูป 4.29 โครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างอะลูมิเนียม 6063 เส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 10000 เท่า (a) บริเวณส่วนหัวแท่ง (b) บริเวณกลางแท่ง (c) บริเวณท้ายแท่ง ของตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ และ (d) ส่วนหัวแท่ง (e) บริเวณกลางแท่ง (f) บริเวณท้ายแท่ง ของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์จากโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้เวลาอบแช่ นาน 2 ชั่วโมง 30 นาที อุณหภูมิของแท่งอะลูมิเนียม 575 °C

จากรูป 4.28 และ 4.29 โครงสร้างทางจุลภาคของตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว และ 7 นิ้ว ที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ จะสังเกตพบว่ามีลักษณะของอินเตอร์เมทัลลิก ณ ตำแหน่งบริเวณขอบเกรนนั้นมีลักษณะเป็นแท่งเข็มที่แหลมคม และ เฟสดังกล่าวจะเริ่มทุ่ และ กลมมนขึ้นเมื่ออะลูมิเนียมตัวอย่างผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์

4.2.2.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอ็นเนอร์จีดีสเพอร์ซีฟสเปกโตรสโคปี

เมื่อนำตัวอย่างอะลูมิเนียม 6063 จากโรงงานอุตสาหกรรมมาวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการทางเคมีของอินเตอร์เมททัลลิกเฟสที่ปรากฏ ณ บริเวณขอบเกรน ของอะลูมิเนียมแท่งเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว ได้ผลการวิจัยดังตารางที่ 4.4, 4.5 และ ของอะลูมิเนียมเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว ได้ผลวิจัยดังตาราง 4.6 และ 4.7

ตาราง 4.4 แสดงปริมาณธาตุที่พบในอินเตอร์เมททัลลิกเฟส และ เมตริกซ์ของตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว ที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ โดยเงื่อนไขการทดลอง UHH = ตำแหน่งหัวแท่ง, UHM = ตำแหน่งกลางแท่ง และ UHB = ตำแหน่งท้ายแท่ง ของแท่งอะลูมิเนียม และ (1), (2) และ (3) คือครั้งที่วิเคราะห์

เงื่อนไขการวิจัย	ปริมาณธาตุที่พบในอินเตอร์เมทัลลิกเฟส (Weight%)				อัตราส่วนโดยประมาณ	ปริมาณธาตุที่พบในเมตริกซ์อะลูมิเนียม (Weight%)
	Al	Si	Fe	Mg		
UHH (1)	69.42	9.83	20.69	0	2:1	100
UHH (2)	76.78	8.93	14.29	0	2:1	100
UHH (3)	71.74	9.82	18.45	0	2:1	100
UHM (1)	77.23	7.89	14.88	0	2:1	100
UHM (2)	75.75	9.04	15.21	0	2:1	100
UHM (3)	76.30	8.72	14.99	0	2:1	100
UHB (1)	68.32	11.18	20.50	0	2:1	100
UHB (2)	75.48	8.24	16.28	0	2:1	100
UHB (3)	77.82	7.58	14.60	0	2:1	100

จากตาราง 4.4 จะพบว่าองค์ประกอบทางเคมีอินเตอร์เมทัลลิกเฟส ณ ตำแหน่งขอบเกรนของแท่งอะลูมิเนียม เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว ที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ จะประกอบด้วยธาตุ อะลูมิเนียม ซิลิกอน และ เหล็ก ที่น่าจะมีรูปร่างของอินเตอร์เมทัลลิกเฟสในรูป β -AlFeSi ในรูปของสารประกอบ Al_5FeSi เนื่องจากมีค่าอัตราส่วน Fe:Si โดยประมาณเท่ากับ 2:1 สอดคล้องตามงานวิจัยที่บริษัทโคมาโค ประเทศออสเตรียได้เคยทำมาไว้ [18]

ตาราง 4.5 แสดงปริมาณธาตุที่พบในอินเตอร์เมทัลลิกเฟส และ เมตริกซ์ของตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว ที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ โดยเงื่อนไขการทดลอง HH = ตำแหน่งหัวแท่ง, HM = ตำแหน่งกลางแท่ง และ HUB = ตำแหน่งท้ายแท่ง ของแท่งอะลูมิเนียม และ (1), (2) และ (3) คือครั้งที่วิเคราะห์

เงื่อนไขการวิจัย	ปริมาณธาตุที่พบในอินเตอร์เมทัลลิกเฟส (Weight%)				อัตราส่วนโดยประมาณ	ปริมาณธาตุที่พบในเมตริกซ์อะลูมิเนียม (Weight%)
	Al	Si	Fe	Mg		
HH (1)	74.79	5.73	19.48	0	3:1	100
HH (2)	72.89	7.26	19.95	0	3:1	100
HH (3)	73.27	6.72	20.01	0	3:1	100
HM (1)	71.96	8.02	20.02	0	3:1	100
HM (2)	91.31	2.43	6.27	0	3:1	100
HM (3)	87.41	3.38	9.22	0	3:1	100
HB (1)	90.36	2.33	7.31	0	3:1	100
HB (2)	68.85	7.15	24.00	0	3:1	100
HB (3)	83.77	4.11	12.12	0	3:1	100

จากตาราง 4.5 จะพบว่าองค์ประกอบทางเคมีอินเตอร์เมทัลลิกเฟส ณ ตำแหน่งขอบเกรนของแท่งอะลูมิเนียม เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว ที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ จะประกอบด้วยธาตุอะลูมิเนียม ซิลิกอน และ เหล็ก ที่น่าจะมิรูปร่างเป็น α -AlFeSi ในรูปของสารประกอบ $Al_{15}Fe_3Si$ เนื่องจากค่าอัตราส่วน Fe:Si โดยประมาณมีค่าเท่ากับ 3:1 สอดคล้องตามงานวิจัยที่บริษัทโคมาโค ประเทศออสเตรเลียได้เคยทำมาไว้ [18]

ตาราง 4.6 แสดงปริมาณธาตุที่พบในอินเทอร์เมทัลลิกเฟส และ เมตริกซ์ของตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 เส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว ที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ โดยเงื่อนไขการทดลอง UHH = ตำแหน่งหัวแท่ง, UHM = ตำแหน่งกลางแท่ง และ UHB = ตำแหน่งท้ายแท่ง ของแท่งอะลูมิเนียม และ (1), (2) และ (3) คือครั้งที่วิเคราะห์

เงื่อนไขการวิจัย	ปริมาณธาตุที่พบในอินเทอร์เมทัลลิกเฟส (Weight%)				อัตราส่วนโดยประมาณ Fe/Si	ปริมาณธาตุที่พบในเมตริกซ์อะลูมิเนียม (Weight%) Al
	Al	Si	Fe	Mg		
UHH (1)	84.80	5.29	9.17	0.73	2:1	100
UHH (2)	79.96	7.66	12.27	0.71	2:1	100
UHH (3)	87.23	5.02	7.75	0	2:1	100
UHM (1)	76.76	9.78	13.54	0	1:1	100
UHM (2)	70.72	10.48	18.80	0	2:1	100
UHM (3)	80.82	7.16	12.01	0	2:1	100
UHB (1)	78.70	8.22	13.08	0	2:1	100
UHB (2)	75.15	8.56	15.47	0	2:1	100
UHB (3)	76.08	7.59	14.77	0	2:1	100

จากตาราง 4.6 จะพบว่าองค์ประกอบทางเคมีอินเทอร์เมทัลลิกเฟส ณ ตำแหน่งขอบเกรนของแท่งอะลูมิเนียม เส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว ที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ จะประกอบด้วยธาตุ อะลูมิเนียม ซิลิกอน และ เหล็ก ที่น่าจะมึรูปร่างเป็น β -AlFeSi ในรูปของสารประกอบ Al_5FeSi เนื่องจากมีค่าอัตราส่วน Fe:Si ส่วนใหญ่มีค่าประมาณเท่ากับ 2:1 สอดคล้องตามงานวิจัยที่บริษัทโคมาโค ประเทศออสเตรเลียได้เคยทำมาไว้ [18]

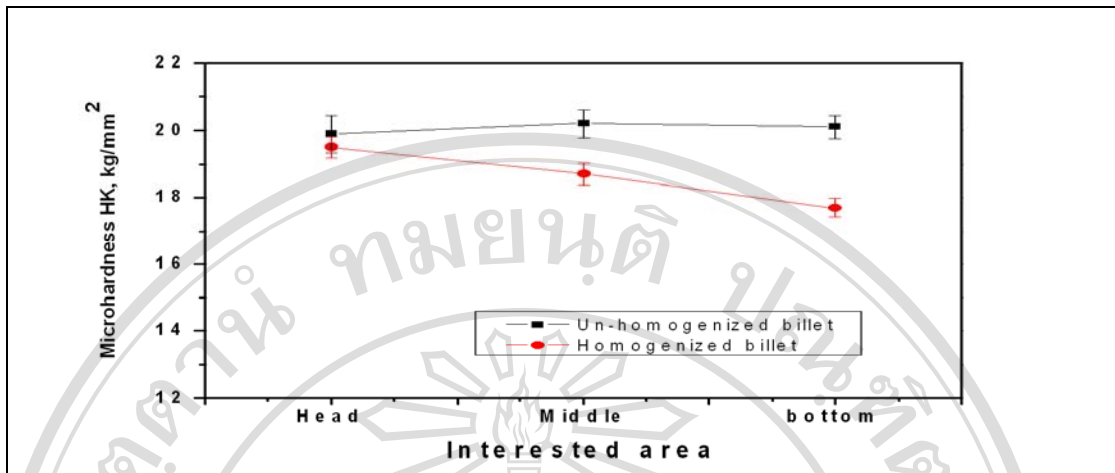
ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณธาตุที่พบในอินเทอร์เมทัลลิกเฟส และ เมตริกซ์ของตัวอย่าง อะลูมิเนียมแท่ง 6063 เส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว ที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ โดยเงื่อนไขการ ทดลอง HH = ตำแหน่งหัวแท่ง, HM = ตำแหน่งกลางแท่ง และ HUB = ตำแหน่งท้ายแท่ง ของ แท่งอะลูมิเนียม และ (1), (2) และ (3) คือครั้งที่วิเคราะห์

เงื่อนไข การวิจัย	ปริมาณธาตุที่พบในอินเทอร์เมทัลลิก เฟส (Weight%)				อัตราส่วน โดยประมาณ	ปริมาณธาตุที่พบใน เมตริกซ์อะลูมิเนียม (Weight%)
	Al	Si	Fe	Mg		
HH (1)	77.58	5.42	17.00	0	3:1	100
HH (2)	81.99	4.85	13.16	0	3:1	100
HH (3)	80.47	5.34	14.19	0	3:1	100
HM (1)	72.47	6.35	21.18	0	3:1	100
HM (2)	70.54	7.00	22.45	0	3:1	100
HM (3)	78.55	5.94	15.51	0	3:1	100
HB (1)	76.31	5.30	18.38	0	3:1	100
HB (2)	79.00	4.42	16.59	0	4:1	100
HB (3)	73.07	7.13	19.80	0	3:1	100

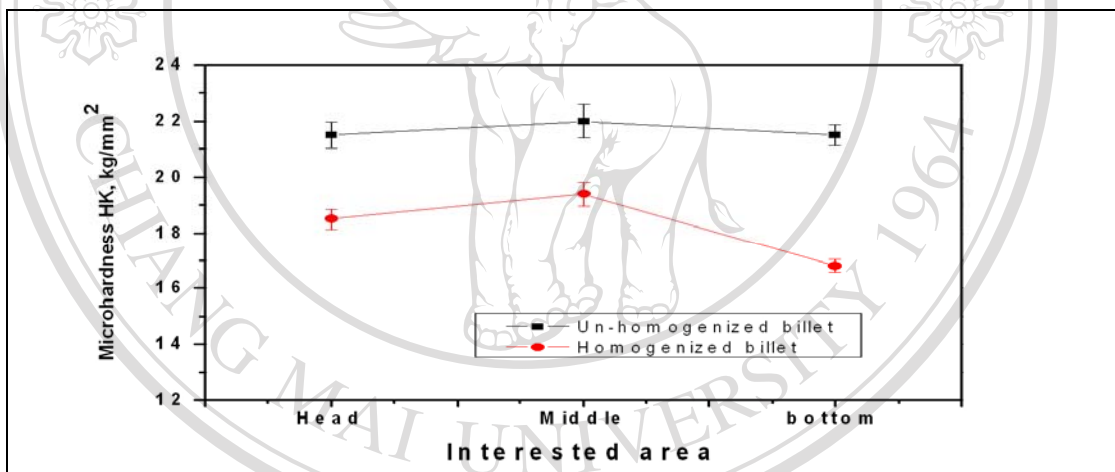
จากตาราง 4.7 จะพบว่าองค์ประกอบทางเคมีอินเทอร์เมทัลลิกเฟส ณ ตำแหน่งขอบเกรน ของแท่งอะลูมิเนียม เส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว ที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ จะประกอบด้วยธาตุ อะลูมิเนียม ซิลิกอน และ เหล็ก ที่น่าจะมีส่วนประกอบเป็น $\alpha\text{-AlFeSi}$ ในรูปของสารประกอบ $\text{Al}_{15}\text{Fe}_3\text{Si}$ เนื่องจากค่าอัตราส่วน Fe:Si ส่วนใหญ่มีค่าประมาณเท่ากับ 3:1 สอดคล้องตามงานวิจัยที่บริษัท โคม่าโค ประเทศออสเตรเลียได้เคยทำมาไว้ [18]

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดค่าความแข็งแบบนูน

ค่าความแข็งของอะลูมิเนียมแท่งเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว และ 7 นิ้ว ของตัวอย่าง อะลูมิเนียมแท่งที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ และ ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ แสดงได้ดัง กราฟรูป 4.30 และ 4.31



รูป 4.30 กราฟแสดงค่าความแข็งของตัวอย่างอะลูมิเนียมเส้นผ่านศูนย์กลาง 5” ในตำแหน่ง หัว กลาง และ ท้ายแท่งอะลูมิเนียมความยาว 4.20 เมตร ที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์

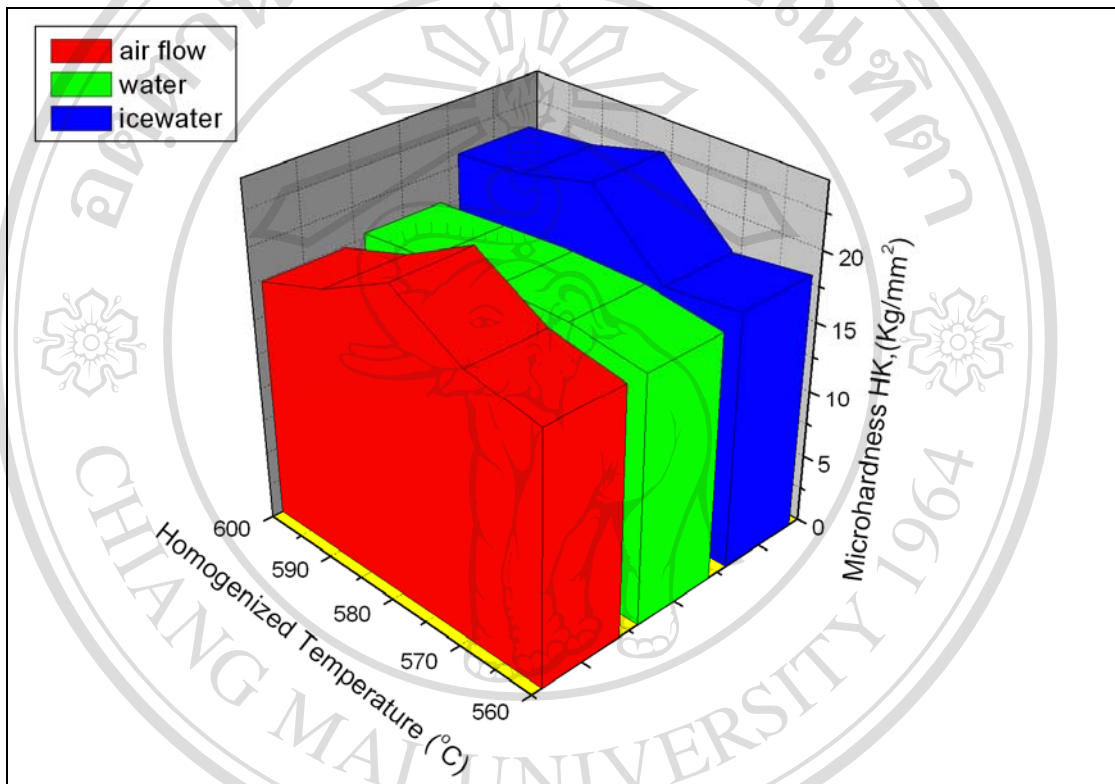


รูป 4.31 กราฟแสดงค่าความแข็งของตัวอย่างอะลูมิเนียมเส้นผ่านศูนย์กลาง 7” ในตำแหน่ง หัว กลาง และ ท้ายแท่งอะลูมิเนียมความยาว 4.10 เมตร ที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์

จากรูป 4.30 และ 4.31 จะสังเกตเห็นว่า แท่งอะลูมิเนียมที่ไม่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ จะแข็งกว่าแท่งอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์

4.3 ค่าความแข็งกับกระบวนการเย็นตัวหลังผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์

เมื่อพิจารณาค่าความแข็งของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมงผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง น้ำที่อุณหภูมิห้อง และ น้ำผสมน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0 °C จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโฮโมจีไนซ์ และ กระบวนการเย็นตัว กับค่าความแข็ง ดังรูป 4.32 และ 4.33

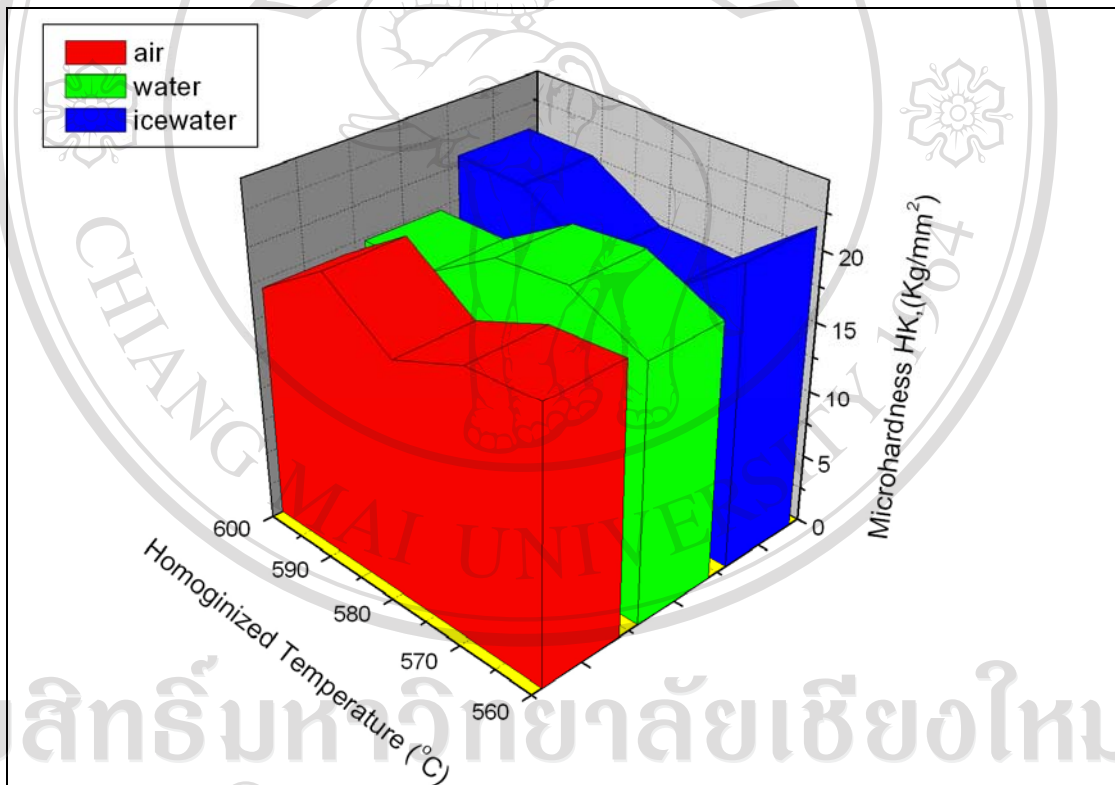


รูป 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโฮโมจีไนซ์ และ กระบวนการเย็นตัว กับค่าความแข็งที่ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 2 ชั่วโมง

จากรูป 4.32 กราฟแสดงค่าความแข็งของตัวอย่างอะลูมิเนียมแท่ง 6063 ที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580 590 และ 600 °C นาน 2 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง น้ำที่อุณหภูมิห้อง และน้ำผสมน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0 °C พบว่าตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 2 ชั่วโมง เย็นตัวด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง และ น้ำผสมน้ำแข็ง 0 °C นั้น มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งใกล้เคียงกัน คือเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการโฮโมจีไนซ์สูงขึ้นค่าความแข็งจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงช่วงอุณหภูมิหนึ่ง และกลับลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่านี้ ขณะที่ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 560, 570, 580

590 และ 600 °C นาน 2 ชั่วโมงเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง ค่าความแข็งไม่ค่อยมีความแตกต่างกันเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการโฮโมจีไนซ์เพิ่มสูงขึ้น

สำหรับค่าความแข็งของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 4 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการเย็นตัวด้วยพัลคมที่อุณหภูมิห้อง และ น้ำผสมน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0 °C แสดงดังรูป 4.33 พบว่าค่าความแข็งจะมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการโฮโมจีไนซ์สูงขึ้นจนถึงช่วงอุณหภูมิหนึ่ง ค่าความแข็งกลับมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการโฮโมจีไนซ์สูงเกินกว่านี้ ในขณะที่ค่าความแข็งของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 4 ชั่วโมงเย็นตัวด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องนั้น ค่าความแข็งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการโฮโมจีไนซ์สูงเกินกว่านี้ จนถึงช่วงอุณหภูมิหนึ่ง กลับมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการโฮโมจีไนซ์สูงเกินกว่านี้



รูป 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโฮโมจีไนซ์ และ กระบวนการเย็นตัว กับค่าความแข็งที่ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการโฮโมจีไนซ์นาน 4 ชั่วโมง

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิและเวลาต่างกันนั้น มีแนวโน้มไม่ไปทางเดียวกัน แสดงว่าค่าความแข็งเพียงอย่างเดียวอาจจะไม่ใช่ปัจจัย (Factor) ที่จะสามารถบอกถึงความสามารถที่จะเลือกอุณหภูมิ เวลา และ

กระบวนการขึ้นตัวที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการโฮโมจีไนซ์ เพื่อให้จะได้ความสามารถในการอัดรีดขึ้นรูป (extrudability) ที่มีประสิทธิภาพ และ ผลกระทบที่อัดรีดขึ้นรูปคุณภาพดี

4.4 กลไกที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาค

กลไกที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมหลังผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์คือ กลไกการแพร่ จาก สมการของอาร์เรเนียส (Arrhenius equation) ที่ว่า $D_B = D_{B0} \exp(-Q_{ID}/RT)$ จะเห็นได้ว่า สัมประสิทธิ์การแพร่จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อะตอมเกิดการสั่นมากขึ้น มีพลังงานมากขึ้น ทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้มากขึ้น จึงทำให้ลักษณะอินเตอร์เมทัลลิกเฟสที่พบบริเวณโครงสร้างของขอบเกรนเกิดการเปลี่ยนแปลงจากรูปร่างจากเดิมที่มีลักษณะเป็นแท่งแหลมคล้ายแท่งเข็มเป็นเฟสที่มีลักษณะกลมมนขึ้น ซึ่งคล้ายกับกระบวนการสเฟียไรเซชัน (Spheroidization) ในเหล็ก ปรากฏการณ์ดังกล่าวจะทำให้พลังงานพื้นผิวของอนุภาคอินเตอร์เมทัลลิกเฟสลดลง ซึ่งทำให้เฟสดังกล่าวมีความเสถียรมากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved