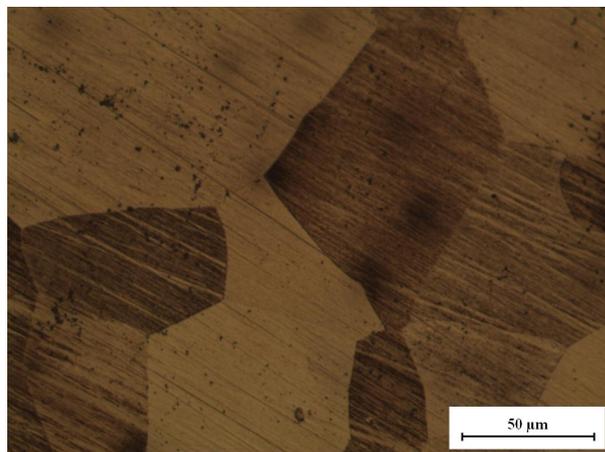
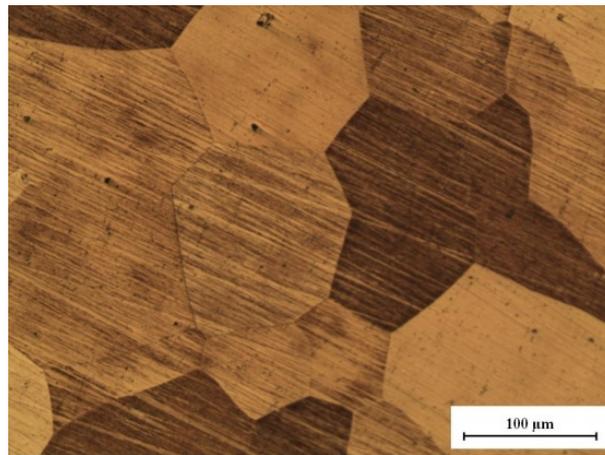


4.4 ชิ้นงานหล่อส่วนผสม Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn

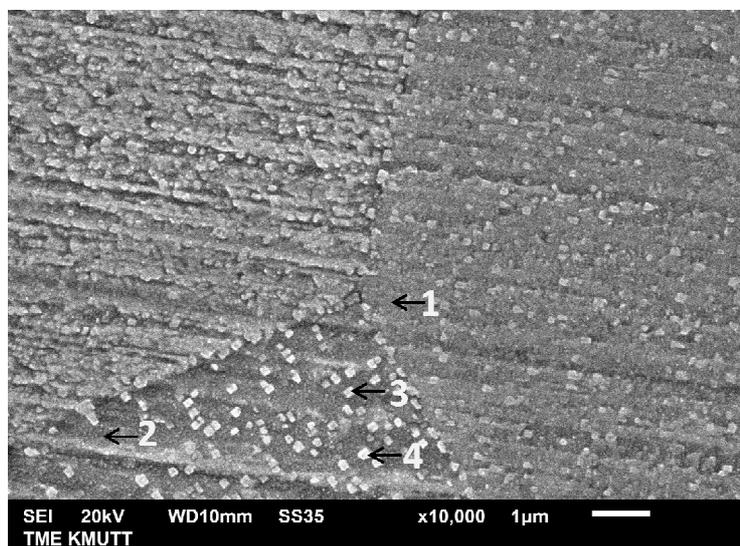
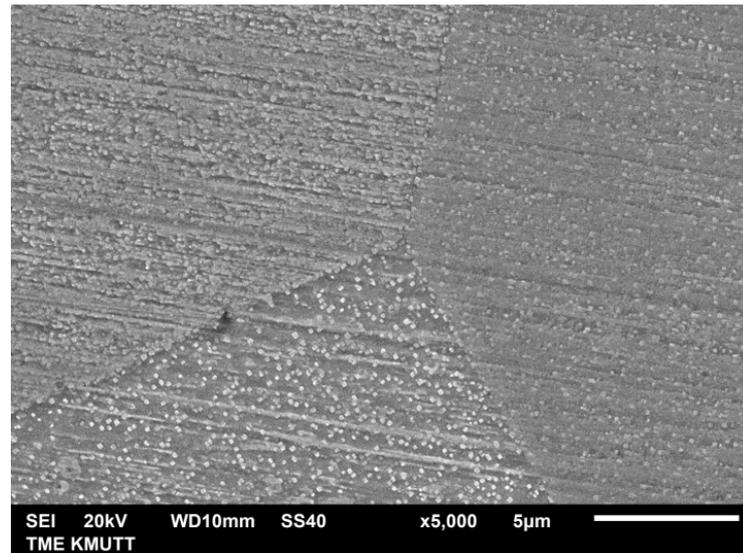
4.4.1 โครงสร้างจุลภาคและค่าความแข็งของงานหล่อ

ลักษณะโครงสร้างจุลภาคงานหล่อบронซ์อะลูมิเนียมที่มีส่วนผสม Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn หล่อในแบบหล่อโลหะอุ่นแบบหล่อโลหะที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง แสดงในรูปที่ 4.22 มีลักษณะเป็นเกรนกลม (Equiaxed Grains) ของเฟสเดียว



รูปที่ 4.22 โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานหล่อส่วนผสม Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn

เมื่อนำชิ้นงานไปถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดแสดงในรูปที่ 4.23 พบว่าโครงสร้างมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวสม่ำเสมอ ภายในเกรนพบว่ามีอนุภาคนาขนาดเล็กรูปร่างสี่เหลี่ยมกระจายอยู่ ผลการวิเคราะห์ธาตุแสดงในตารางที่ 4.12 (สเปกตรัมแสดงในภาคผนวก ก. รูปที่ ก.8-ก.9)



รูปที่ 4.23 โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานหล่อส่วนผสม $\text{Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn}$
ถ่ายด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ธาตุบนชิ้นงานหล่อส่วนผสม Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn

ธาตุที่วิเคราะห์ได้	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)			
	บริเวณที่ 1	บริเวณที่ 2	บริเวณที่ 3	บริเวณที่ 4
Cu	76.00	76.85	75.48	75.24
Al	14.64	13.87	15.36	15.67
Fe	4.83	4.82	4.75	4.70
Ni	4.53	4.46	4.41	4.39
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00

ปริมาณธาตุบริเวณที่ 1 และ บริเวณที่ 2 มีปริมาณอะลูมิเนียมร้อยละ 14.64 โดยน้ำหนัก และร้อยละ 13.87 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ มีปริมาณเหล็กและนิกเกิลใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณเหล็กร้อยละ 4.82 – 4.83 โดยน้ำหนัก และนิกเกิลประมาณร้อยละ 4.46 – 4.53 โดยน้ำหนัก บริเวณที่ 3 และบริเวณที่ 4 ที่เป็นอนุภาคมีปริมาณอะลูมิเนียมอยู่มากกว่าบริเวณที่ 1 และ 2 โดยบริเวณที่ 3 มีปริมาณอะลูมิเนียมอยู่ร้อยละ 15.36 โดยน้ำหนัก และบริเวณที่ 4 มีปริมาณอะลูมิเนียมอยู่ร้อยละ 15.67 โดยน้ำหนัก และทั้ง 2 บริเวณมีปริมาณเหล็กและนิกเกิลใกล้เคียงกัน โดยปริมาณเหล็กอยู่ที่ร้อยละ 4.70 – 4.75 โดยน้ำหนัก และปริมาณนิกเกิลอยู่ที่ร้อยละ 4.39 – 4.41 โดยน้ำหนัก ผลการวิเคราะห์ไม่พบแมงกานีสทั้ง 3 บริเวณ เนื่องจากในส่วนผสมมีปริมาณที่น้อยมาก ความแข็งเฉลี่ยมีค่า 409 วิกเกอร์ ซึ่งต่ำกว่าชิ้นงานหล่อส่วนผสม Cu-15.2Al-2.3Fe ที่มีค่าความแข็งเฉลี่ย 487 วิกเกอร์ เนื่องจากการเติมนิกเกิลและแมงกานีสเข้าไปมีส่วนช่วยเพิ่มความเหนียว จึงส่งผลให้ความแข็งลดลงทำให้ชิ้นงานสามารถชุบขึ้นรูปร้อนได้โดยไม่แตก [17]

ผลการทดลองนี้ทำให้ทราบว่า การเติมนิกเกิลร้อยละ 4.2 โดยน้ำหนัก และแมงกานีสร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก ลงไปในส่วนผสม Cu-15.2Al-2.3Fe มีผลทำให้โครงสร้างจุลภาคเปลี่ยนไป จากเดิมที่มี 2 เฟส ที่ประกอบไปด้วยเฟสบีตา และเฟสแกมมาสองไปเป็น 2 เฟส ของเฟสบีตา และเฟสแคบปะรูปร่างสี่เหลี่ยม (Cuboid) เนื่องจากอิทธิพลของนิกเกิลที่ขยายอาณาเขตของการเกิดเฟสอัลฟาในแผนภาพเฟสสมดุลให้กว้างขึ้น [17] อิทธิพลของแมงกานีสช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาทุติยภูมิ ทำให้เกิดช้าลงจึงไม่เกิดเฟสสมดุลของเฟสอัลฟา เฟสแคบปะ และเฟสแกมมา นอกจากนี้ยังมีผลทำให้ค่าความ

แข็งลดลงจากส่วนผสมแรกที่ศึกษาคือส่วนผสม Cu-15.2Al-2.3Fe ซึ่งมีค่าความแข็งเฉลี่ย 487 วิกเกอร์ เหลือ 409 วิกเกอร์ เนื่องจากการหล่อในการทดลองนี้เป็นการหล่อด้วยแบบหล่อโลหะ มีการอุ่นแบบหล่อโลหะที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เย็นตัวในแบบหล่อโลหะ 5 นาที แล้วนำออกจากแบบหล่อโลหะปล่อยให้เย็นตัวในอากาศจึงเป็นการเย็นตัวที่เร็ว โครงสร้างที่ได้ไม่เกิดเฟสผสมตามแผนภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา เกี่ยวกับบรอนซ์อะลูมิเนียมที่มีส่วนผสมใกล้เคียงกัน พบว่าลักษณะโครงสร้างจุลภาคแตกต่างกัน ดังเห็นได้ดังนี้

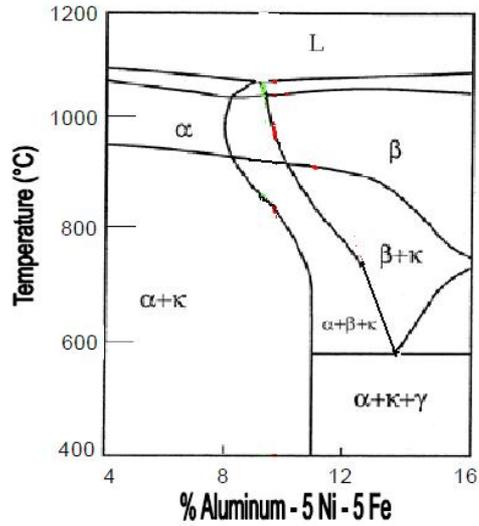
งานวิจัยของ Li และคณะ [8] รายงานว่าโครงสร้างงานหล่อของบรอนซ์อะลูมิเนียมที่มีส่วนผสม Cu-9Al-3Fe-1Ni-1Mn หล่อในแบบหล่อโลหะ มีโครงสร้างจุลภาคเป็นเดนไดรต์ประกอบด้วยเฟสอัลฟา และ เฟสบีตาไพรม์ (β') เห็นได้ว่าโครงสร้างที่ได้ไม่ปฏิบัติตามเฟสไดอะแกรม ในแผนภาพ Cu-Al-5Fe-5Ni ที่จะต้องได้เฟสอัลฟา เฟสแกมมาสอง และเฟสแคปปะ

งานวิจัยของ Li และคณะ [10] รายงานว่าชิ้นงานส่วนผสม Cu-16Al-4.5Fe-0.6Ni-1.5Mn หล่อในแบบหล่อโลหะ โครงสร้างจุลภาคงานหล่อประกอบด้วย เฟสแกมมาสองอยู่ตามขอบเกรน โครงสร้างพื้นเป็นเฟสอัลฟา อนุภาคสีดำเป็นเฟสแคปปะ

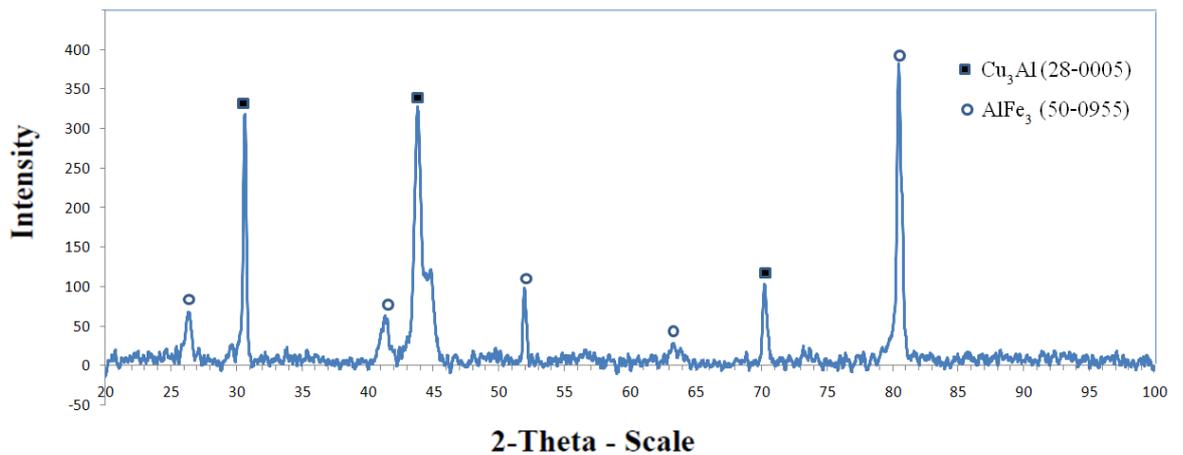
งานวิจัยของ Li และคณะ [11] รายงานว่าชิ้นงานส่วนผสม Cu-(13-16)Al-(2.0-4.5)Fe-(0.4-0.6)Ni-(1.0-1.5)Mn หล่อในแบบหล่อโลหะประกอบด้วยเฟสแกมมาสอง เฟสอัลฟา และเฟสแคปปะจากแผนภาพเฟสผสมของ Cu-Al-5Fe-5Ni เฟสที่เกิดคือเฟสอัลฟา เฟสเดลตา และเฟสแคปปะ แต่จากงานวิจัยของ Frank [26] แผนภาพผสมของ Cu-Al-5Fe-5Ni เฟสที่เกิดคือเฟสอัลฟา เฟสแกมมา และเฟสแคปปะ ดังแสดงในรูปที่ 4.24

งานวิจัยของ Daroonparvar [13] รายงานว่าชิ้นงานส่วนผสม Cu-11.5Al-4.4Fe-4.6Ni โครงสร้างจุลภาคงานหล่อด้วยแบบหล่อโลหะ มีโครงสร้างประกอบด้วยเฟสแคปปะที่มีธาตุหลักคือ นิกเกิล รวมตัวกับเหล็กและอะลูมิเนียม โดยมีเฟสพื้นเป็นเฟสอัลฟา

นอกจากนี้ ในการทดลองได้นำชิ้นงานหล่อของบรอนซ์อะลูมิเนียมที่มีส่วนผสม Cu-15Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn ไปศึกษารูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.25 พบว่า พิกัดตรงกับไฟล์ใน JCDPS Card หมายเลข 28-0005 เป็นเฟส Cu_3Al (Primitive Orthorhombic) คือ เฟสบีตา และหมายเลข 50-0955 เป็นเฟส $AlFe_3$ (Face Centred Cubic) คือเฟสแกมมา



รูปที่ 4.24 แผนภาพเฟสสมดุล 4 ชาติของทองแดง- อะลูมิเนียมไม่เกินร้อยละ 12 – เหล็กร้อยละ 5- นิกเกิลร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก [26]



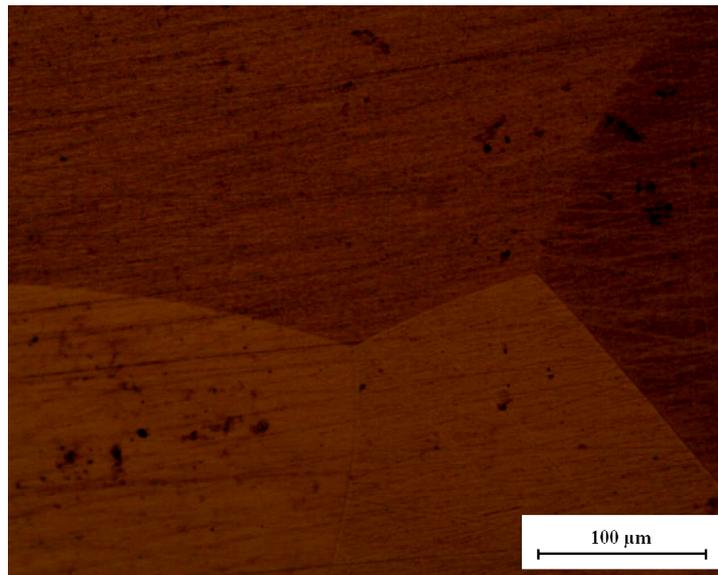
รูปที่ 4.25 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ในชิ้นงานหล่อส่วนผสม Cu-15Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn

4.4.2 โครงสร้างจุลภาคของงานหล่อหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อน

นำชิ้นหล่อส่วนผสม $\text{Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn}$ นำมาอบละลายเฟสที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา ประมาณ 1 ชั่วโมง (ก) เย็นตัวในไนโตรเจนเหลว (ข) เย็นตัวในน้ำ (ค) เย็นตัวในอากาศ และ (ง) เย็นตัวในเตา ผลการทดลองจะบรรยายไปตามลำดับ

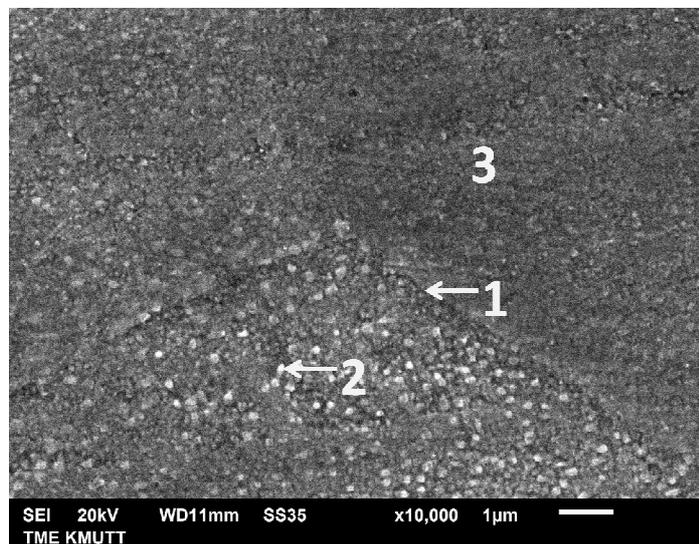
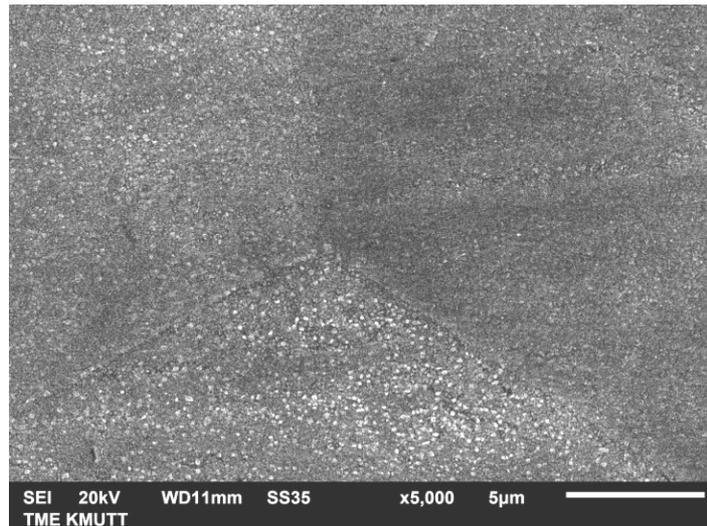
(ก) สถานะการเย็นตัวในไนโตรเจนเหลว

โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อส่วนผสม $\text{Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn}$ หลังอบละลายเฟสที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นตัวในไนโตรเจนเหลว ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง แสดงในรูปที่ 4.26 มีลักษณะโครงสร้าง เกิดเป็นเกรนกลมที่เรียกว่า Equiaxed Grains ขนาดใหญ่



รูปที่ 4.26 โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานหล่อส่วนผสม $\text{Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn}$ เย็นตัวในไนโตรเจนเหลว

เมื่อนำชิ้นงานไปถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดแสดงในรูปที่ 4.27 ที่กำลังขยายสูงขึ้นเกิดเฟสขนาดเล็กมากรูปร่างกลม เนื่องจากอัตราการเย็นตัวอย่างรวดเร็วส่งผลทำให้เวลาในการเปลี่ยนแปลงเฟสน้อย ผลการวิเคราะห์ธาตุ 3 บริเวณ ดังแสดงในตารางที่ 4.13 (สเปกตรัมของชิ้นงานแสดงในภาคผนวก ก. รูปที่ ก.1)



รูปที่ 4.27 โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานหล่อส่วนผสม $\text{Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn}$
เย็นตัวในไนโตรเจนเหลวถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ธาตุบนชิ้นงานหล่อส่วนผสม Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn
หลังอบที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เย็นตัวลงในโตรเจนเหลว

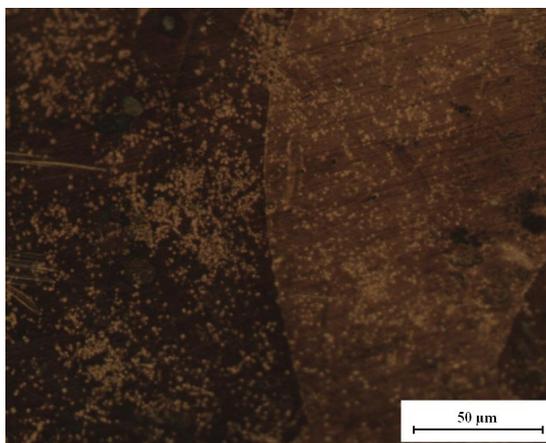
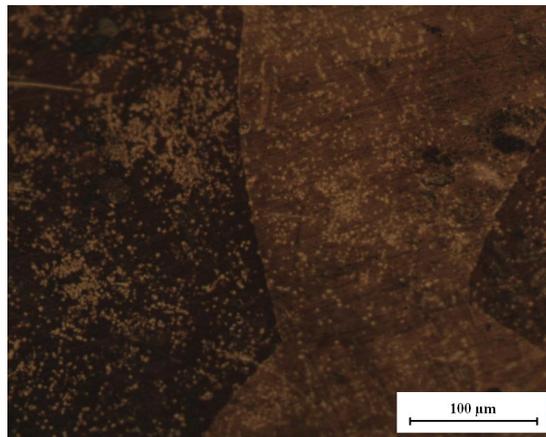
ธาตุที่วิเคราะห์ได้	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
	บริเวณที่ 1	บริเวณที่ 2	บริเวณที่ 3
Cu	76.84	76.72	76.75
Al	13.88	14.04	14.05
Fe	4.72	4.66	4.68
Ni	4.56	4.58	4.52
Mn	0.00	0.00	0.00

พบว่าทั้ง 3 บริเวณมีส่วนผสมทางเคมีใกล้เคียงกัน มีปริมาณอะลูมิเนียมประมาณร้อยละ 13.88-14.05 โดยน้ำหนัก ทำนองเดียวกับปริมาณเหล็กและนิกเกิลมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนแมงกานีสที่ไม่พบจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปริมาณของแมงกานีสที่มีปริมาณน้อยในส่วนผสม แสดงให้เห็นว่าอัตราการเย็นตัวที่เร็วส่งผลทำให้ส่วนผสมทางเคมีสม่ำเสมอ

เป็นที่น่าสังเกตว่าโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานส่วนผสมนี้ที่ได้จากการหล่อ มีลักษณะใกล้เคียงกับโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านการอบละลายที่ อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วในไนโตรเจนเหลว

(จ) สถานะการเย็นตัวในน้ำ

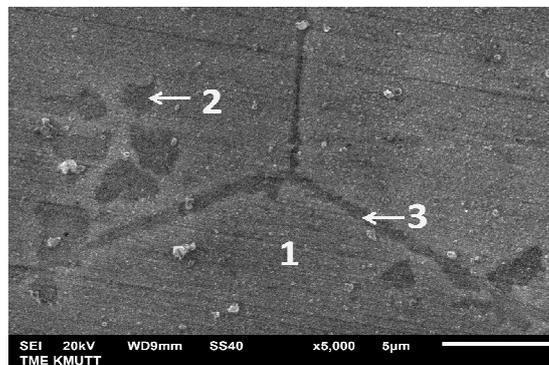
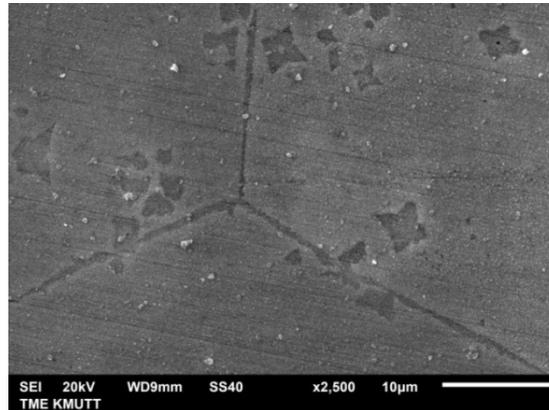
โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อส่วนผสม Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn หลังอบละลายเฟสที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นตัวในน้ำ ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงแสดงในรูปที่ 4.28 มีลักษณะโครงสร้างเป็นเกรนขนาดใหญ่ และมีเม็ดสีขาวขนาดเล็กกระจายอยู่ภายในเฟส



รูปที่ 4.28 โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานหล่อส่วนผสม Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn เย็นตัวในน้ำ

เมื่อนำชิ้นงานไปถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวดแสดงในรูปที่ 4.29 เห็นอนุภาคสี่เหลี่ยมรูปร่างคล้ายดาวสี่แฉกจำนวนมากกระจายบนเฟสพื้น ผลการวิเคราะห์ธาตุ 3 บริเวณ

ดังแสดงในตารางที่ 4.14 (สเปกตรัมของชิ้นงานแสดงในภาคผนวก ก. รูปที่ ก.11)



รูปที่ 4.29 โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานหล่อส่วนผสม Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn
เย็นตัวในน้ำถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

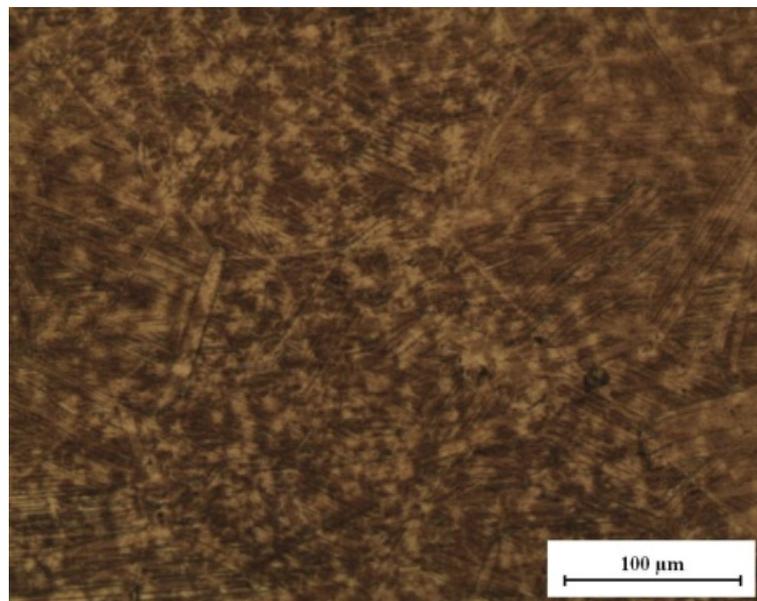
ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ธาตุบนชิ้นงานหล่อส่วนผสม Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn
หลังอบที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เย็นตัวน้ำ

ธาตุที่วิเคราะห์ได้	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
	บริเวณที่ 1	บริเวณที่ 2	บริเวณที่ 3
Cu	75.92	74.05	75.32
Al	14.96	16.68	15.50
Fe	3.50	3.55	3.55
Ni	5.62	5.72	5.63
Mn	0.00	0.00	0.00

พบว่าบริเวณที่ 2 ซึ่งเป็นอนุภาคสีดำนี้อาจมีปริมาณอะลูมิเนียมสูงที่สุดที่ร้อยละ 16.68 โดยน้ำหนัก เหล็ก ร้อยละ 3.55 โดยน้ำหนัก และนิกเกิลร้อยละ 5.72 โดยน้ำหนัก และบริเวณที่ 1 เป็นโครงสร้างพื้นของ เฟสบีตาที่มีปริมาณอะลูมิเนียมน้อยที่สุดที่ร้อยละ 14.96 โดยน้ำหนัก เหล็กร้อยละ 3.50 โดยน้ำหนัก และนิกเกิลร้อยละ 5.62 โดยน้ำหนัก ส่วนแมงกานีสที่ไม่พบจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ ทั้งนี้อาจ เป็นผลมาจากปริมาณของแมงกานีสที่มีปริมาณน้อยในส่วนผสม เนื่องจากอัตราการเย็นตัวที่ช้ากว่า การเย็นในไนโตรเจนเหลว ส่งผลทำให้เกิดเฟสแคบปะขนาดใหญ่ขึ้น

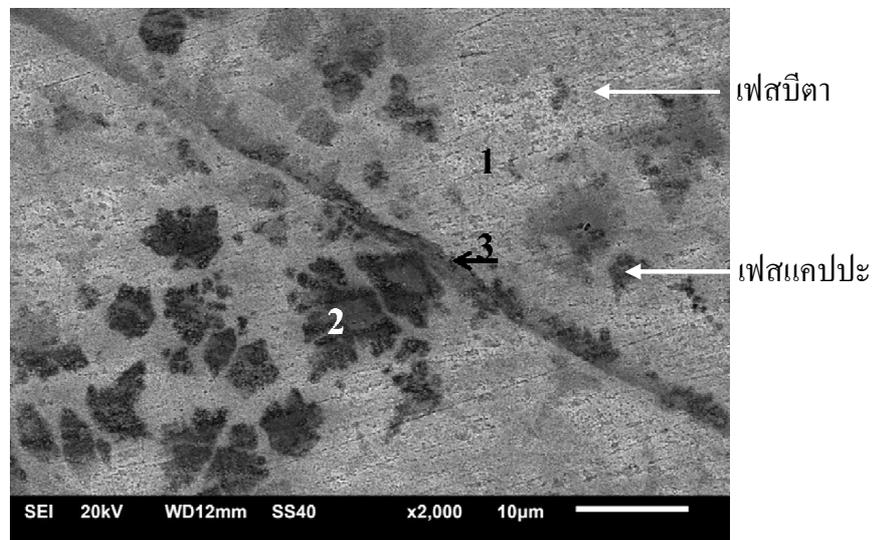
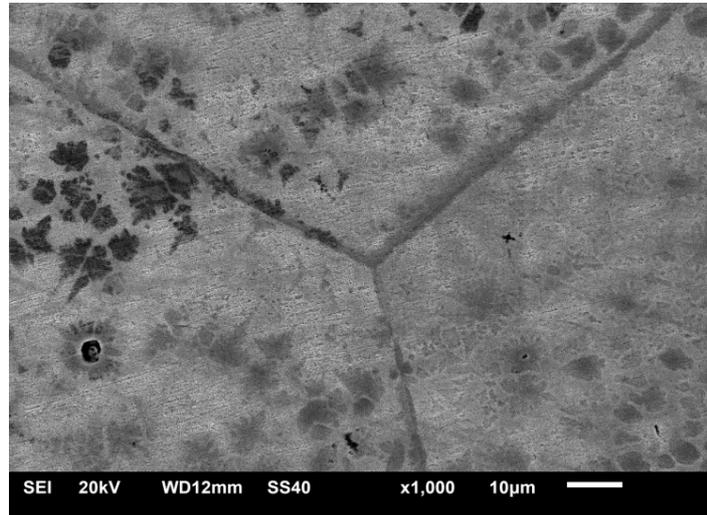
(ค) สภาพการเย็นตัวในอากาศ

โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อส่วนผสม Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn หลังอบละลายเฟสที่ อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นตัวในอากาศ ถ่ายด้วยกล้อง จุลทรรศน์แสงแสดงในรูปที่ 4.30 มีลักษณะโครงสร้างเป็นเม็ดสีขาวกระจายอยู่ทั่วไป และเม็ดสีขาวมี ขนาดที่ใหญ่ขึ้นกว่าที่พบในชิ้นงานที่ทำให้เย็นตัวในน้ำ



รูปที่ 4.30 โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานหล่อส่วนผสม Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn เย็นตัวในอากาศ

เมื่อนำชิ้นงานไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดแสดงในรูปที่ 4.31 เห็นอนุภาคลีเทารูปร่างค่อนข้างกลมกระจายอยู่ภายในเฟส ผลการวิเคราะห์ธาตุ 3 บริเวณดังแสดงในตารางที่ 4.15 (สเปกตรัมของชิ้นงานแสดงในภาคผนวก ก. รูปที่ ก.12)



รูปที่ 4.31 โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานหล่อส่วนผสม $\text{Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn}$
 ยื่นตัวในอากาศถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

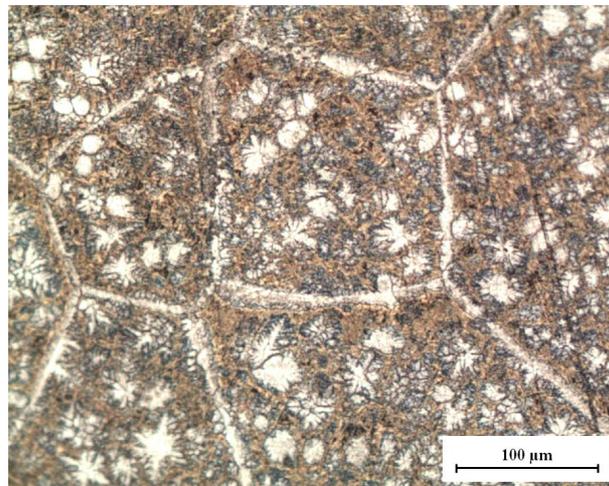
ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ธาตุบนชิ้นงานหล่อส่วนผสม Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn
หลังอบที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เย็นตัวอากาศ

ธาตุที่วิเคราะห์ได้	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)		
	บริเวณที่ 1	บริเวณที่ 2	บริเวณที่ 3
Cu	76.30	73.96	75.07
Al	14.59	16.95	15.68
Fe	3.50	3.39	3.67
Ni	5.61	5.70	5.58
Mn	0.00	0.00	0.00

พบว่าบริเวณที่ 2 มีปริมาณอะลูมิเนียมสูงที่สุดที่ร้อยละ 16.95 โดยน้ำหนัก เหล็กร้อยละ 3.39 โดยน้ำหนัก และนิกเกิลร้อยละ 5.70 โดยน้ำหนัก และบริเวณที่ 1 มีปริมาณอะลูมิเนียมน้อยที่สุดที่ร้อยละ 14.59 โดยน้ำหนัก เหล็กร้อยละ 3.50 โดยน้ำหนัก และนิกเกิลร้อยละ 5.61 โดยน้ำหนัก ส่วนแมงกานีสที่ไม่พบจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปริมาณของแมงกานีสที่มีปริมาณน้อยในส่วนผสม เนื่องจากอัตราการเย็นตัวที่ช้าส่งผลให้ธาตุมีการแพร่แล้วเกิดเป็นอนุภาคขนาดเล็กขึ้น

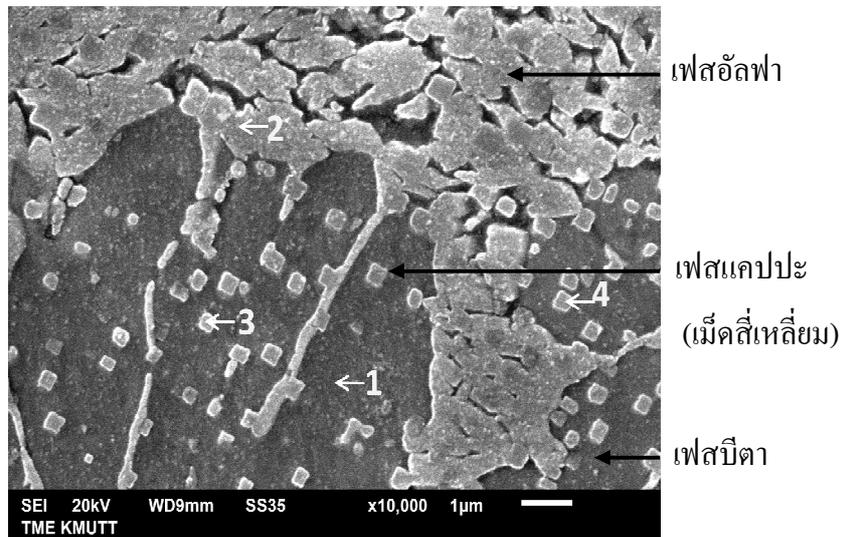
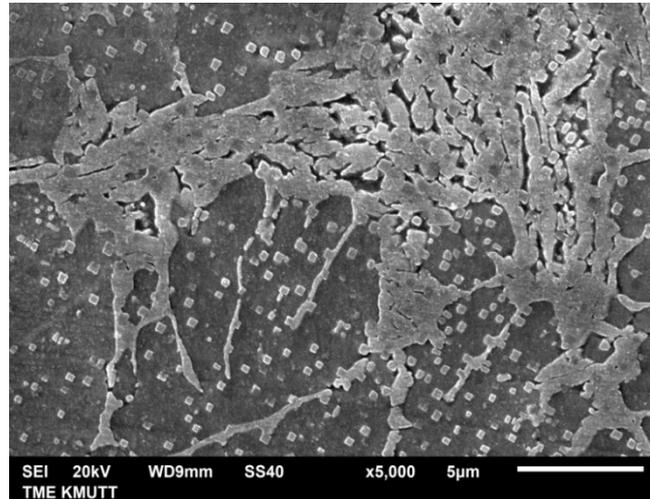
(ง) สถานะการเย็นตัวในเตา

โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อส่วนผสม Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn หลังอบละลายเฟสที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นตัวในเตา ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงแสดงในรูปที่ 4.32 มีลักษณะโครงสร้างเป็นเม็ดสีขาวกระจายอยู่ทั่วไป และเม็ดสีขาวมีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าที่พบในชิ้นงานที่ทำให้เย็นตัวในอากาศและในน้ำ



รูปที่ 4.32 โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานหล่อส่วนผสม Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn เย็นตัวในเตา

เมื่อนำชิ้นงานไปถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวดแสดงในรูปที่ 4.33 เห็นเม็ดสีขาว มีลักษณะเป็นเม็ดกลม ผลการวิเคราะห์ธาตุแสดงในตารางที่ 4.16 (สเปกตรัมแสดงในภาคผนวก ก. รูปที่ ก.13 – ก.14)



รูปที่ 4.33 โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานหล่อส่วนผสม $\text{Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn}$ เห็นตัวในเตาถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวด

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ธาตุบนชิ้นงานหล่อส่วนผสม Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn
หลังอบที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เย็นตัวในเตา

ธาตุที่วิเคราะห์ได้	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)			
	บริเวณที่ 1	บริเวณที่ 2	บริเวณที่ 3	บริเวณที่ 4
Cu	73.96	76.47	68.99	67.67
Al	15.80	12.86	18.47	18.33
Fe	3.57	3.46	6.15	6.60
Ni	6.67	6.79	6.39	7.40
Mn	0.00	0.42	0.00	0.00

พบว่าแต่ละบริเวณมีส่วนผสมทางเคมีที่แตกต่างกัน เนื่องจากอัตราการเย็นตัวที่ช้าส่งผลให้ธาตุมีการแพร่แล้วเกิดเป็นอนุภาคนาขนาดเล็กขึ้น โดยบริเวณที่ 3 และ 4 ที่เป็นอนุภาคเม็ดทรงสี่เหลี่ยมมีปริมาณอะลูมิเนียมอยู่มากที่สุดร้อยละ 18.33 – 18.47 โดยน้ำหนัก มีปริมาณเหล็กร้อยละ 6.15-6.60 โดยน้ำหนัก และมีปริมาณนิกเกิลร้อยละ 6.39 – 7.40 โดยน้ำหนัก และบริเวณที่ 2 มีปริมาณอะลูมิเนียมอยู่น้อยที่สุดร้อยละ 12.86 โดยน้ำหนัก มีเหล็กร้อยละ 3.46 โดยน้ำหนัก และนิกเกิลร้อยละ 6.79 โดยน้ำหนักบริเวณนี้พบแมงกานีสร้อยละ 0.42 โดยน้ำหนัก

4.4.3 ความแข็งของชิ้นงานหล่อหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อน

ความแข็งของชิ้นงานหล่อและชิ้นงานหล่อหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อน โดยอบละลายเฟสที่อุณหภูมิประมาณ 950 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง และเย็นตัวที่สภาวะแตกต่างกัน ใช้น้ำหนักกด 200 กรัม แสดงดังตารางที่ 4.17 ชิ้นงานหล่อมีความแข็งเฉลี่ย 409 วิกเกอร์ สำหรับชิ้นงานที่เย็นตัวในไนโตรเจนเหลวมีค่าความแข็งเฉลี่ย 370 วิกเกอร์ มีค่าต่ำกว่างานหล่อ สำหรับชิ้นงานที่เย็นตัวในน้ำมีค่าความแข็งเฉลี่ย 413 วิกเกอร์ ซึ่งมีค่าสูงกว่าชิ้นงานที่เย็นตัวในอากาศ และในเตา ซึ่งมีค่าความแข็งเฉลี่ย 391 และ 359 วิกเกอร์ตามลำดับ เนื่องจากชิ้นงานที่เย็นตัวในอากาศ และในเตา มีอัตราการเย็นตัวที่ช้ากว่าเย็นในน้ำ ทำให้ธาตุสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสได้

จากโครงสร้างจุลภาคเห็นได้ชัดเจนว่าโครงสร้างชิ้นงานที่เย็นในอากาศ และเย็นในเตาเกิดเฟสแคบปะที่รูปร่าง และขนาดแตกต่างกัน ไม่สามารถบอกส่วนผสมได้ว่าเป็นสูตรอะไรที่แน่นอน อย่างไรก็ตาม จากผลการวิเคราะห์ธาตุในชิ้นงานที่เย็นตัวช้าสุด (ในเตา) บริเวณที่ 1 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีอนุภาคสีขาวขนาดเล็กเม็ดกลมมนกระจายตัวในปริมาณสูงกว่าบริเวณอื่น มีธาตุเหล็กสูงร้อยละ 3.62 โดยน้ำหนักมีอะลูมิเนียมร้อยละ 12.91 โดยน้ำหนัก ซึ่งต่ำกว่าบริเวณอื่น จึงเป็นไปได้ว่าการเกิดอนุภาคเหล่านี้มีผลทำให้ความแข็งโดยรวมของชิ้นงานลดลง เนื่องจากอนุภาคที่เกิดขึ้นไปดึงปริมาณของอะลูมิเนียม निकเกิด และเหล็กจากโครงสร้างพื้นออกมา นอกจากนี้ยังเป็นไปได้ว่าความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างของอนุภาคนี้กับโครงสร้างพื้นลดลง จึงทำให้ความแข็งลดลง

ตารางที่ 4.17 ความแข็งของชิ้นงานหล่อส่วนผสม Cu-15.0Al-4.3Fe-4.2Ni-0.1Mn

หลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อน

สภาวะของชิ้นงาน	ลักษณะโครงสร้าง	ค่าความแข็งเฉลี่ย (วิกเกอร์)
ชิ้นงานหล่อ	เฟสบีตา และเฟสแคบปะเม็ดสี่เหลี่ยม	409
เย็นตัวในไนโตรเจนเหลว	เฟสบีตาและเฟสแคบปะเม็ดสี่เหลี่ยม	370
เย็นตัวในน้ำ	เฟสบีตา และเฟสแคบปะเม็ดกลมและเม็ดสี่เหลี่ยม	413
เย็นตัวในอากาศ	เฟสบีตา และเฟสแคบปะรูปร่างหลากหลาย	391
เย็นตัวในเตา	เฟสบีตา เฟสอัลฟา และเฟสแคบปะเม็ดสี่เหลี่ยม	359

