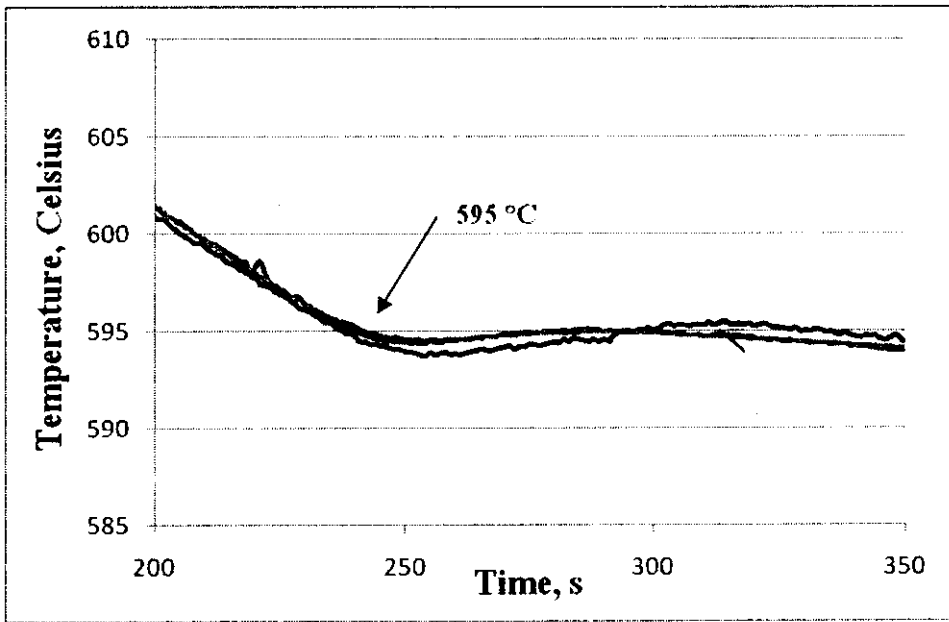


บทที่ 3

ผลการทดลอง

3.1 การศึกษาและทดลองหาอุณหภูมิของของเหลว (Liquidus temperature, T_L) ของอะลูมิเนียมผสม ADC10

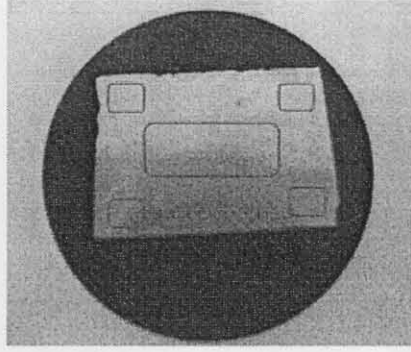
ผลของอัตราการเย็นตัวของอะลูมิเนียมผสมจาก 3 การทดลองแสดงดังรูปที่ 3-1 พบว่าที่อุณหภูมิ 595.0°C เป็นอุณหภูมิของของเหลว (Liquidus temperature, T_L)



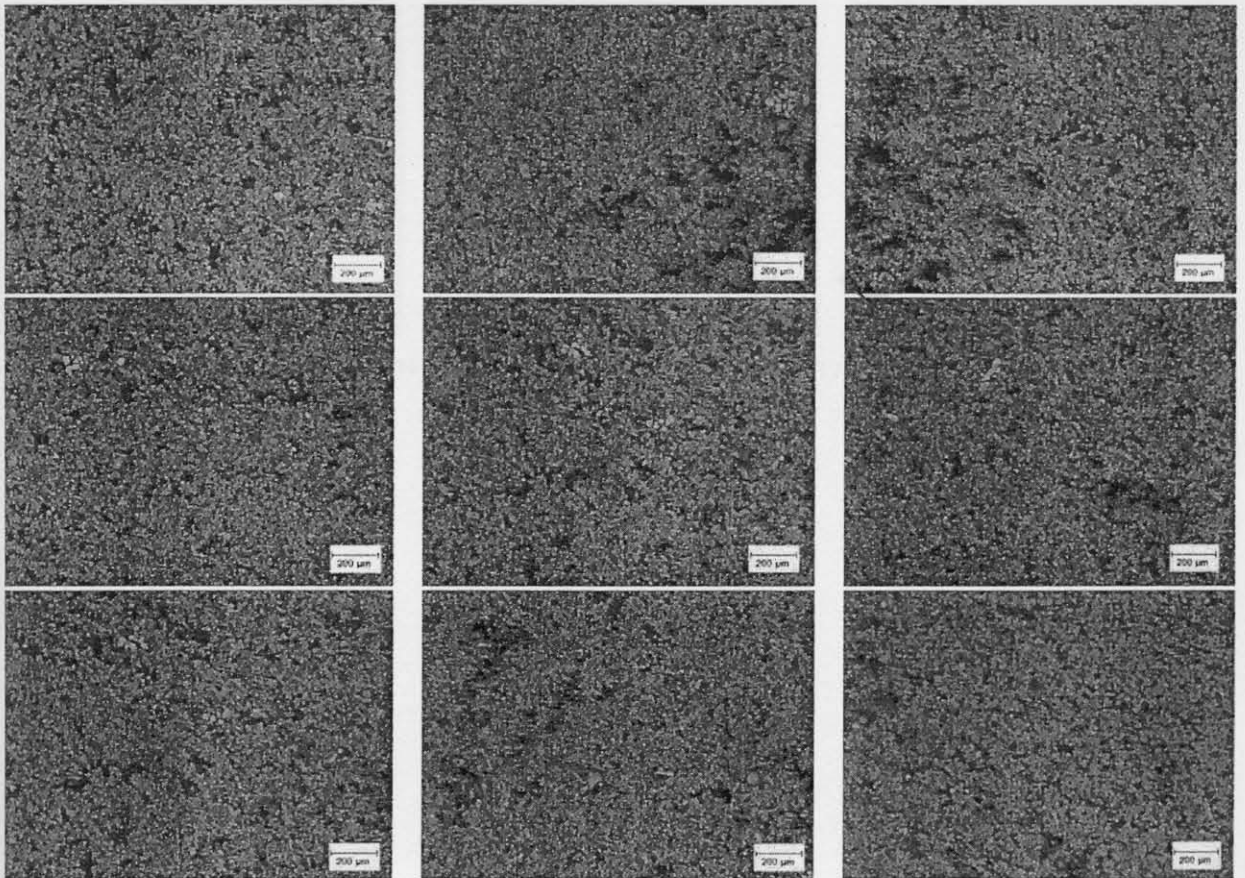
รูปที่ 3-1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่เปลี่ยนไปของอะลูมิเนียม ADC10

3.2 การศึกษาสัดส่วนของแข็ง (Solid fraction, f_s)

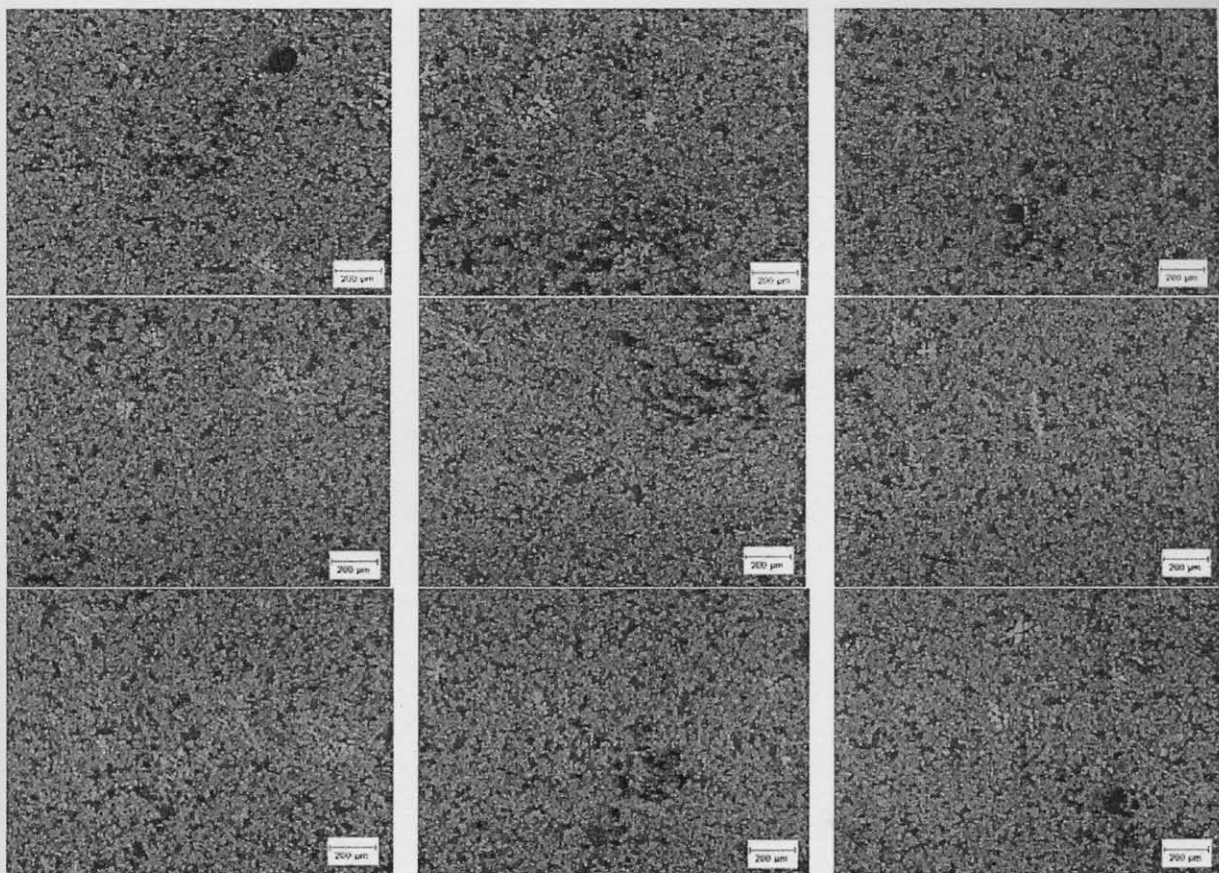
ในขั้นตอนนี้เราจะพิจารณาค่าสัดส่วนของแข็ง (Solid fraction, f_s) โดยนำภาพตัวอย่างของโครงสร้างจุลภาคที่เวลาในการปล่อยแก๊สต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ (3-3) – (3-8) มาปรับระดับสีและแยกเฟสของของแข็งให้ชัดเจน โดยใช้คำสั่ง Threshold ของโปรแกรม Photoshop ซึ่งผลการวิเคราะห์รูปภาพ (Image Analysis) แสดงในรูป (3-9) – (3-14) จากนั้นใช้โปรแกรม Image Tool นับพื้นที่ที่เป็นเฟสของของแข็งเทียบกับพื้นที่ทั้งหมด



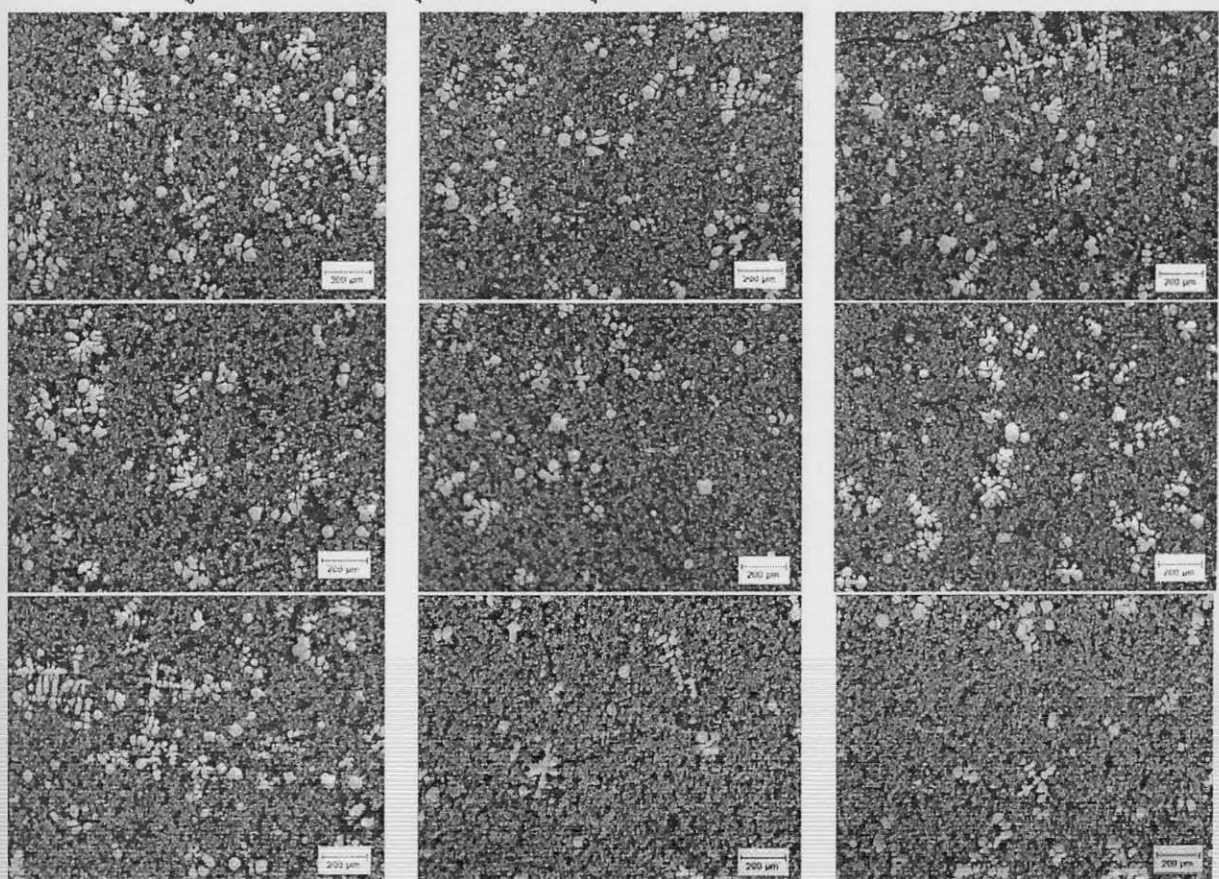
รูปที่ 3-2 บริเวณที่ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน



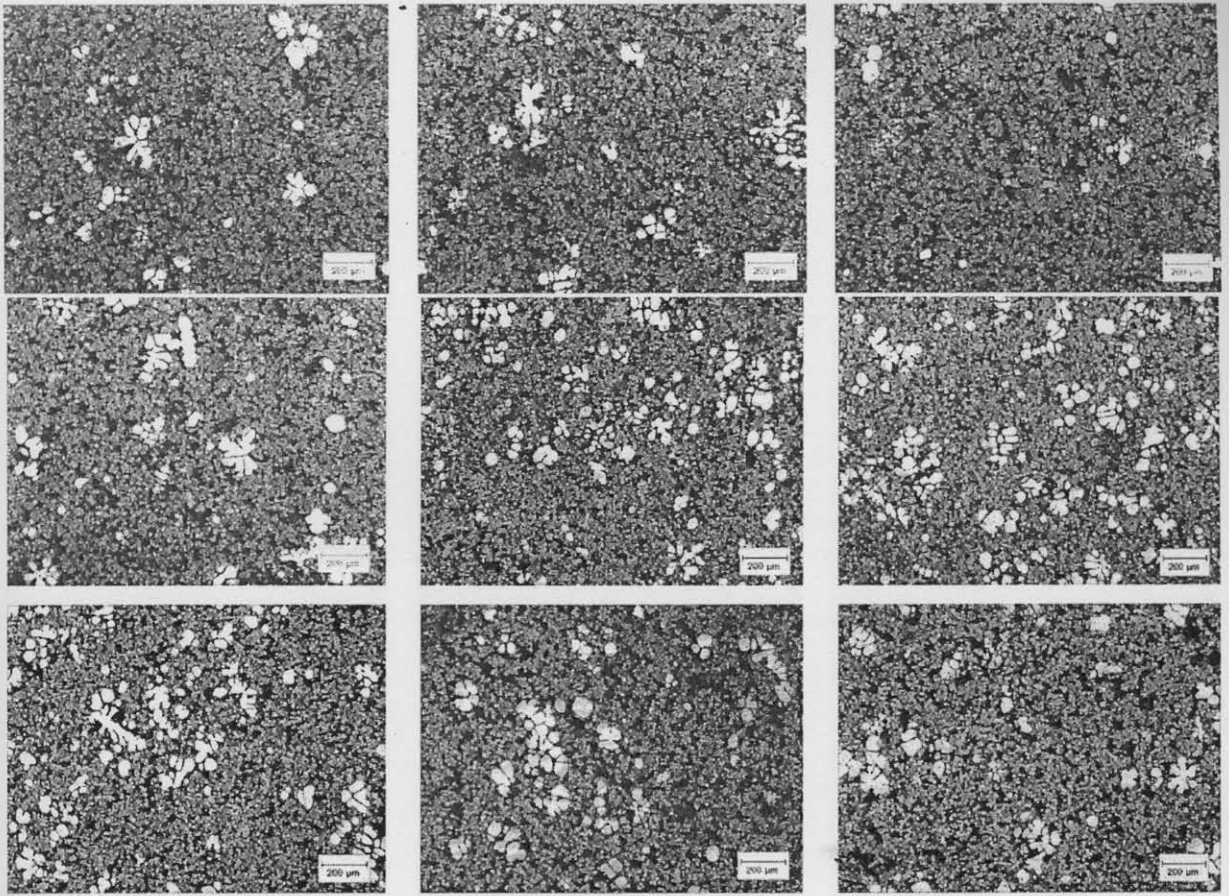
รูปที่ 3-3 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราฟไฟต์เป็นเวลา 15 วินาที (50x)



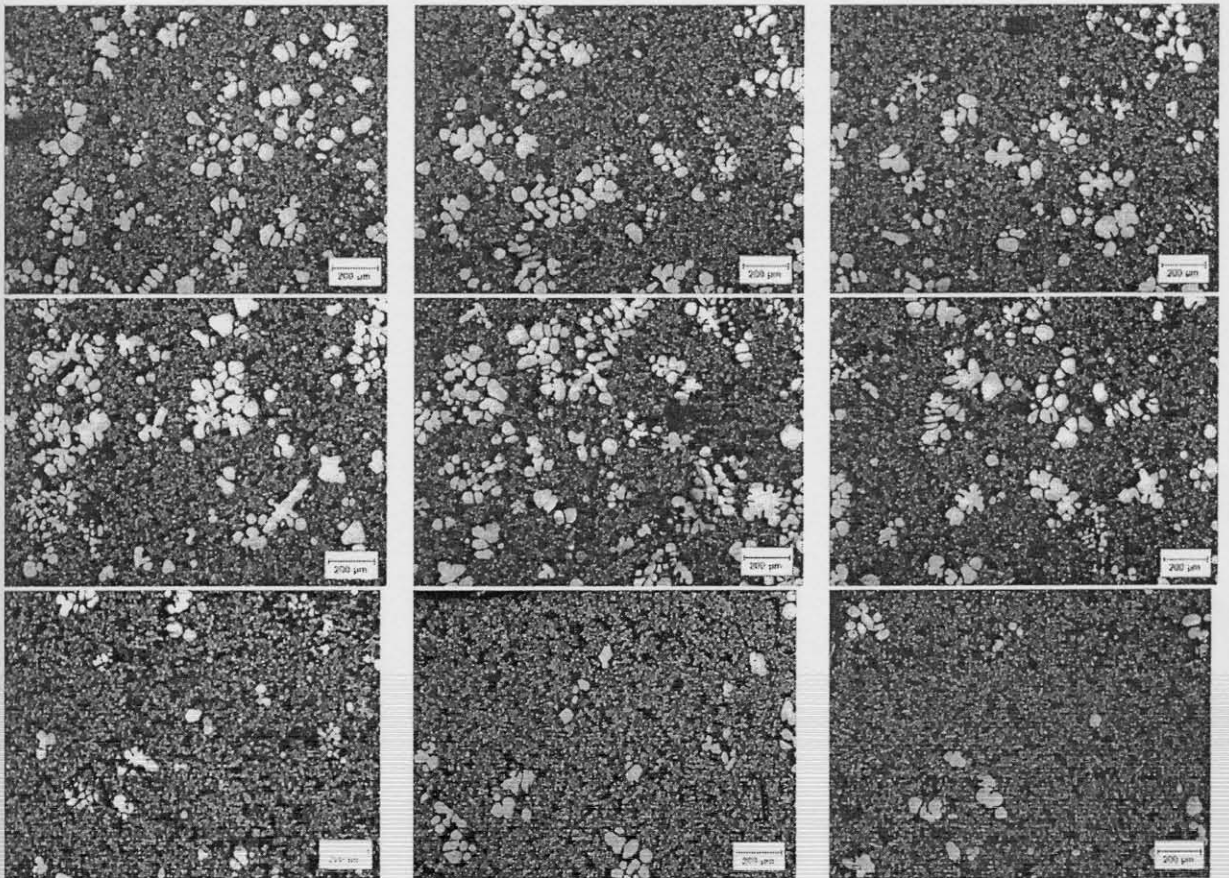
รูปที่ 3-4 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราไฟต์เป็นเวลา 17 วินาที (50x)



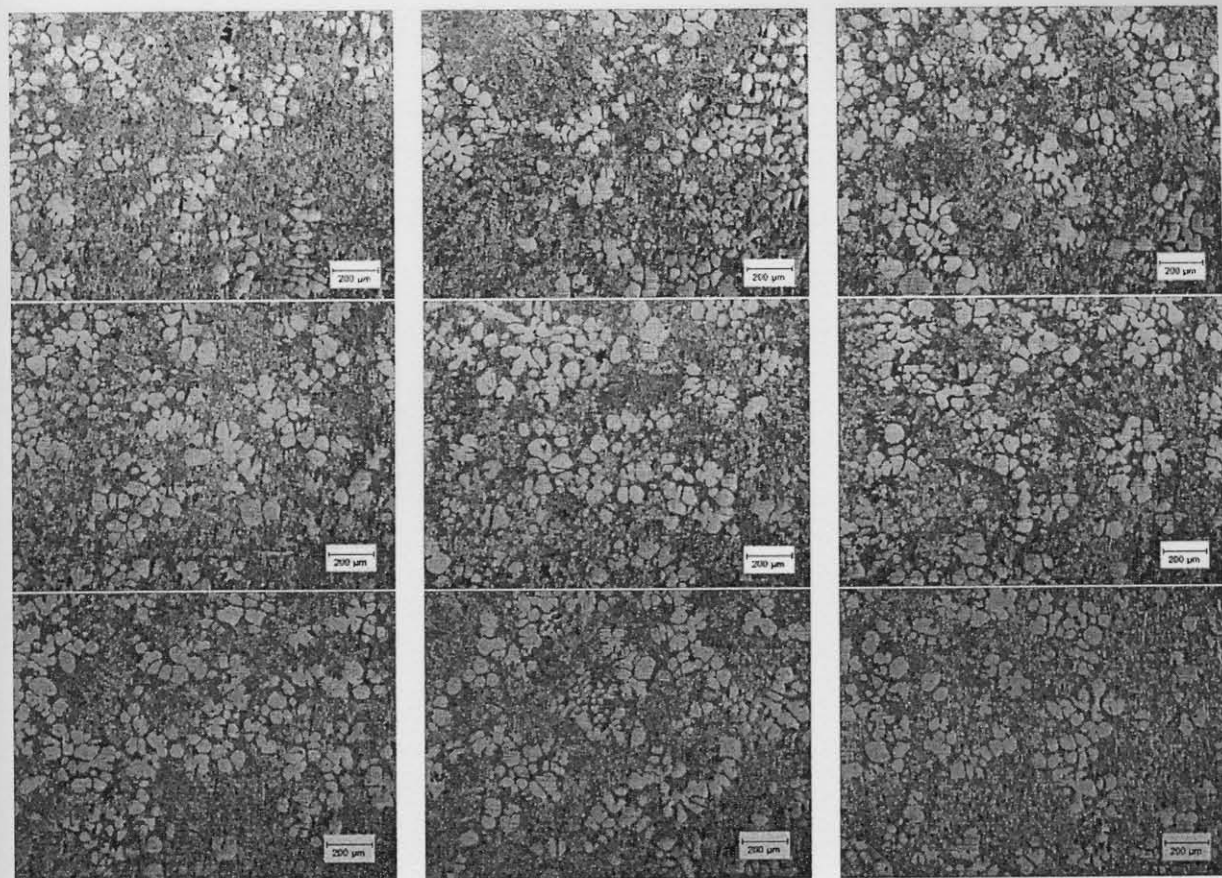
รูปที่ 3-5 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราไฟต์เป็นเวลา 20 วินาที (50x)



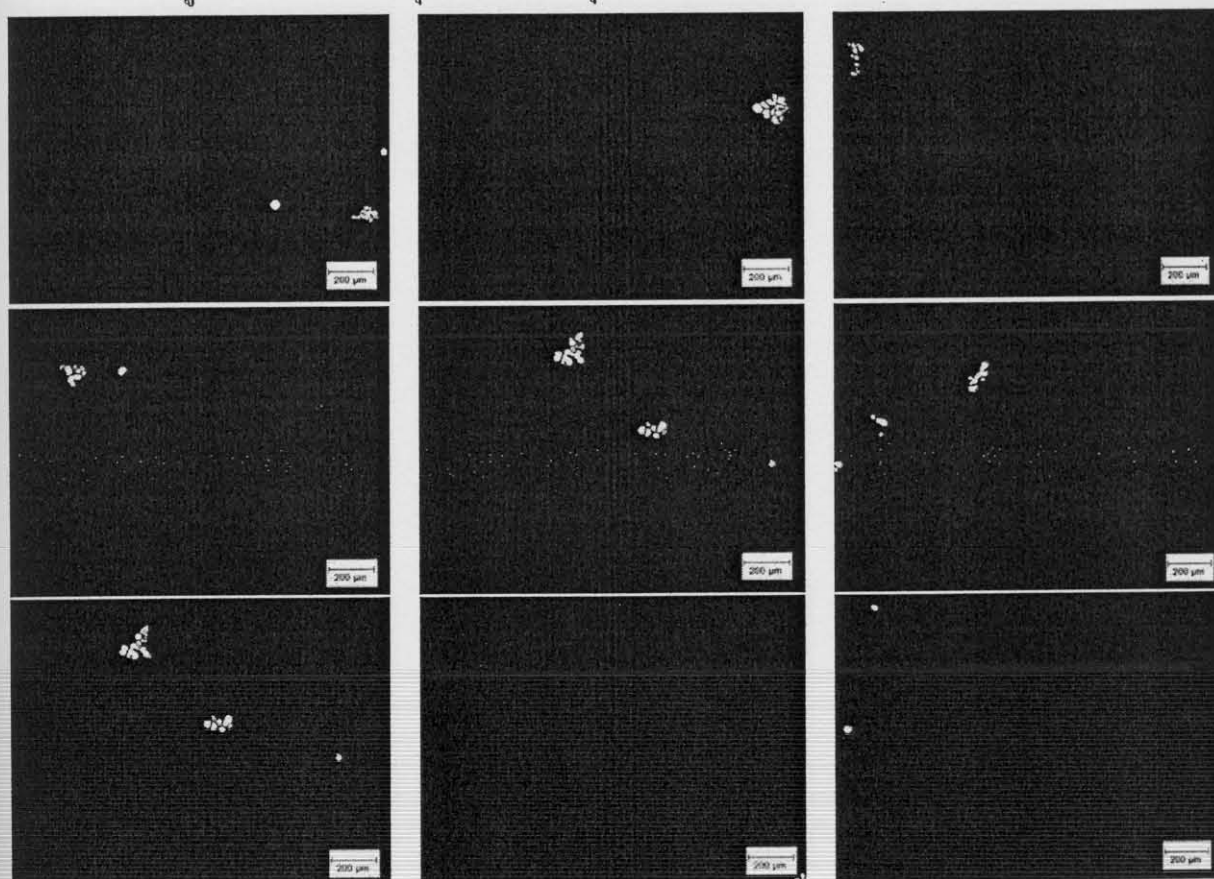
รูปที่ 3-6 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราฟไฟต์เป็นเวลา 28 วินาที (50x)



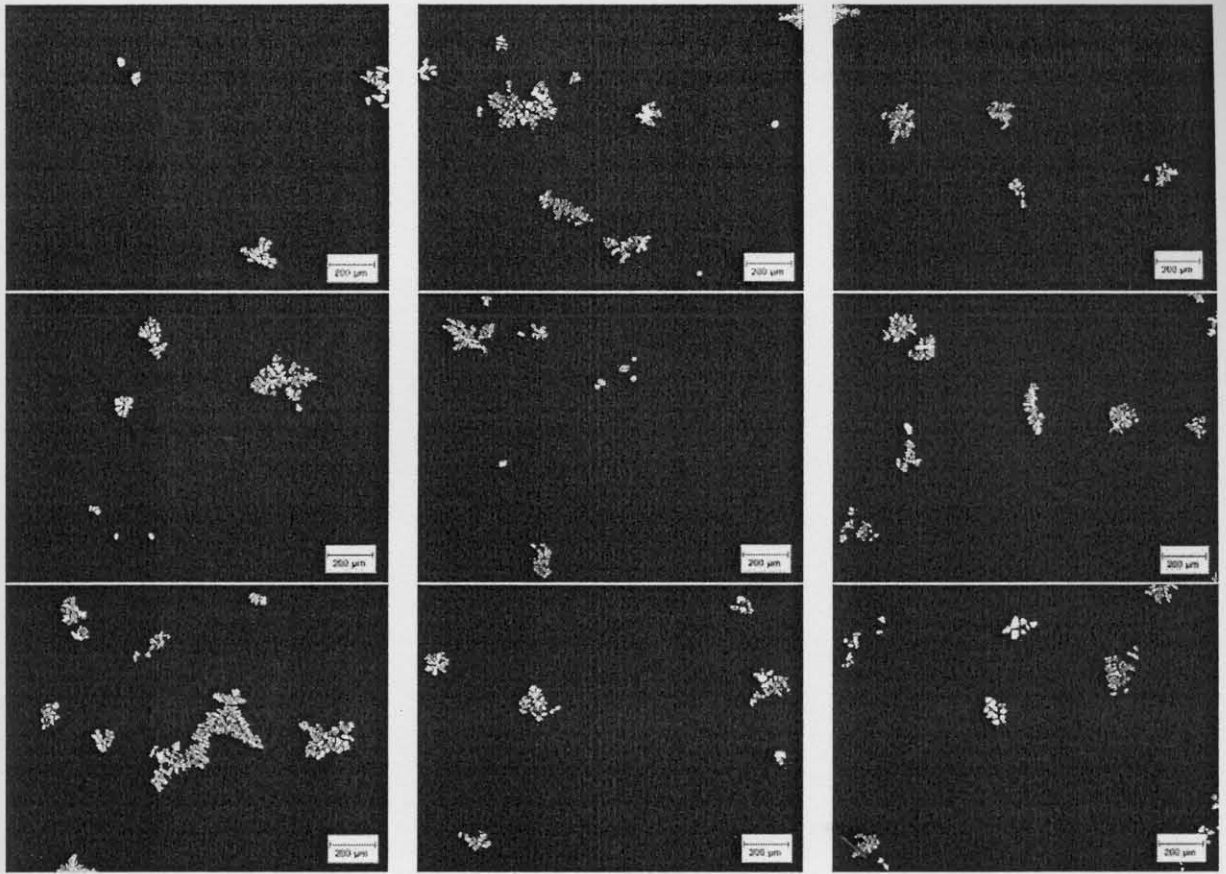
รูปที่ 3-7 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราฟไฟต์เป็นเวลา 60 วินาที (50x)



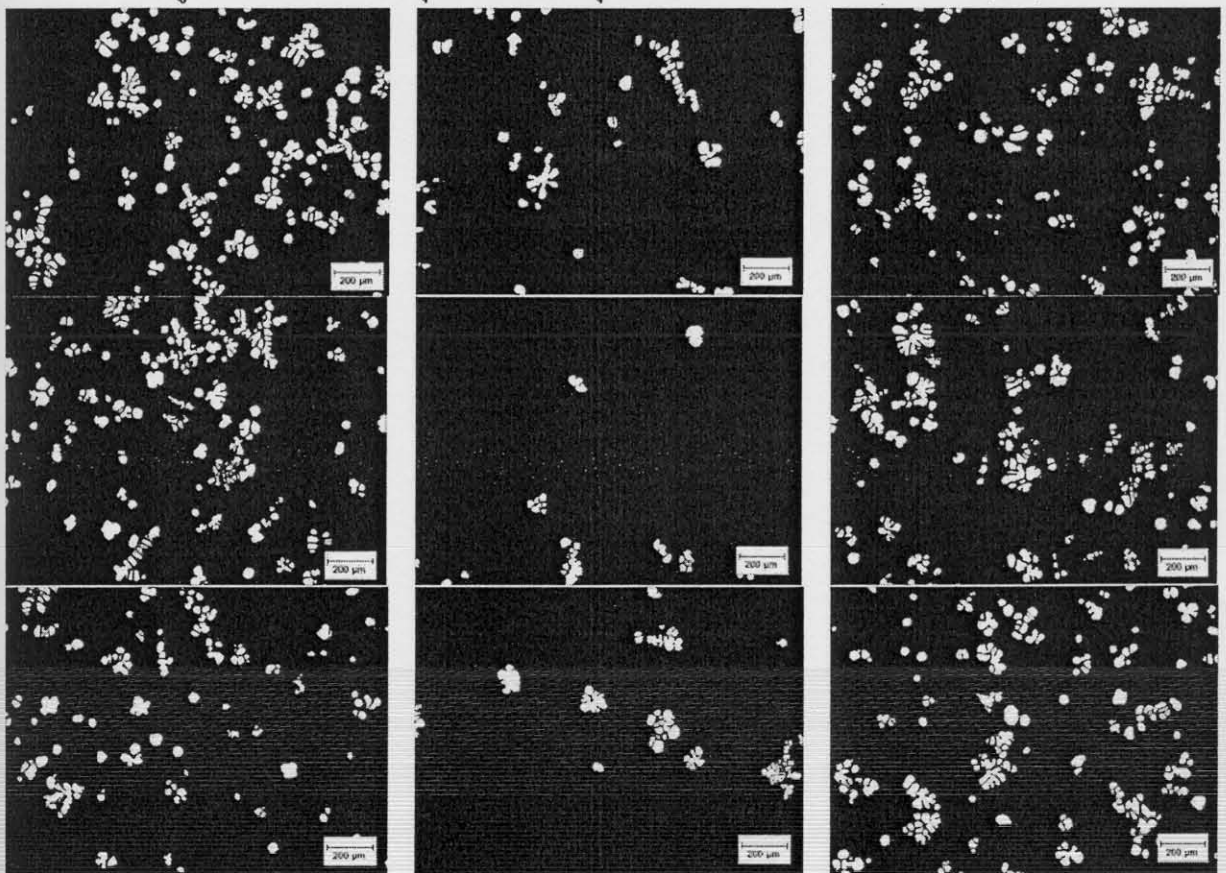
รูปที่ 3-8 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราไฟต์เป็นเวลา 90 วินาที (50x)



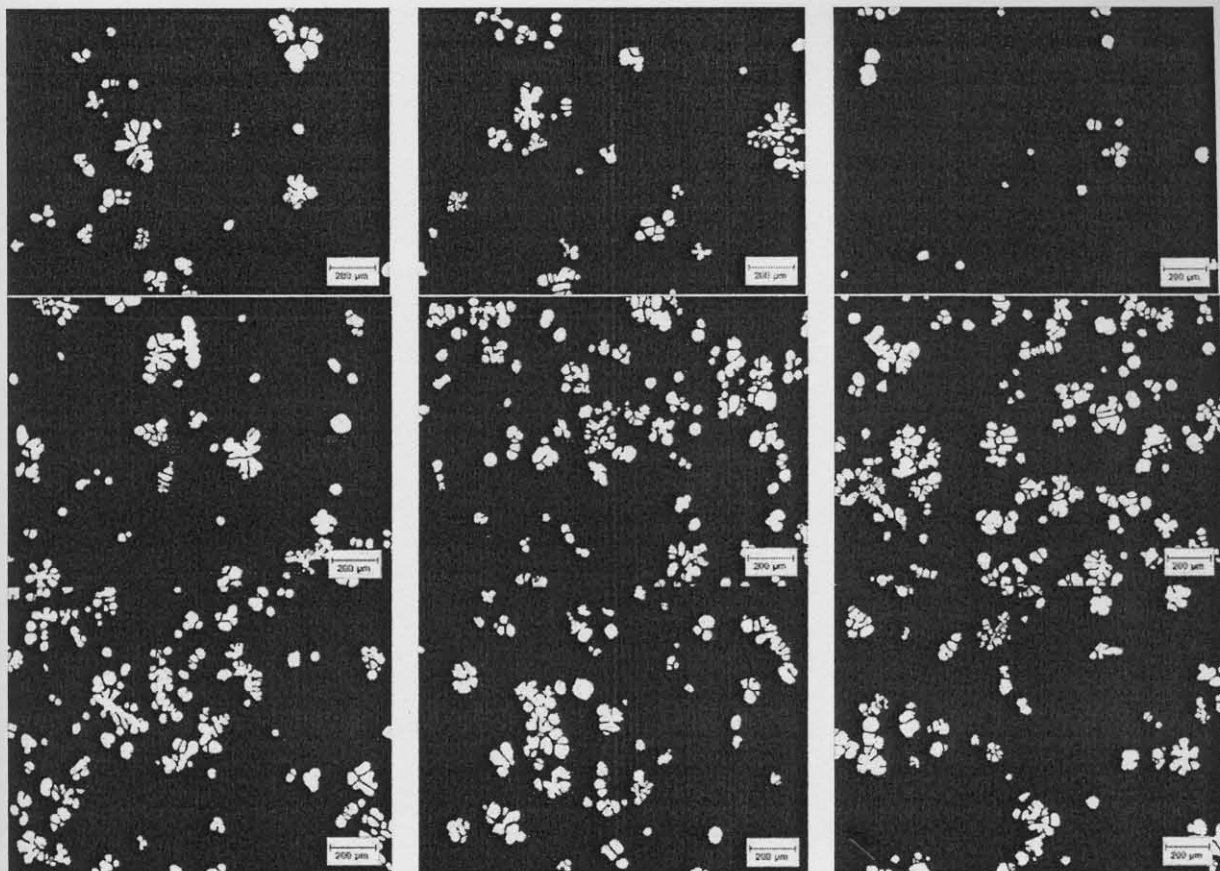
รูปที่ 3-9 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราไฟต์เป็นเวลา 15 วินาที (50x)



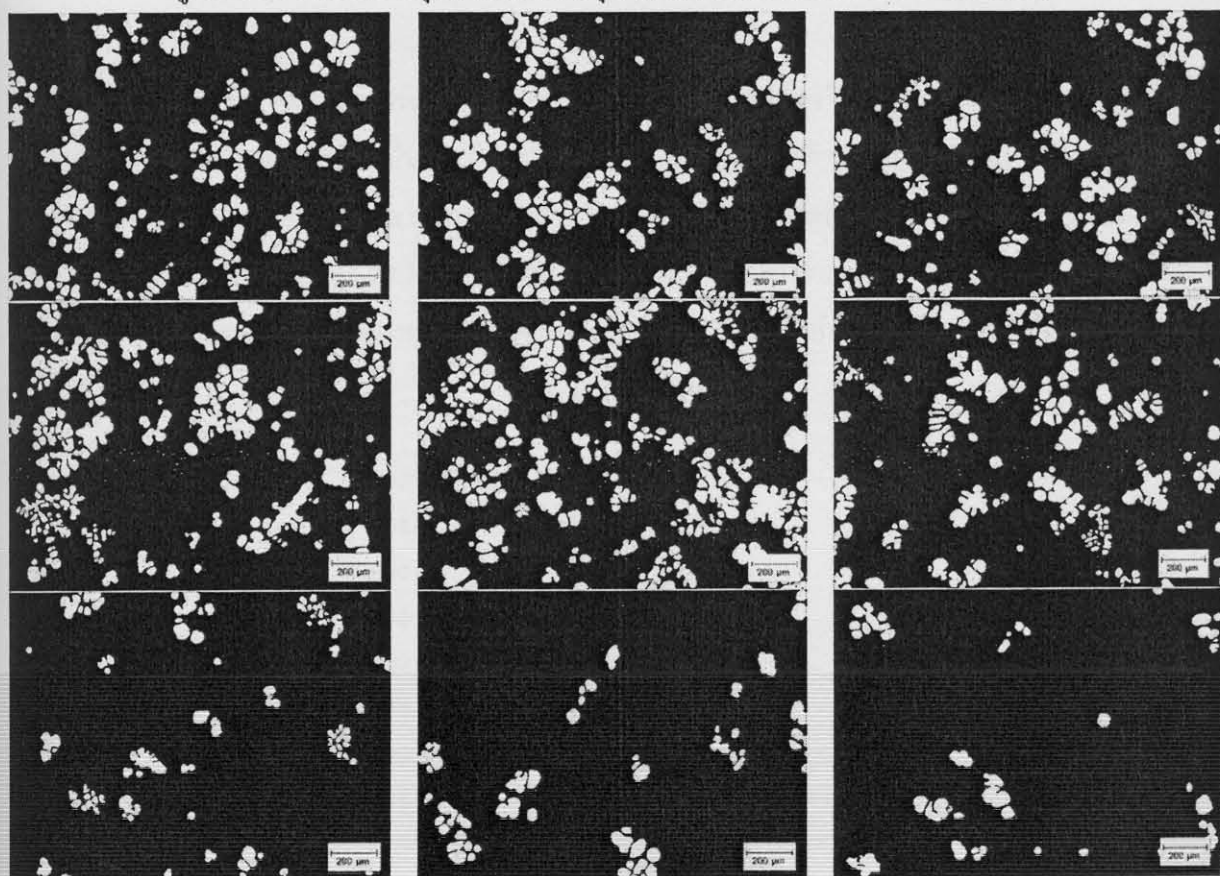
รูปที่ 3-10 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราไฟต์เป็นเวลา 17 วินาที (50x)



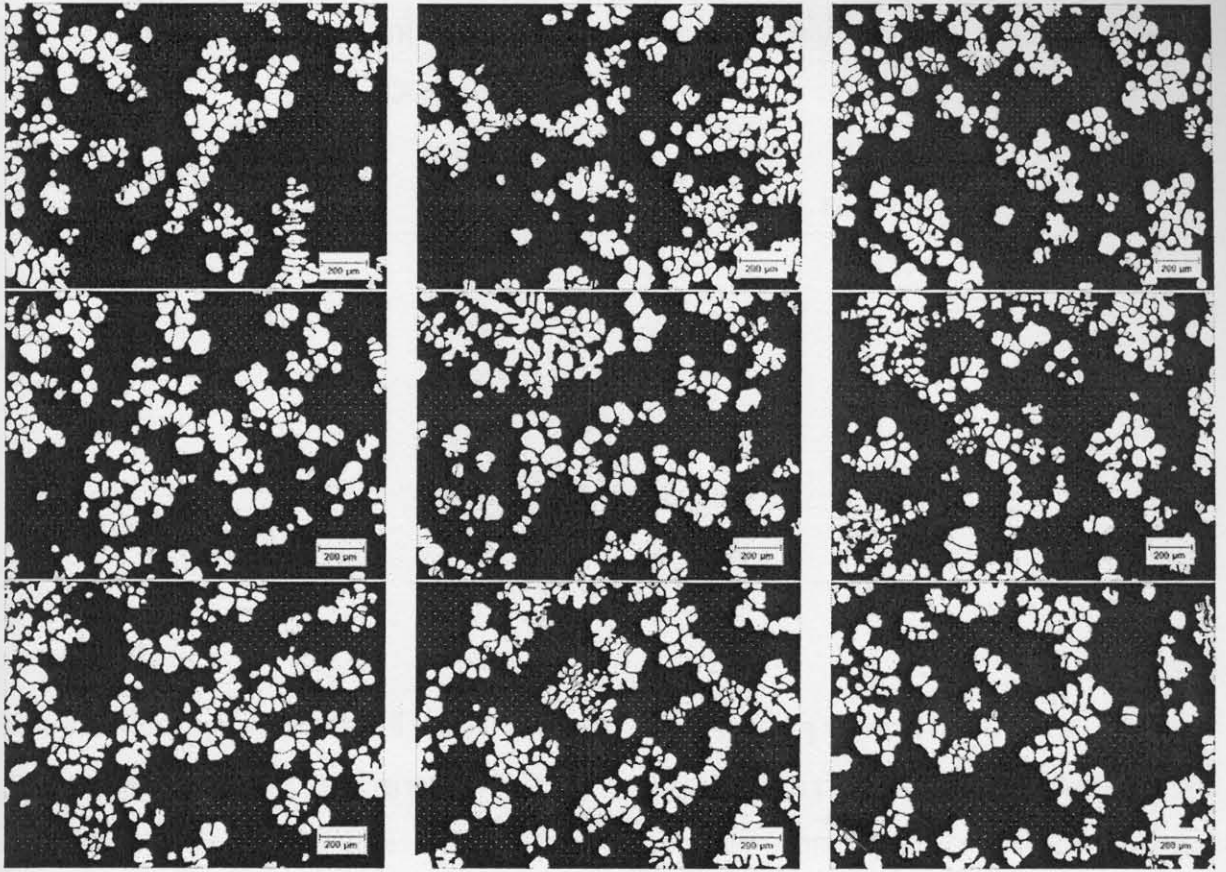
รูปที่ 3-11 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราไฟต์เป็นเวลา 20 วินาที (50x)



รูปที่ 3-12 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราฟไต์เป็นเวลา 28 วินาที (50x)

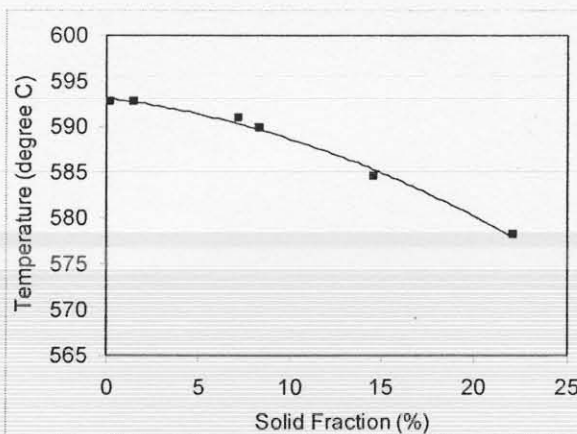


รูปที่ 3-13 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราฟไต์เป็นเวลา 60 วินาที (50x)



รูปที่ 3-14 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราไฟต์เป็นเวลา 90 วินาที (50x)

ในการวิเคราะห์อุณหภูมิพบว่าหลังจากที่เริ่มจุ่มแท่งกราไฟต์ลงไปที่อุณหภูมิ 600°C แล้วปล่อยให้ฟองก๊าซเล็กๆ ไหลลงสู่น้ำโลหะเป็นเวลา 15 17 20 28 60 และ 90 วินาที อุณหภูมิจะลดลงเหลือ 592.8 592.7 590.9 589.9 584.5 และ 578.2°C ตามลำดับ และผลจากการวิเคราะห์สัดส่วนของแข็งได้สัดส่วนของแข็งคือ 0.20 1.50 7.20 8.37 14.56 และ 22.10 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการปล่อยฟองแก๊สลงไปใต้น้ำโลหะจะทำให้อุณหภูมิของน้ำโลหะลดลงและเป็นผลให้สัดส่วนของแข็งเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3-15 และ ตารางที่ 3-1



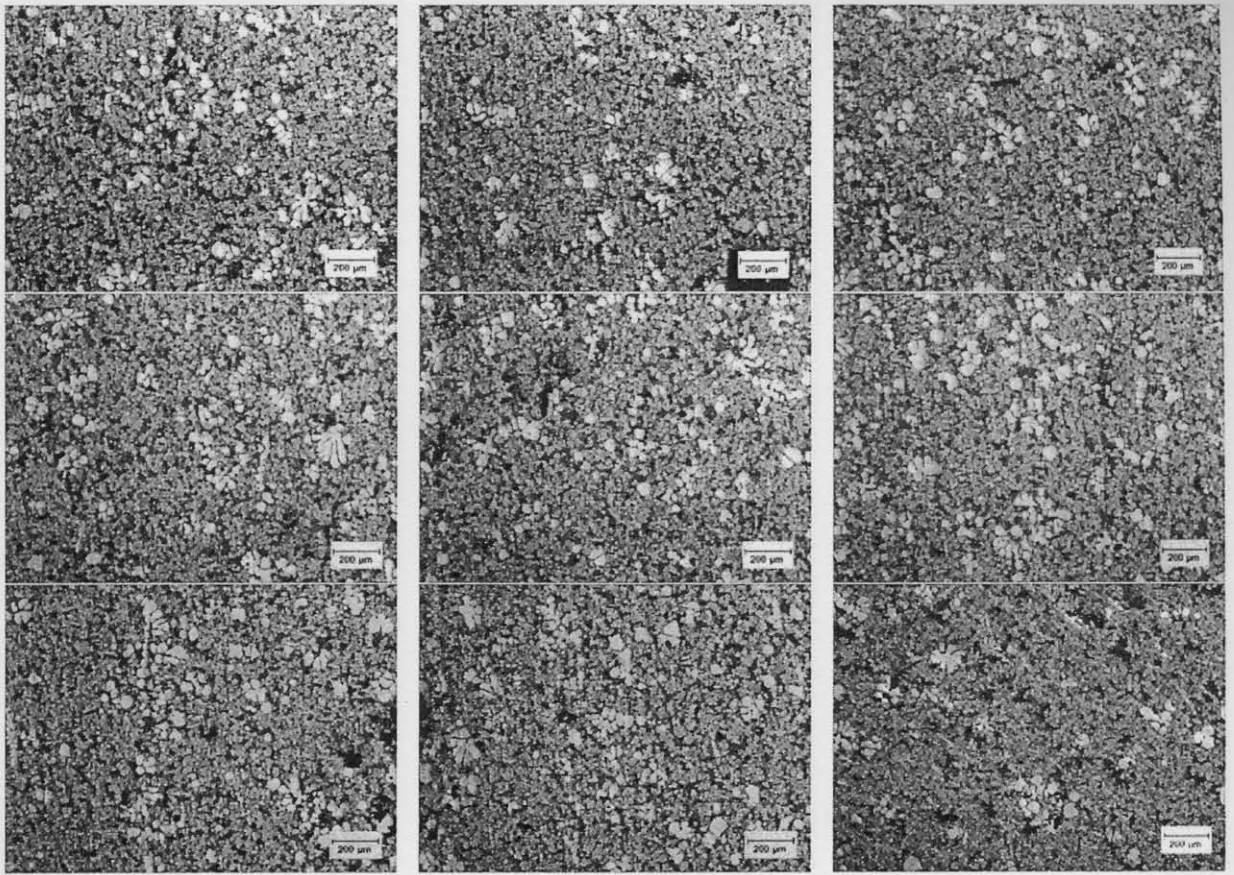
รูปที่ 3-15 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อสัดส่วนของแข็งของอะลูมิเนียม ADC10

ตารางที่ 3-1 การวิเคราะห์สัดส่วนของแข็งที่เกิดขึ้น

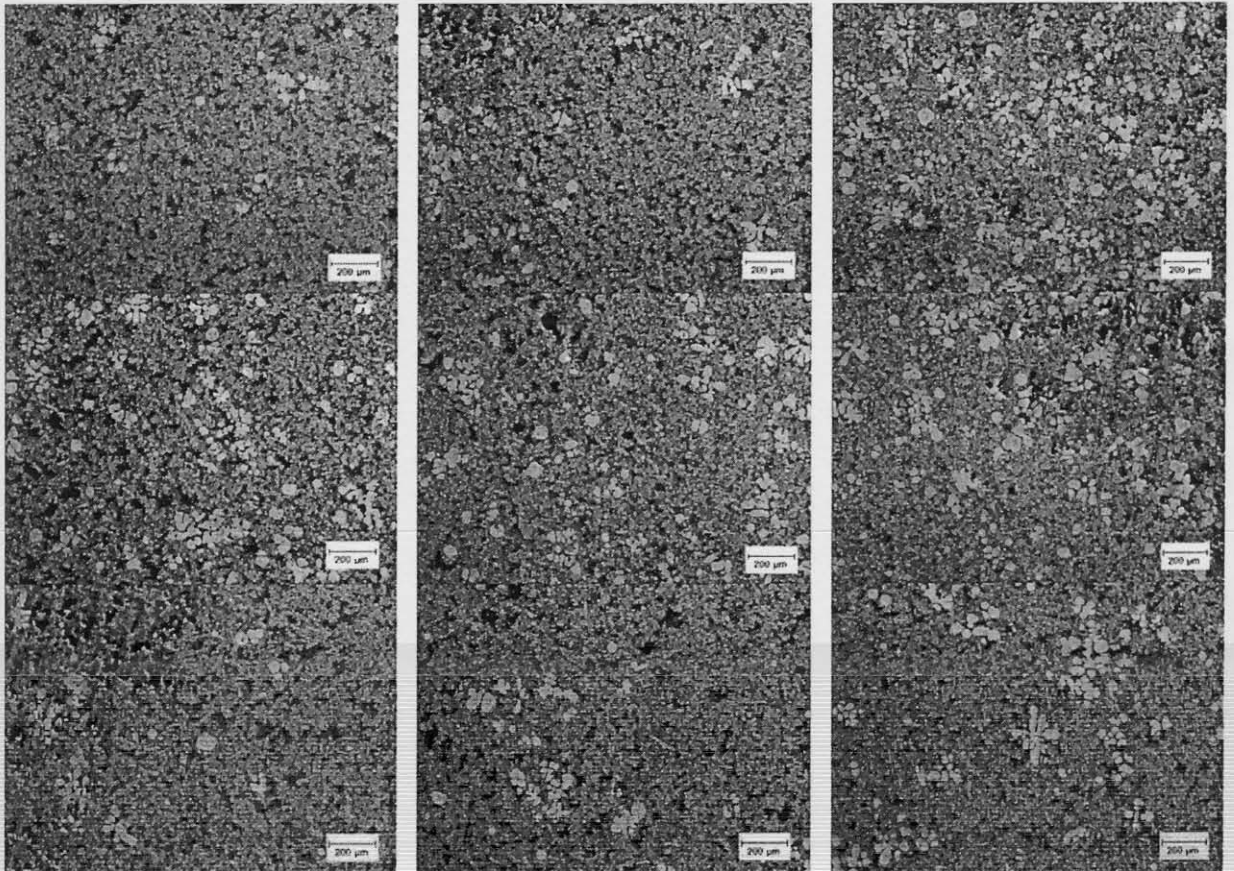
Sample ID	Sample Thickness (mm)	Quenched Slurry Temperature (°C)	Total Analyzed Area (μm^2)	Total Area of Final Solid Particles (μm^2)	Final Solid Fraction (%)
15	1	592.8	26204160	53475	0.20
17	1	592.7	26204160	393462	1.50
20	1	590.9	30571520	2201211	7.20
28	1	589.9	30571520	2558166	8.37
60	3	584.5	26204160	3815031	14.56
90	3	578.2	26204160	5790240	22.10

3.3 ผลการศึกษาสัดส่วนของของแข็ง (Solid fraction, f_s) ที่บริเวณต่าง ๆ ของชิ้นงาน

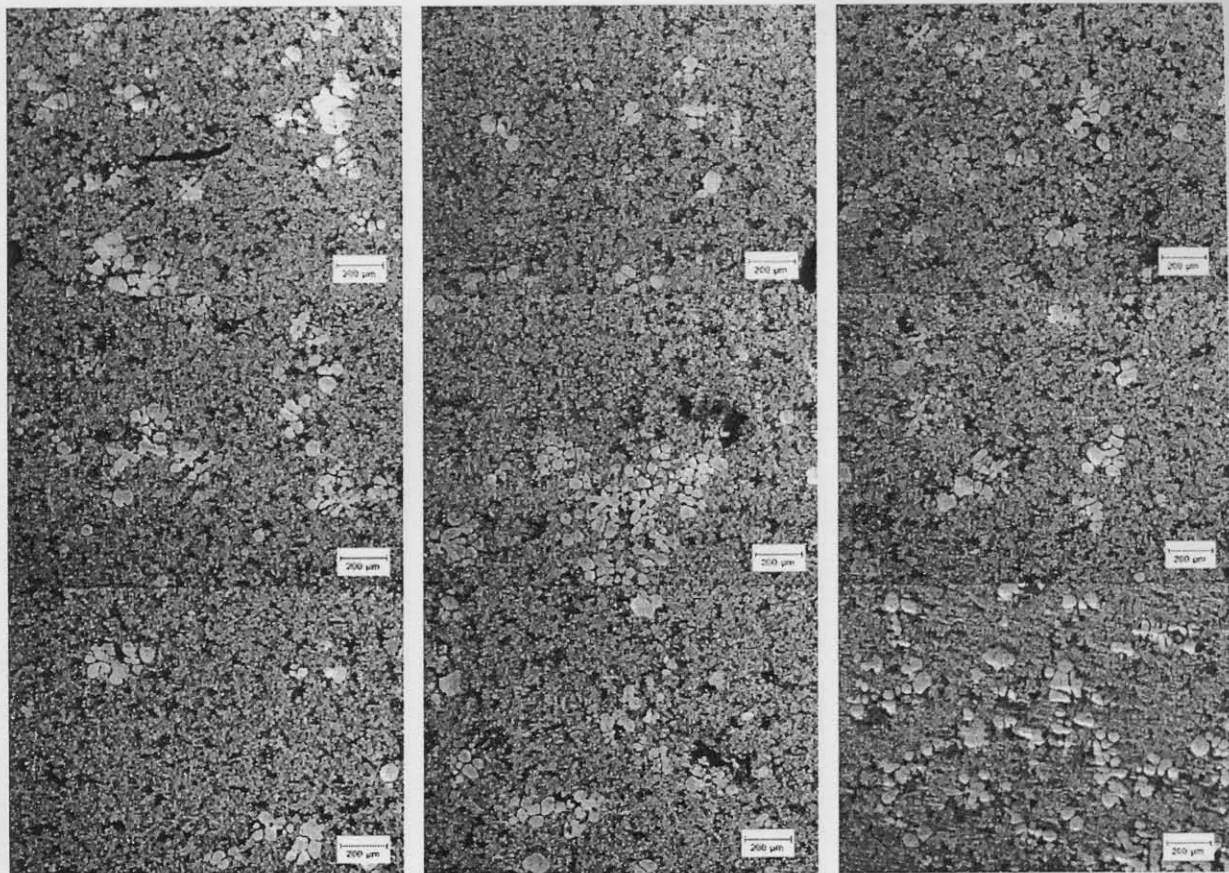
ผลการวิเคราะห์หาสัดส่วนของของแข็งที่บริเวณต่าง ๆ ของชิ้นงาน โดยนำภาพโครงสร้างจุลภาคที่ได้จากกล้อง Optical Microscope และใช้โปรแกรม Photoshop ทำการแยกเฟสของของแข็งให้ชัดเจน จากนั้นใช้โปรแกรม Image Tool นับพื้นที่ที่เป็นเฟสของของแข็งเทียบกับพื้นที่ทั้งหมด เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ในข้อ 3.2 พบว่าที่บริเวณส่วนบนและส่วนล่างของชิ้นงานที่ทำการตรวจสอบมีค่าสัดส่วนของแข็ง (Solid fraction) ที่ใกล้เคียงกัน เช่น ที่เวลาจุ่ม 60 วินาที สัดส่วนของแข็งที่บริเวณด้านบน ตรงกลางและด้านล่างของชิ้นงานมีสัดส่วนของแข็ง เท่ากับ 11.66, 11.66 และ 11.70 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองยืนยันความเหมาะสมของการเลือกวิเคราะห์เพียงหนึ่งจุดคือบริเวณตรงกลาง โครงสร้างจุลภาคทั้งหมดแสดงในรูปที่ 3-16 ถึง 3-23 โดยผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3-2 และ 3-3



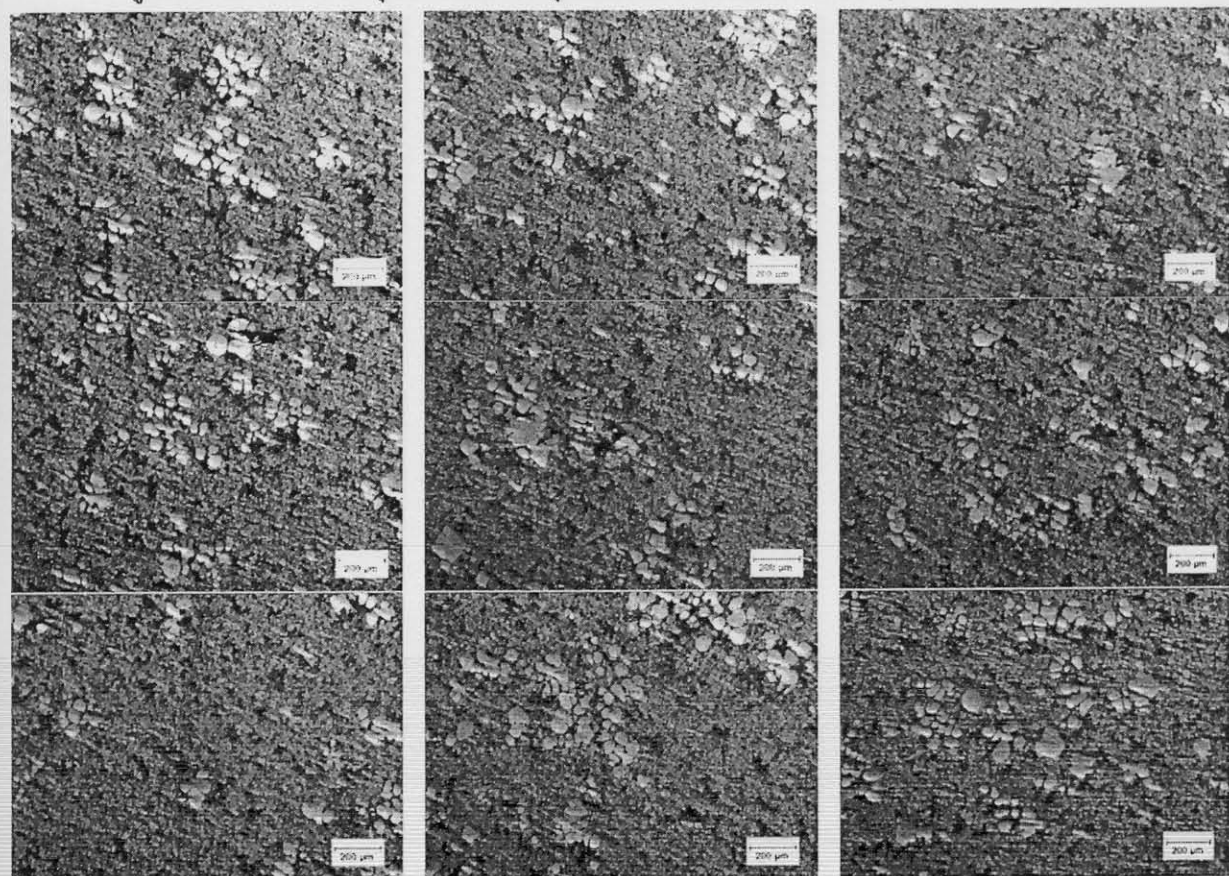
รูปที่ 3-16 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราฟไฟต์เป็นเวลา 20 วินาที ส่วนบน (50x)



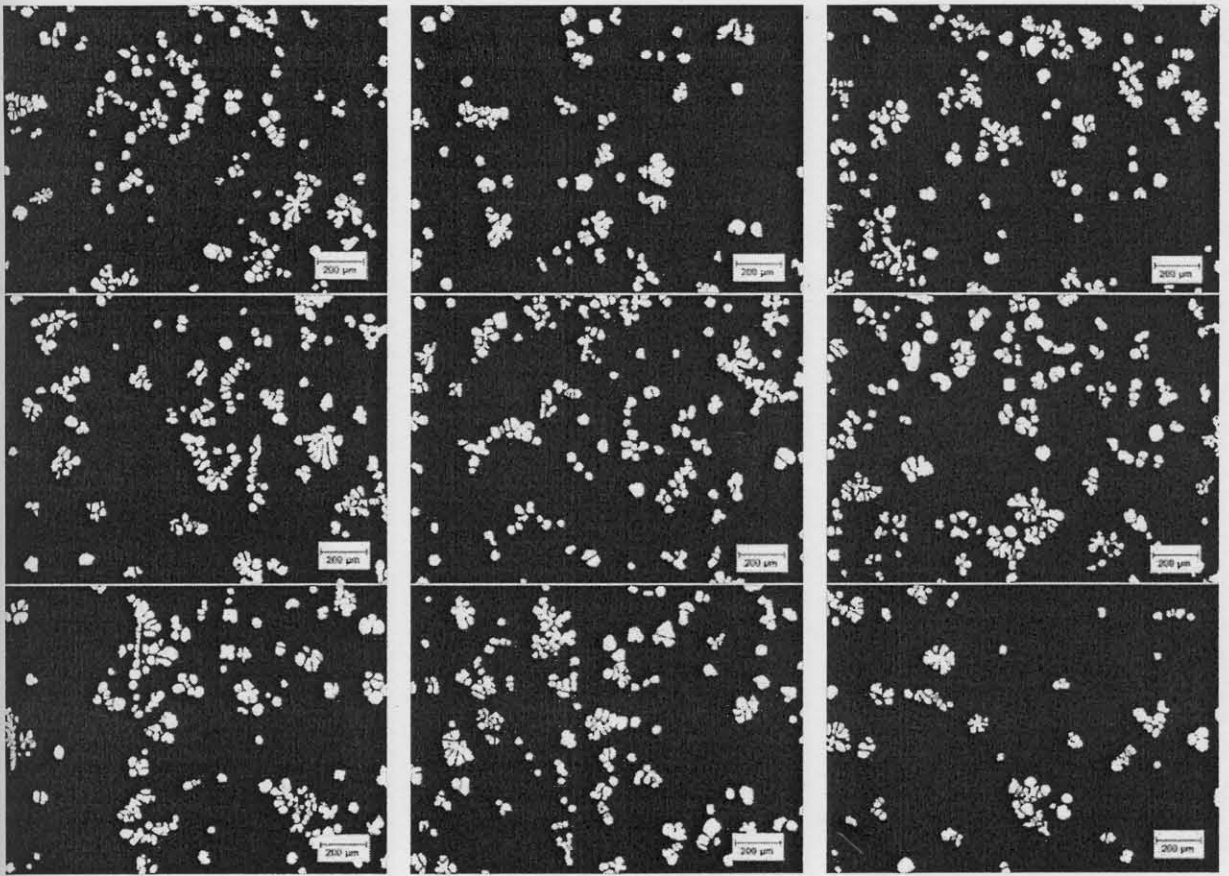
รูปที่ 3-17 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราฟไฟต์เป็นเวลา 20 วินาที ส่วนล่าง (50x)



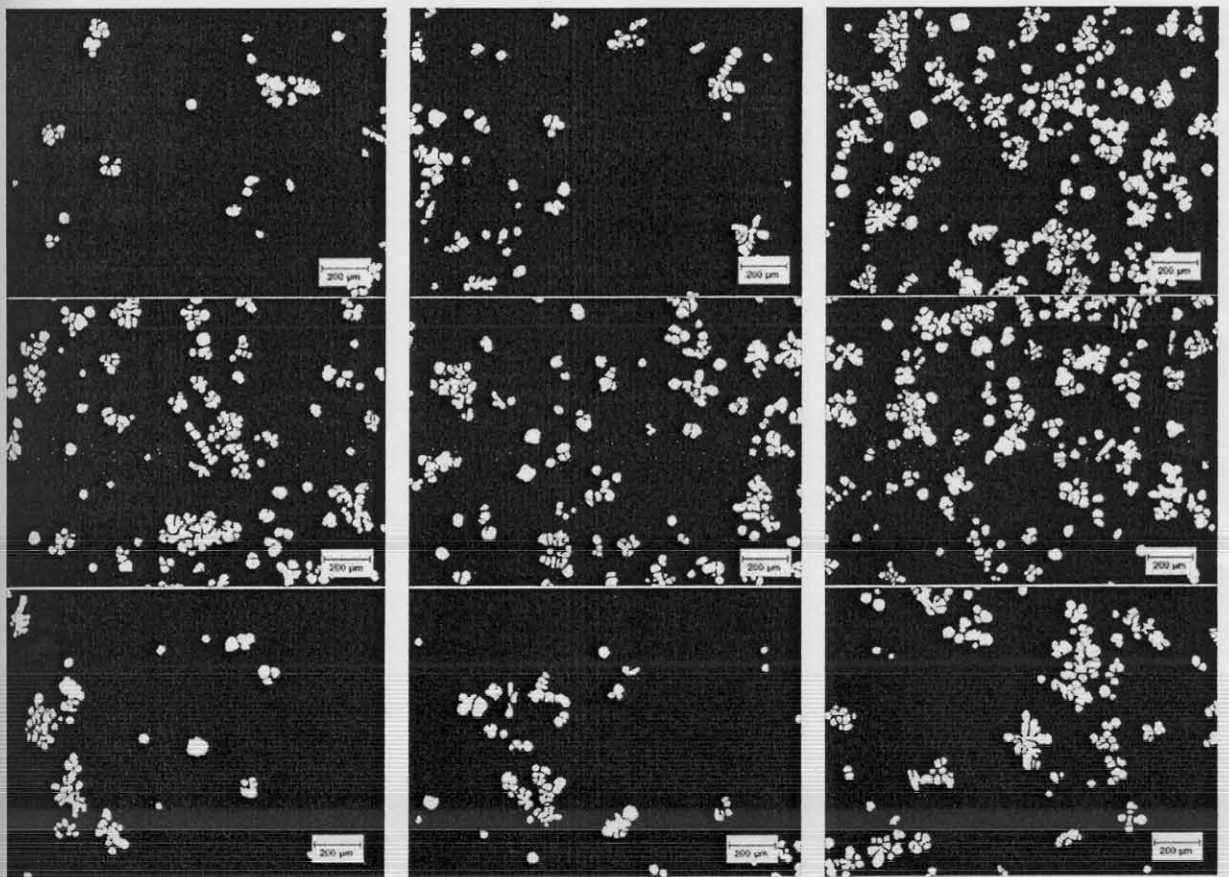
รูปที่ 3-18 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราฟไฟต์เป็นเวลา 60 วินาที ส่วนบน (50x)



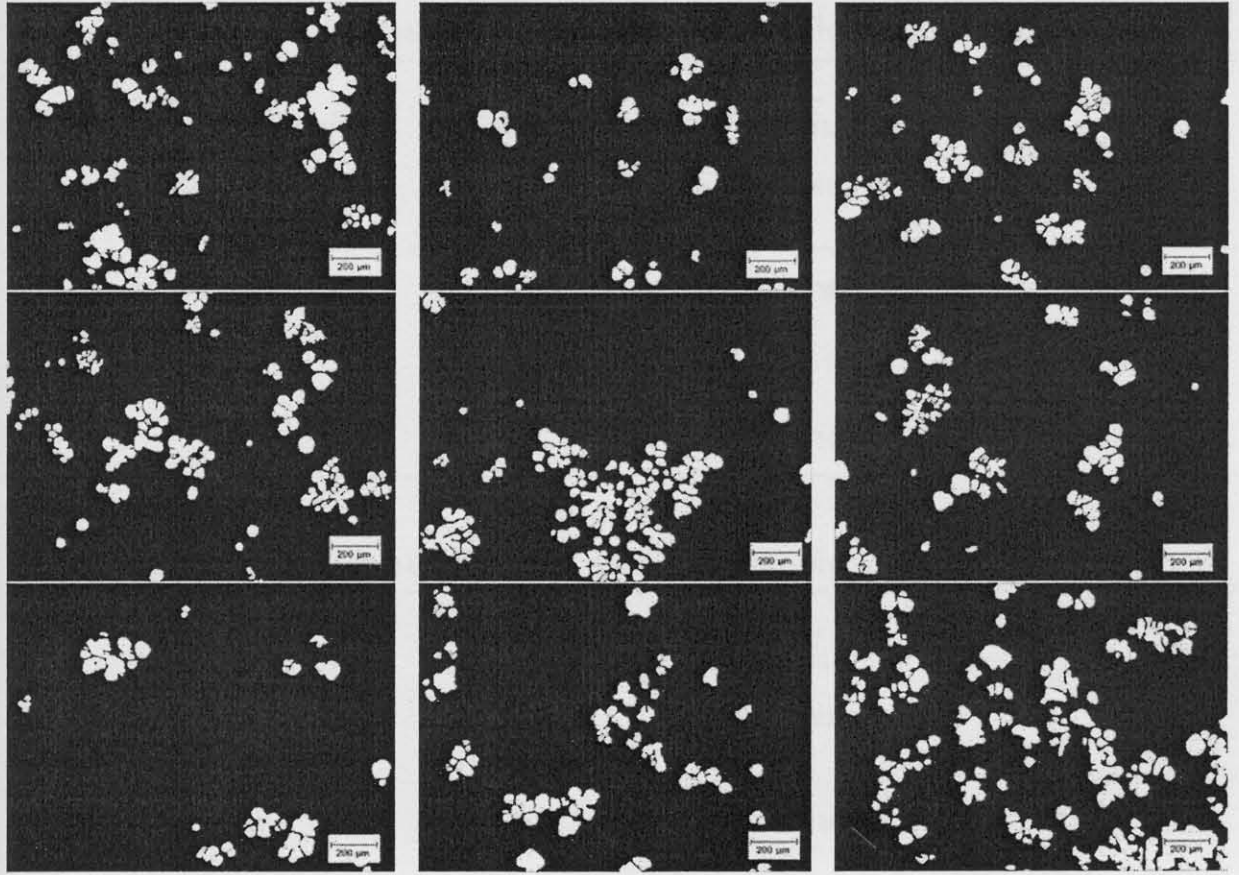
รูปที่ 3-19 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราฟไฟต์เป็นเวลา 60 วินาที ส่วนล่าง (50x)



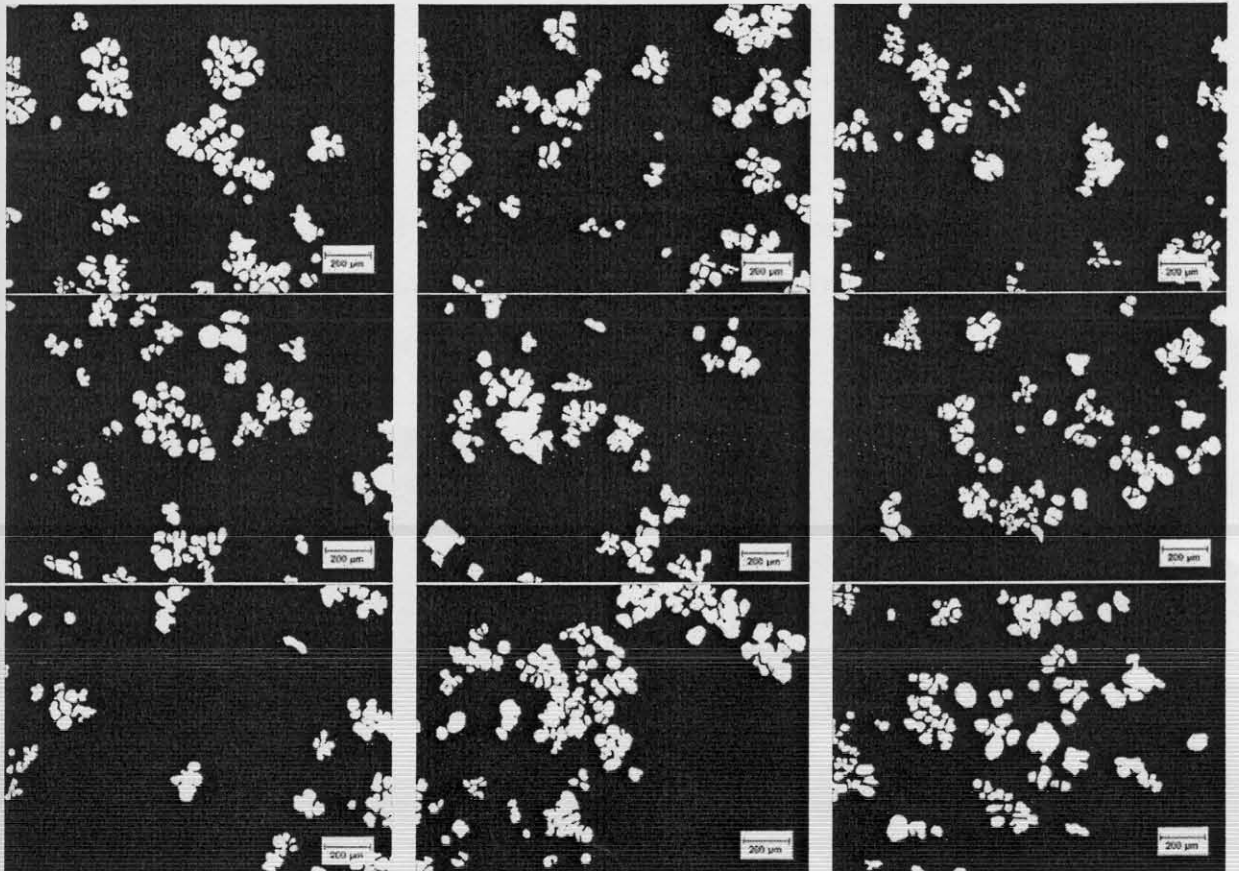
รูปที่ 3-20 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราฟไต์เป็นเวลา 20 วินาที ส่วนบน (50x)



รูปที่ 3-21 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราฟไต์เป็นเวลา 20 วินาที ส่วนล่าง (50x)



รูปที่ 3-22 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราไฟต์เป็นเวลา 60 วินาที ส่วนบน (50x)



รูปที่ 3-23 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราไฟต์เป็นเวลา 60 วินาที ส่วนล่าง (50x)

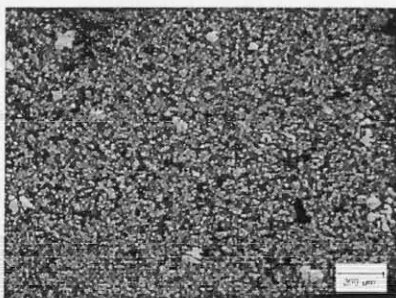
ตาราง 3-2 เปรียบเทียบสัดส่วนของแข็งที่บริเวณต่าง ๆ กันของชิ้นงานที่จุ่มแท่งกราไฟต์เป็นเวลา 20 วินาที

Test	อุณหภูมิเริ่มปล่อยก๊าซ (°C)	เวลาในการปล่อย ก๊าซ (sec)	บริเวณของชิ้นงานที่ นำมาตรวจสอบ	สัดส่วนของของแข็ง (Solid fraction) (%)
1	600	20	ส่วนบน	8.76
2	600	20	ส่วนกลาง	6.84
3	600	20	ส่วนล่าง	7.95

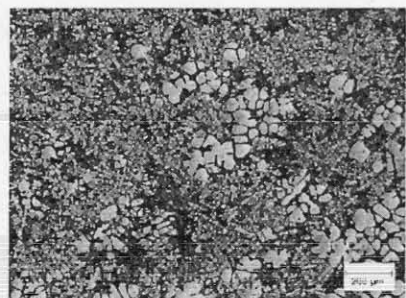
ตาราง 3-3 เปรียบเทียบสัดส่วนของแข็งที่บริเวณต่าง ๆ กันของชิ้นงานที่จุ่มแท่งกราไฟต์เป็นเวลา 60 วินาที

Test	อุณหภูมิเริ่มปล่อยก๊าซ (°C)	เวลาในการปล่อย ก๊าซ (sec)	บริเวณของชิ้นงานที่ นำมาตรวจสอบ	สัดส่วนของของแข็ง (Solid fraction) (%)
1	600	60	ส่วนบน	11.66
2	600	60	ส่วนกลาง	11.66
3	600	60	ส่วนล่าง	11.70

นอกจากนี้ยังได้มีการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคบริเวณ Cross section ของชิ้นงาน ขนาด 1 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่าการกระจายของอนุภาคของแข็งสม่ำเสมอทั้งชิ้นงาน ตัวอย่างภาพโครงสร้างจุลภาคแสดงในรูปที่ 3-24



(ก)



(ข)

รูปที่ 3-24 โครงสร้างจุลภาคบริเวณ Cross section
(ก) ชิ้นงานขนาด 1 มิลลิเมตร (ข) ชิ้นงานขนาด 3 มิลลิเมตร

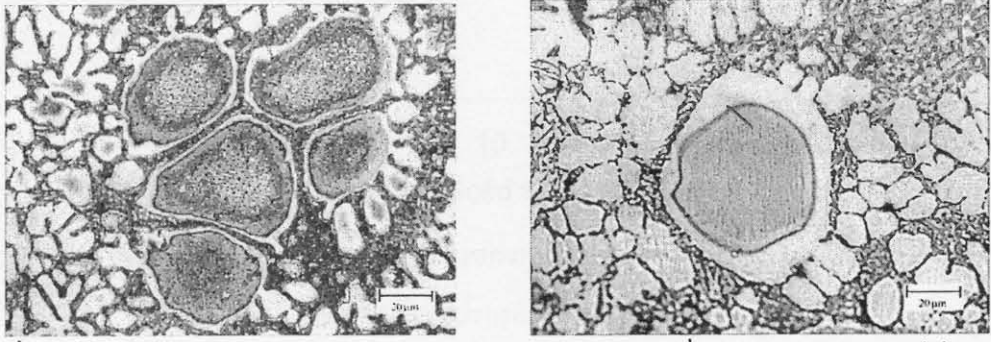
3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์การเติบโตของอนุภาคของแข็ง

จากรูปที่ 3-25 โครงสร้างทางจุลภาคมีการเติบโตของอนุภาคของแข็ง เนื่องจากเกิดการเย็นตัวภายใน Quenching Mold ฉะนั้นจึงต้องวิเคราะห์หาความหนาของชั้นการเติบโต เพื่อนำไปวิเคราะห์หาสัดส่วนของแข็งที่เกิดขึ้นจริง โดยคำนวณหาสัดส่วนของแข็งเริ่มต้นจากสมการด้านล่างนี้

$$f_0 = \frac{A_{p0}}{A_T} = \frac{\sum_{i=1}^N [\pi \cdot (R_i - \overline{\Delta R_i})^2]}{A_T}$$

- โดยที่ f_0 คือ สัดส่วนของแข็งเริ่มต้น
- A_{p0} คือ พื้นที่ทั้งหมดของอนุภาคเริ่มต้น
- R_i คือ รัศมีของอนุภาคของแข็งเริ่มต้น
- A_T คือ พื้นที่ทั้งหมด

ซึ่งข้อมูลและผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3-4

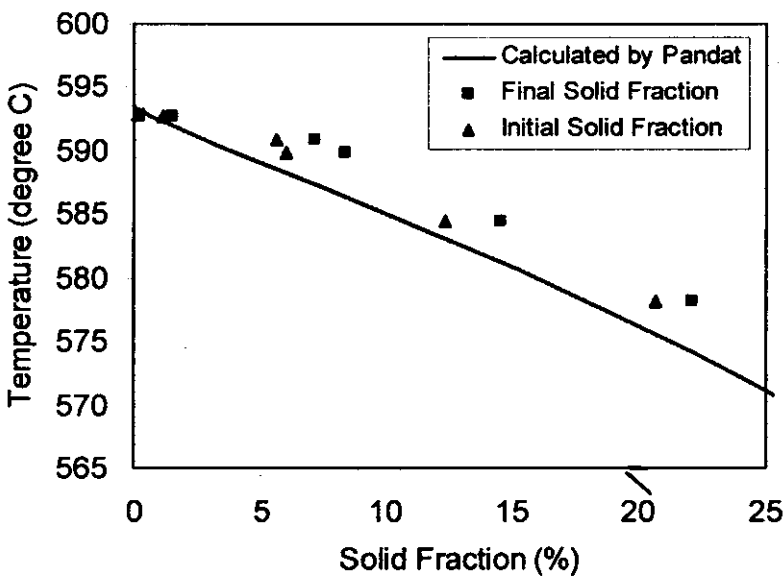


รูปที่ 3-25 แสดงการเติบโตของอนุภาคของแข็งจากการเย็นตัว ที่การจุ่มแท่งแกรไฟต์เป็นเวลา 28 วินาที (ซ้าย) และ 90 วินาที (ขวา)

ตารางที่ 3-4 การวิเคราะห์สัดส่วนของแข็งที่เกิดขึ้นจริง

Sample ID	Quenched Slurry Temperature (°C)	Average Growth Layer Thickness (µm)	Total Analyzed Area (µm ²)	Total Area of Initial Solid Particles (µm ²)	Initial Solid Fraction (%)
15	592.8	1.7	26204160	41367	0.16
17	592.7	1.6	26204160	295659	1.13
20	590.9	2.0	30571520	1727178	5.65
28	589.9	3.6	30571520	1830212	5.99
60	584.5	3.3	26204160	3243361	12.38
90	578.2	2.7	26204160	5405998	20.63

ผลจากการวิเคราะห์การเติบโตของเกรน และผลจากการคำนวณโดยใช้ Software ชื่อ Pandat ได้แสดงเปรียบเทียบกันในรูปแบบที่ 3-26 ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่ได้จากการทดลองจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ เนื่องจากการคำนวณใช้หลักการของ Scheil ซึ่งสมมติว่าไม่มีการแพร่ในของแข็ง แต่ในความเป็นจริงแล้วมีการแพร่เกิดขึ้นขณะแข็งตัว จึงทำให้ค่าที่ได้จากการทดลองสูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยในภาพรวมแล้วผลการทดลองที่ได้มีความสัมพันธ์และค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ



รูปที่ 3-26 ผลการทดลองของสัดส่วนของของแข็งของอะลูมิเนียม ADC10 เปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Pandat