

บทที่ 6

การศึกษาโครงสร้างจุลภาค

ในบทนี้จะเป็นการศึกษาผลของกระบวนการทางความร้อนที่มีต่อ โครงสร้างจุลภาคของ อะลูมิเนียมหล่อ 7%Si ที่ผลิตจากกระป๋องเครื่องดื่มเปรียบเทียบกับโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียม A356 โดยชิ้นงานที่เลือกมาตรวจดูโครงสร้างประกอบด้วย ชิ้นงานหล่อที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อนใดๆเลย (As Cast) ชิ้นงานที่ผ่านการอบละลายเพียงอย่างเดียว (Solution Treated) ชิ้นงานที่ผ่านการอบละลายแล้วบ่มแข็งที่สภาวะต่างๆ ได้แก่ ชิ้นงานที่บ่มยังไม่ถึงความแข็งแรงสูงสุด (Under Aged) ชิ้นงานที่บ่มจนถึงความแข็งแรงสูงสุด (Optimum Aged) และชิ้นงานที่บ่มจนเลยจุดความแข็งแรงสูงสุด (Over Aged) มาทำการเปรียบเทียบกัน

6.1 ชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาศึกษา

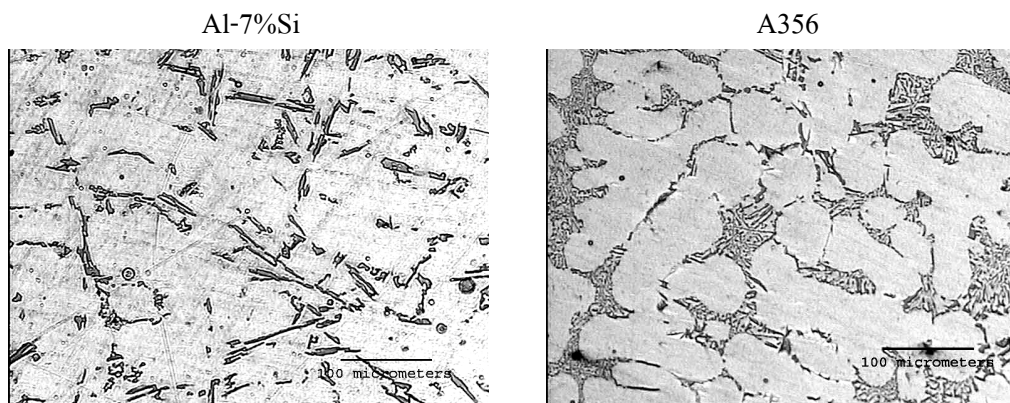
ชิ้นงานที่นำมาศึกษาเลือกจากชิ้นงานดังตาราง 6.1

ตาราง 6.1 ชิ้นงานที่เลือกมาตรวจดูโครงสร้าง

Al-7%Si		A356	
1. As Cast		1. As Cast	
2. Solution Treated		2. Solution Treated	
Aged 120°C		Aged 120°C	
3. Under Aged	2 hrs	3. Under Aged	2 hrs
4. Optimum Aged	10 hrs	4. Optimum Aged	12 hrs
5. Over Aged	16 hrs	5. Over Aged	16 hrs
Aged 150°C		Aged 150°C	
6. Under Aged	2 hrs	6. Under Aged	2 hrs
7. Optimum Aged	6 hrs	7. Optimum Aged	6 hrs
8. Over Aged	16 hrs	8. Over Aged	16 hrs
Aged 175°C		Aged 175°C	
9. Under Aged	2 hrs	9. Under Aged	2 hrs
10. Optimum Aged	4 hrs	10. Optimum Aged	4 hrs
11. Over Aged	16 hrs	11. Over Aged	16 hrs
Aged 205°C		Aged 205°C	
12. Under Aged	-	12. Under Aged	-
13. Optimum Aged	2 hrs	13. Optimum Aged	2 hrs
14. Over Aged	16 hrs	14. Over Aged	16 hrs

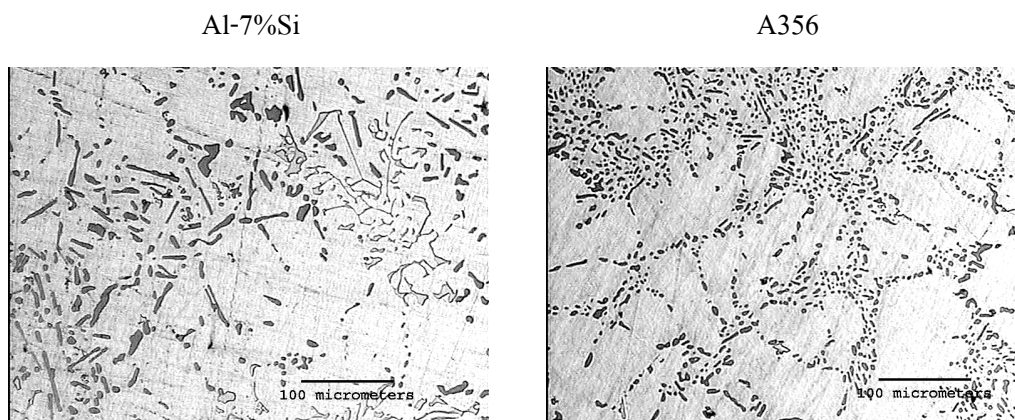
6.2 รูปโครงสร้างจุลภาค

- โครงสร้างชิ้นงานหล่อที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อน



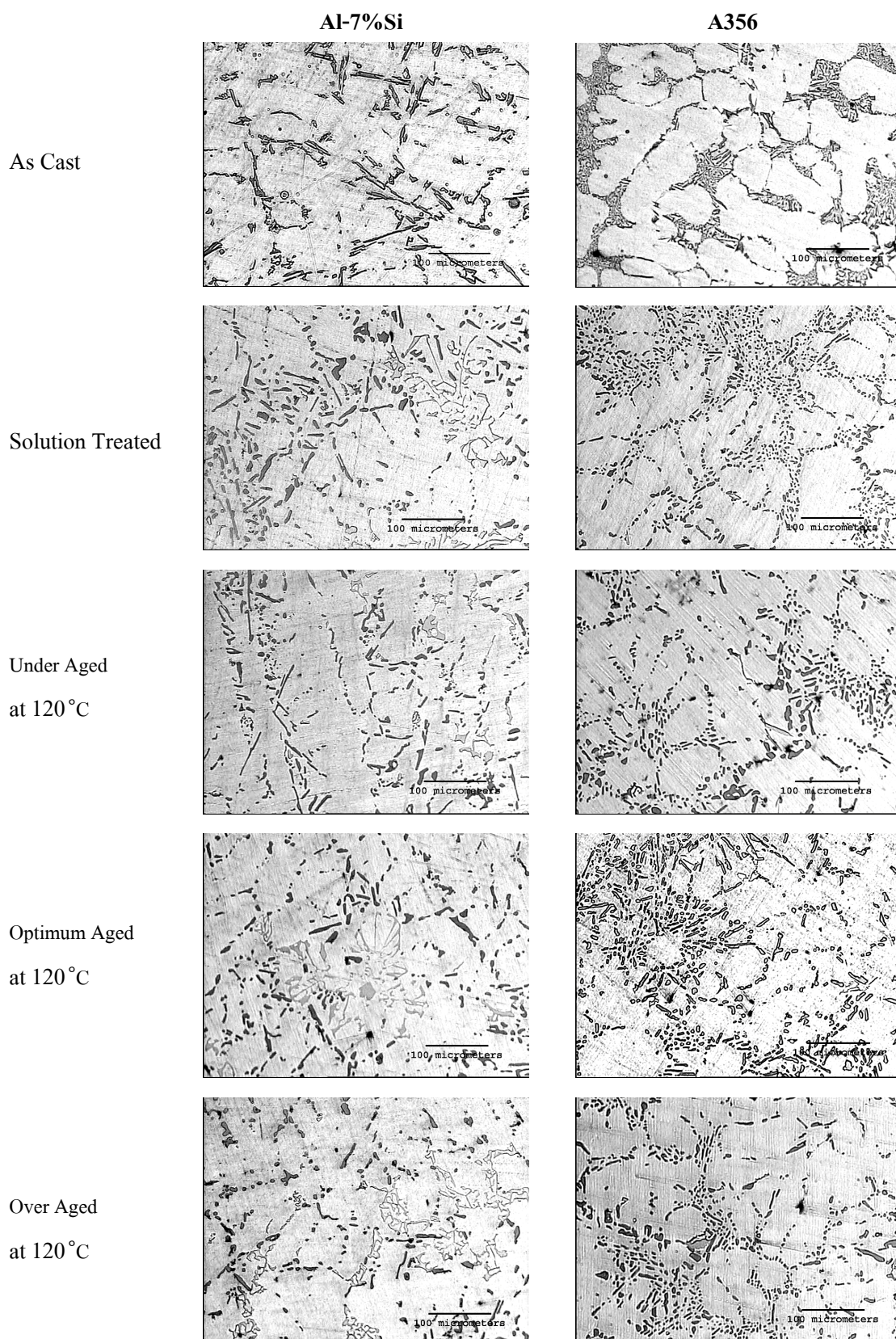
รูปที่ 6.1 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ Al-7%Si และ A356

- โครงสร้างชิ้นงานหล่อหลังจากการอบละลายเพียงอย่างเดียว



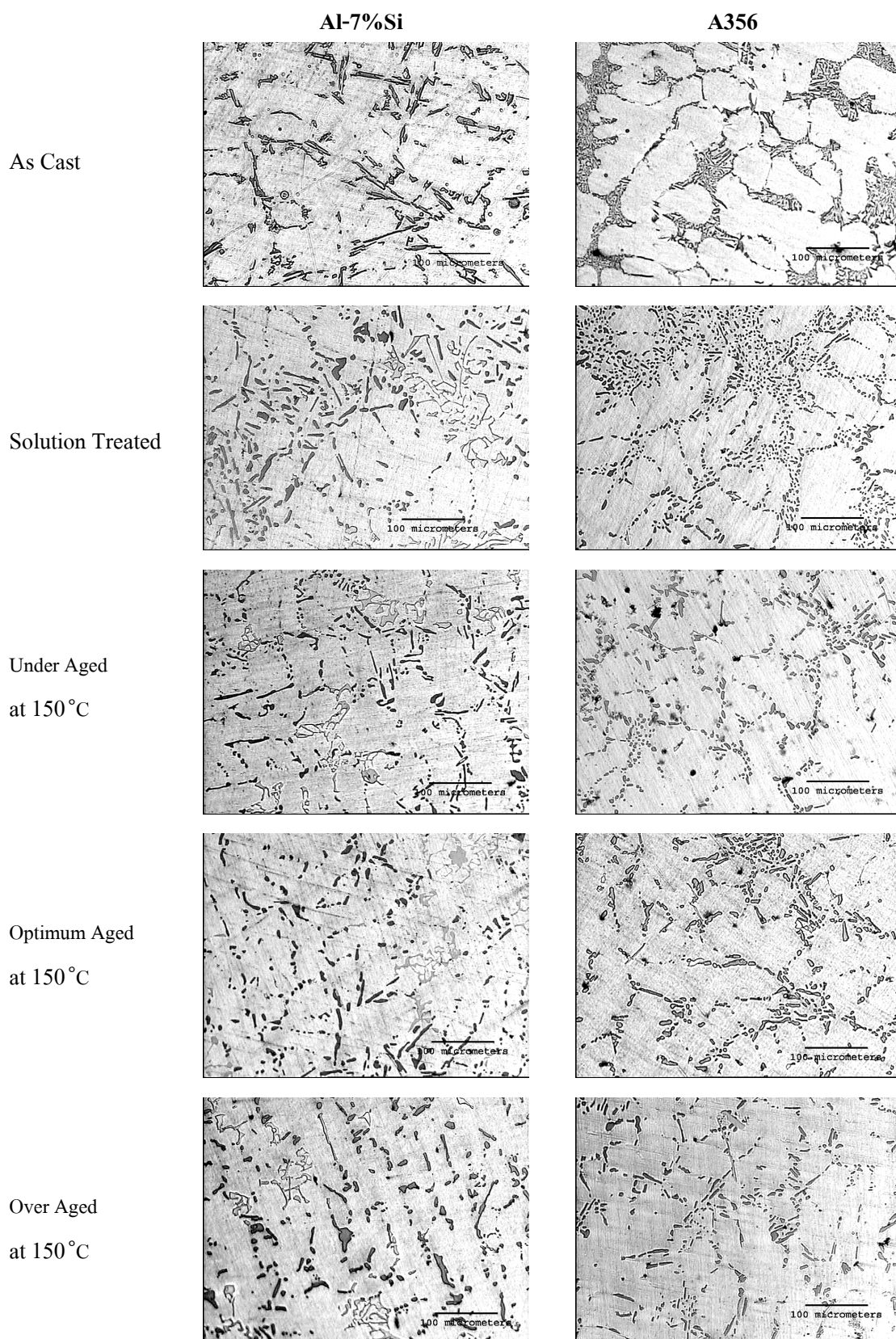
รูปที่ 6.2 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ Al-7%Si และ A356
หลังจากผ่านการอบละลาย

- โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อหลังจากผ่านการอบละลายแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 120°C



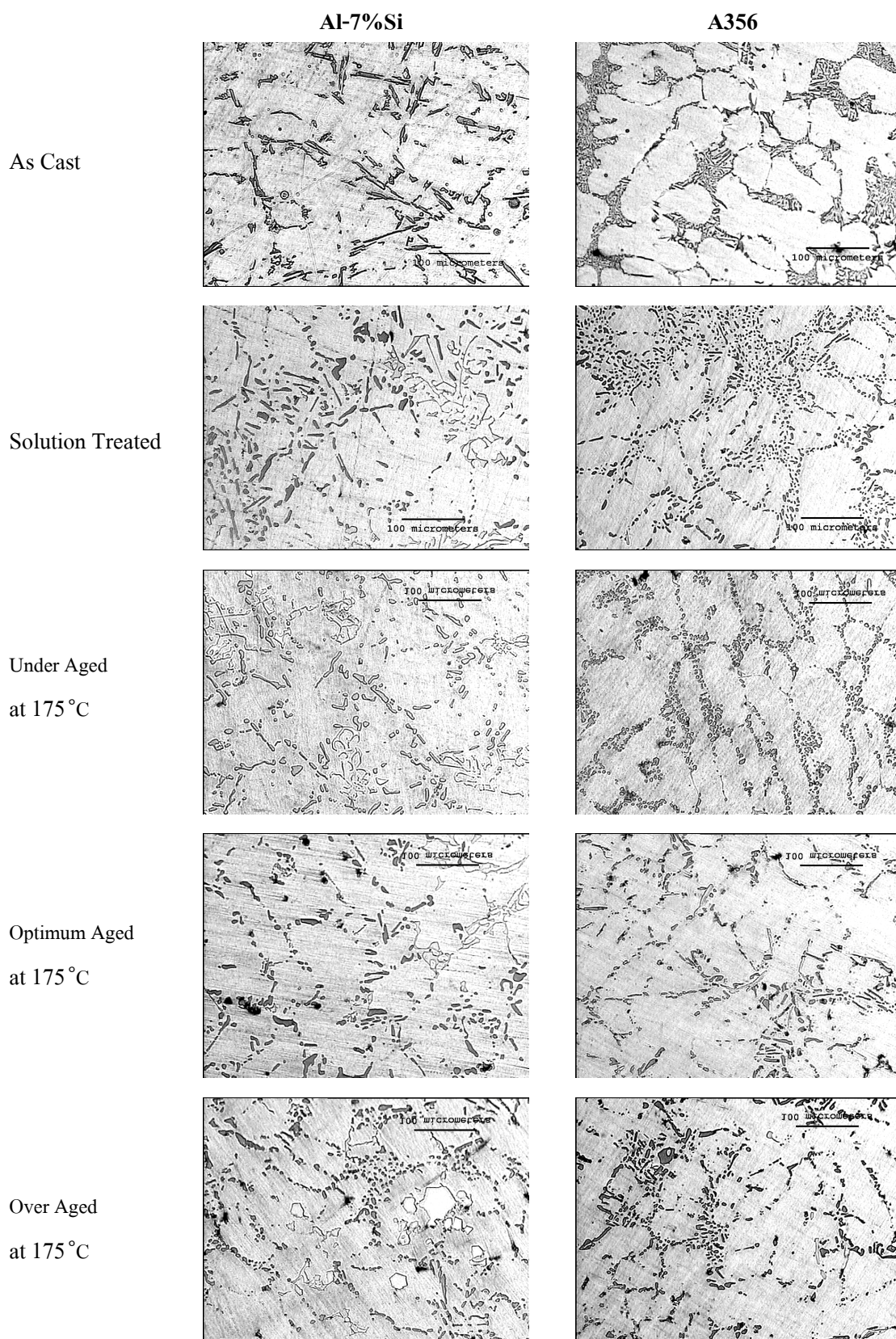
รูปที่ 6.3 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อหลังจากผ่านการอบละลายแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 120°C

- โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อหลังจากผ่านการอบละลายแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 150°C



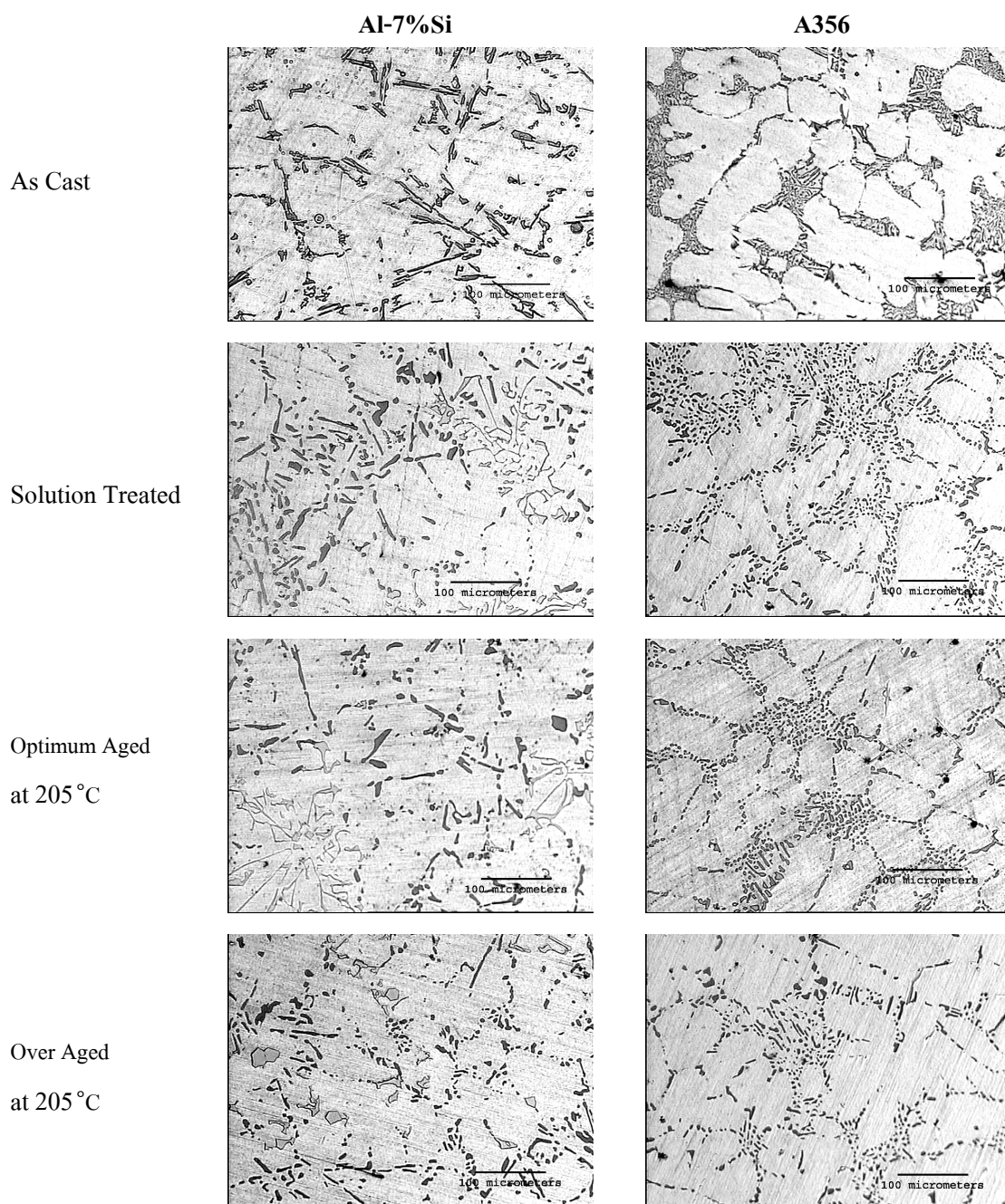
รูปที่ 6.4 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อหลังจากผ่านการอบละลายแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 150°C

- โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อหลังจากผ่านการอบละลายแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 175°C



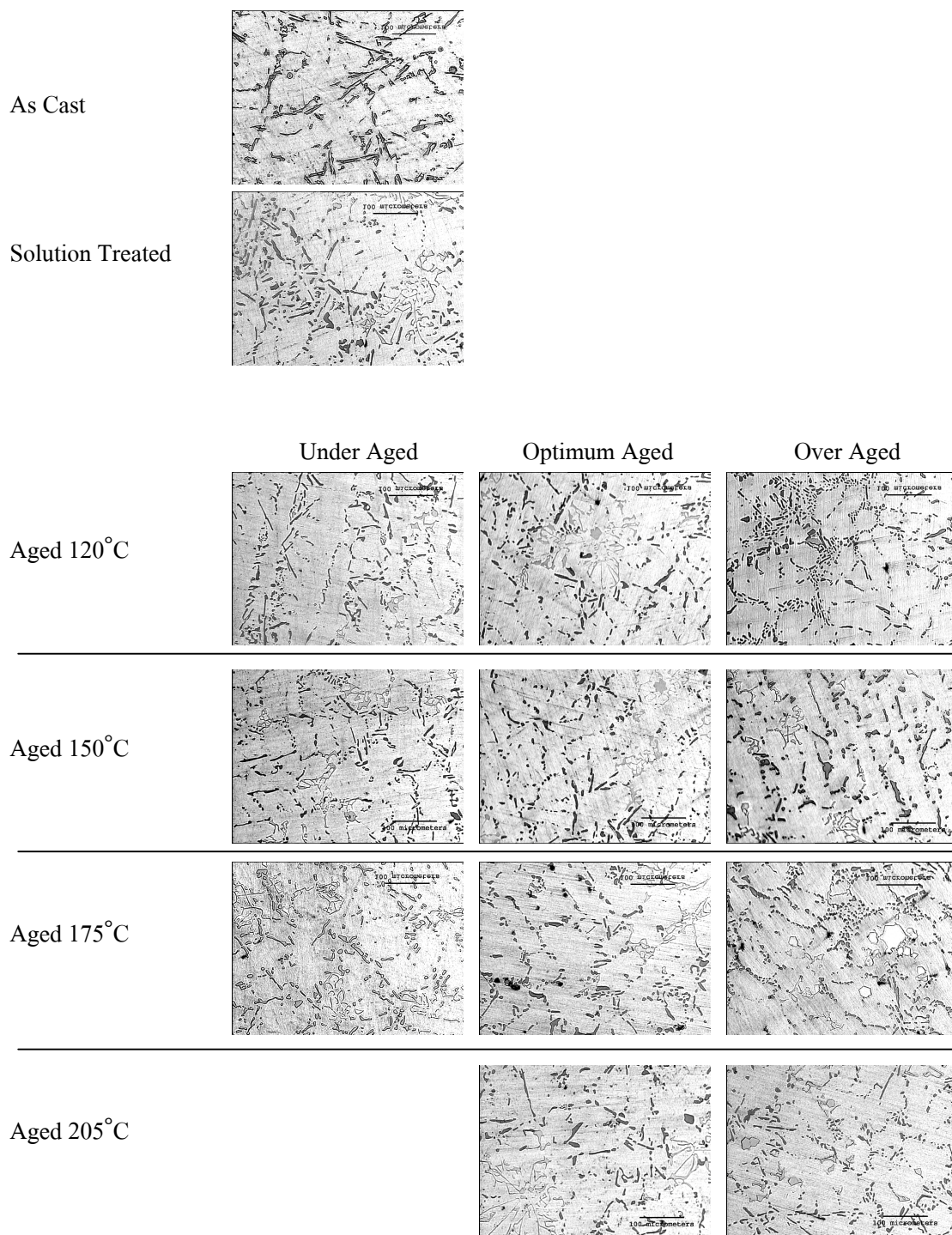
รูปที่ 6.5 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อหลังจากผ่านการอบละลายแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 175°C

- โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อหลังจากผ่านการอบละลายแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 205°C



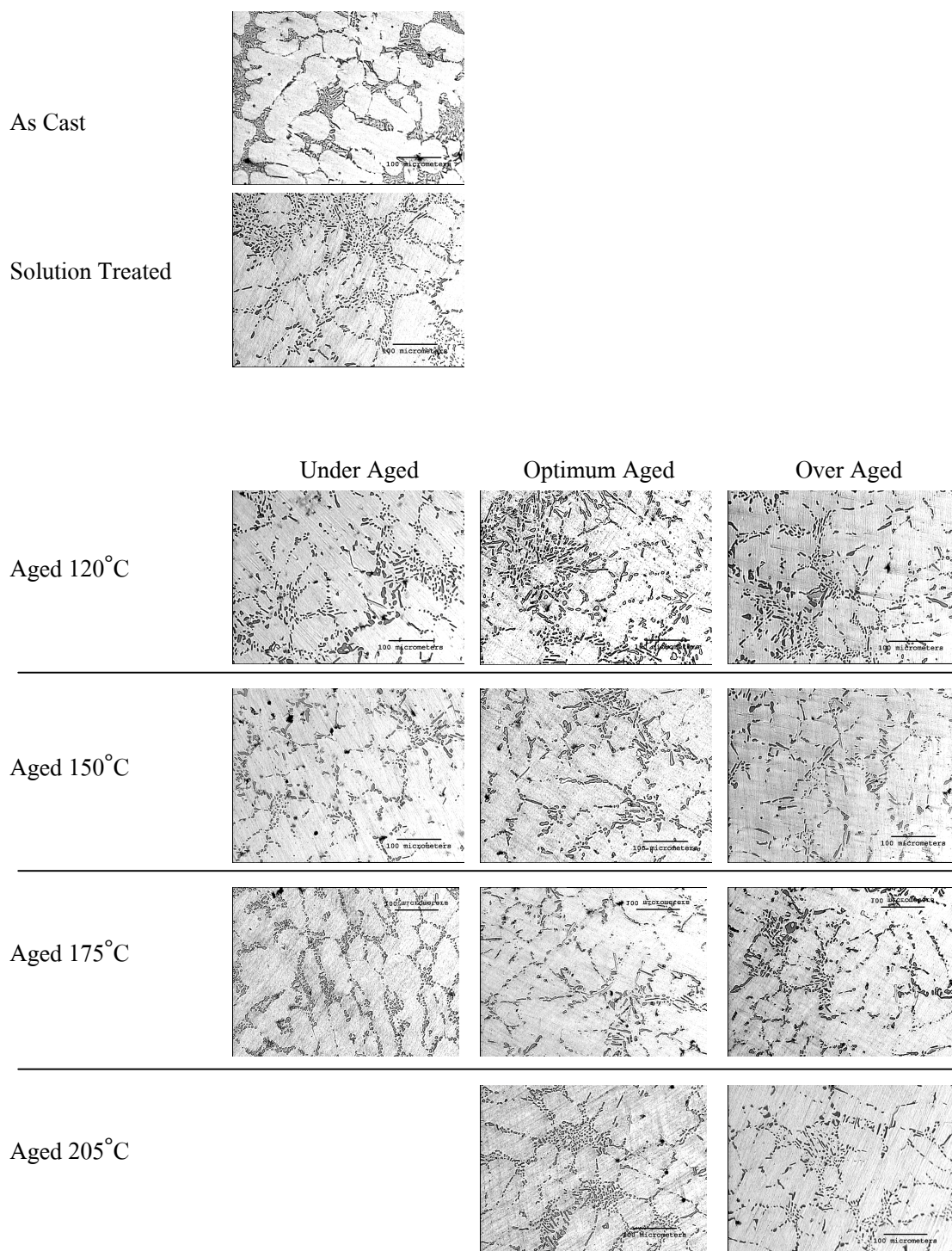
รูปที่ 6.6 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อหลังจากผ่านการอบละลายแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 205°C

- โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ Al-7%Si ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนสถานะต่างๆ



รูปที่ 6.7 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ Al-7%Si ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนสถานะต่างๆ

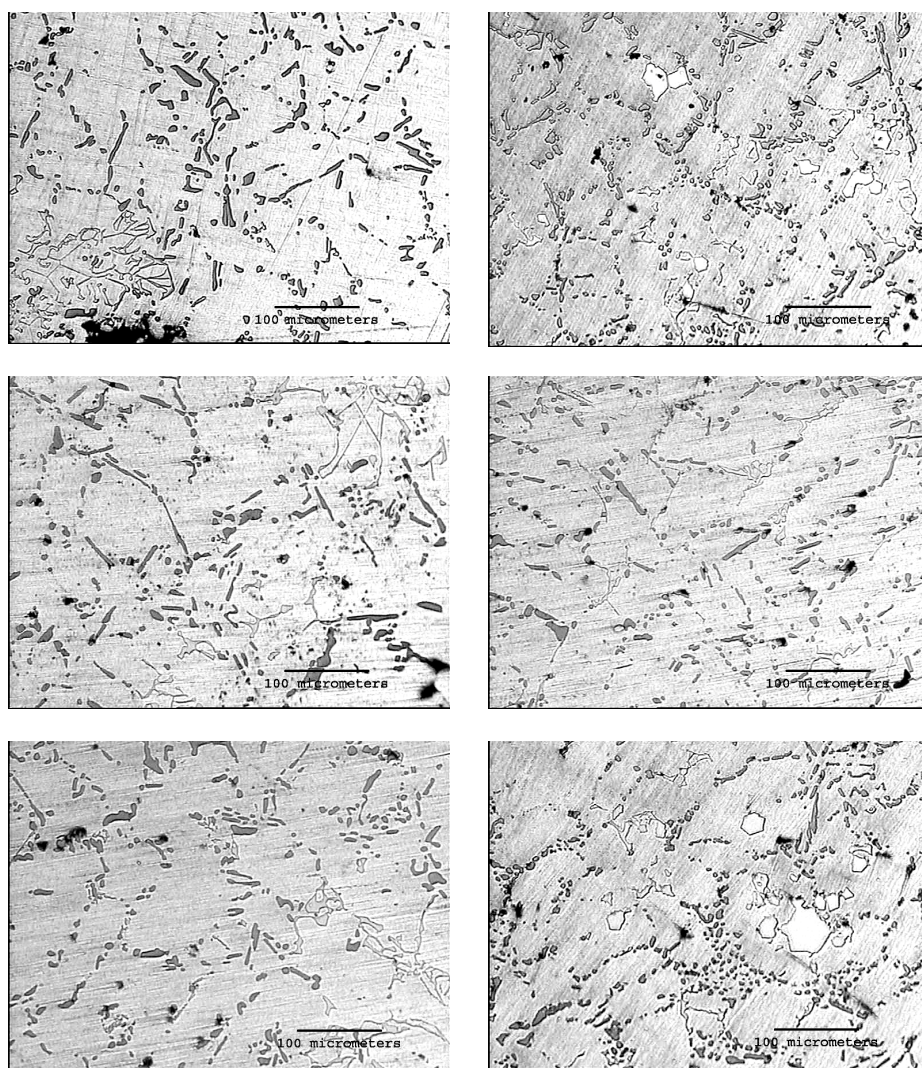
- โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ A356 ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนสถานะต่างๆ



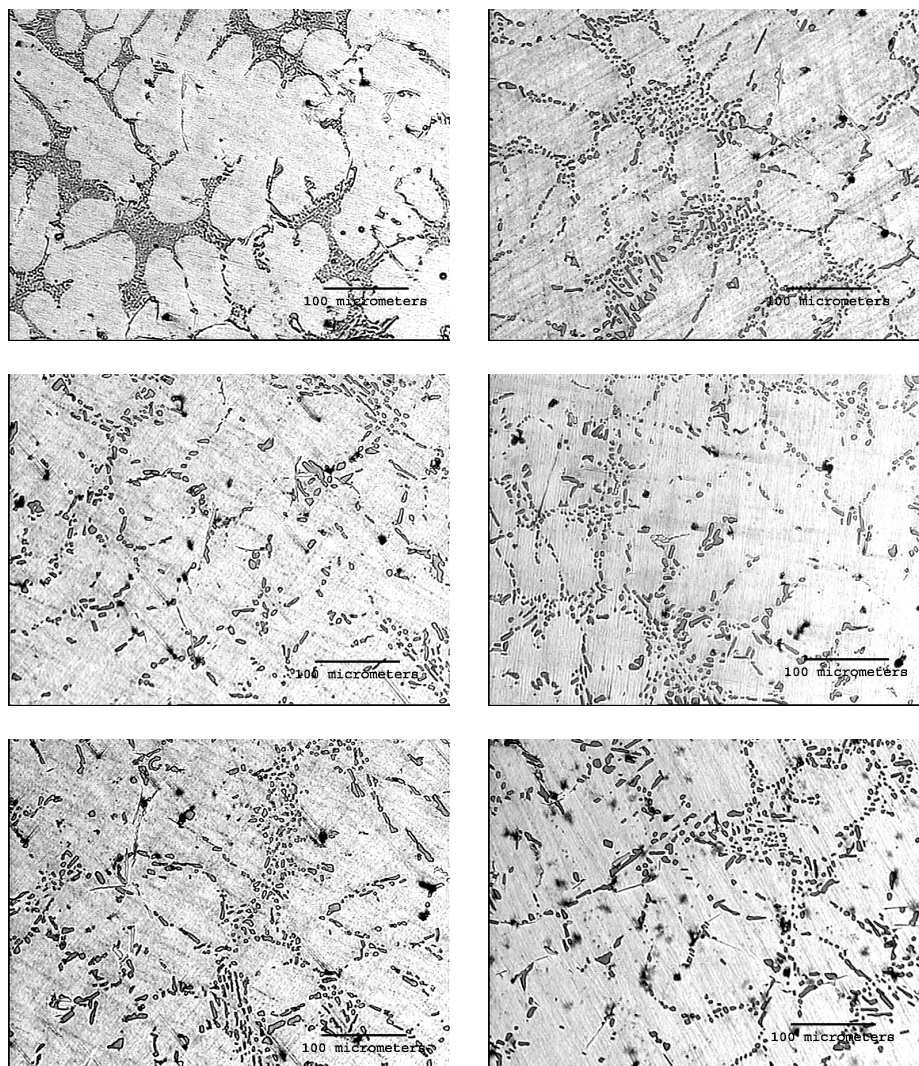
รูปที่ 6.8 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ A356 ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนสถานะต่างๆ

6.3 ปัญหาพรุนในชิ้นงานหล่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบความแข็งแรงดึงของวัสดุอะลูมิเนียมหล่อชนิด Al-7%Si ที่ผลิตจากกระป๋องเครื่องดื่ม และอะลูมิเนียมหล่อมาตรฐานชนิด A356 ซึ่งได้ผลการทดสอบปรากฏว่าค่าความแข็งแรงดึงของอะลูมิเนียมดังกล่าวยังมีค่าต่ำกว่าที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐาน ซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุ ซึ่งปัญหาพรุนในชิ้นงานหล่อก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลทำให้ความแข็งแรงของวัสดุมีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็นได้เช่นกัน และจากการตรวจดูโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบก็พบว่าชิ้นงานทดสอบทุกชิ้นมีรูพรุน บางส่วนเป็นรูขนาดใหญ่ บางส่วนเป็นรูขนาดเล็กกระจายทั่วชิ้นงาน ซึ่งรูพรุนเหล่านี้จะส่งผลทำให้พื้นที่ในการรับแรงของวัสดุลดลง มีผลทำให้ความแข็งแรงของวัสดุลดลง

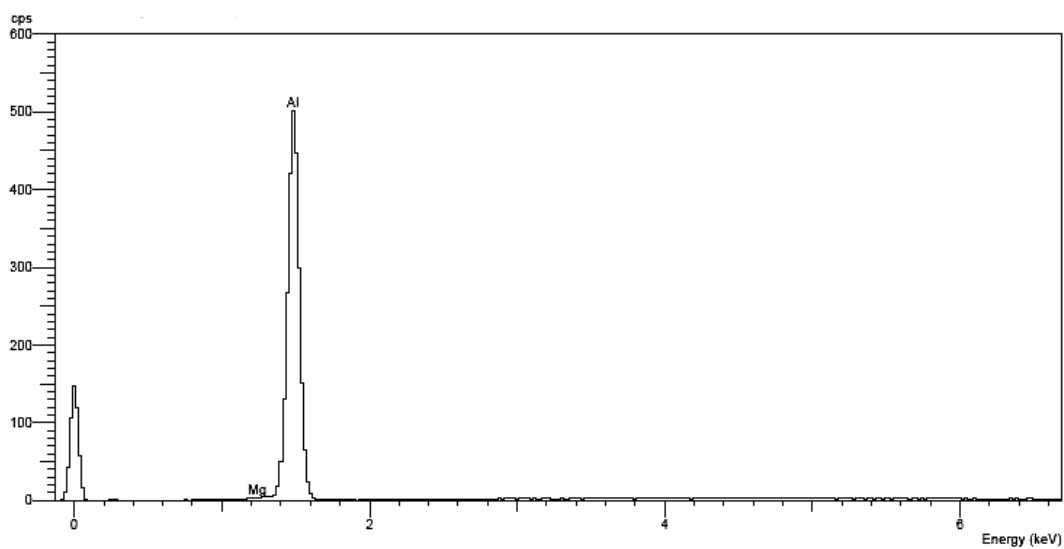


รูปที่ 6.9 รูพรุนที่เกิดในชิ้นงานหล่ออะลูมิเนียม 7%Si ที่ผลิตจากกระป๋อง

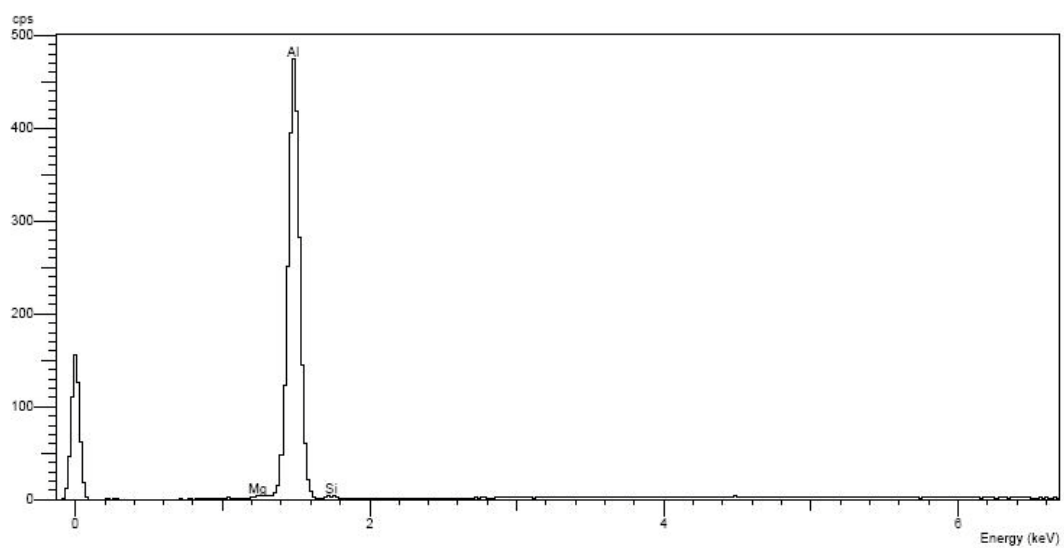


รูปที่ 6.10 รูปพรุนที่เกิดในชิ้นงานหล่ออะลูมิเนียม A356

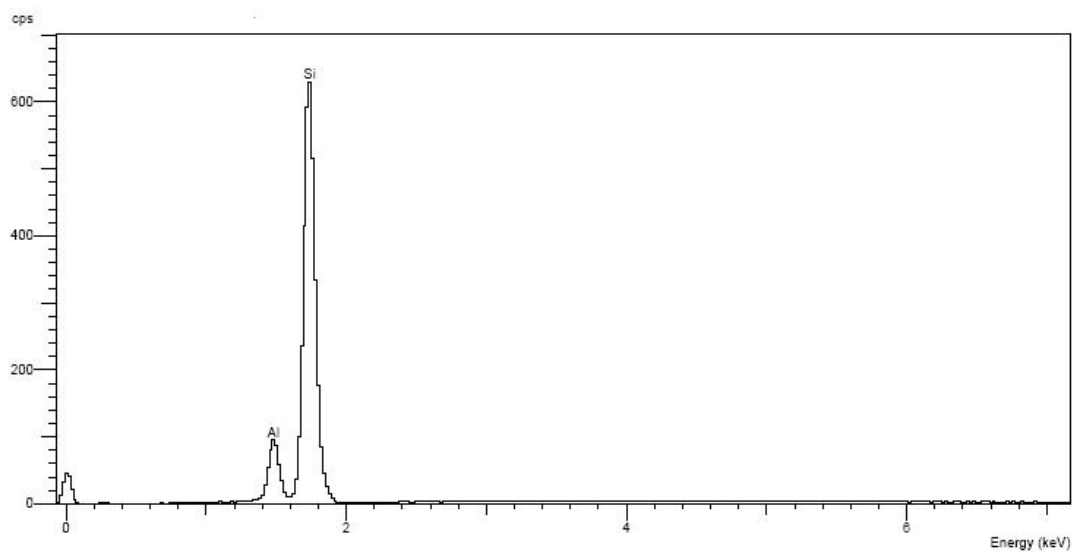
6.4 ผลการวิเคราะห์ธาตุผสมในเฟสต่างๆที่ปรากฏในโครงสร้างด้วย EDX



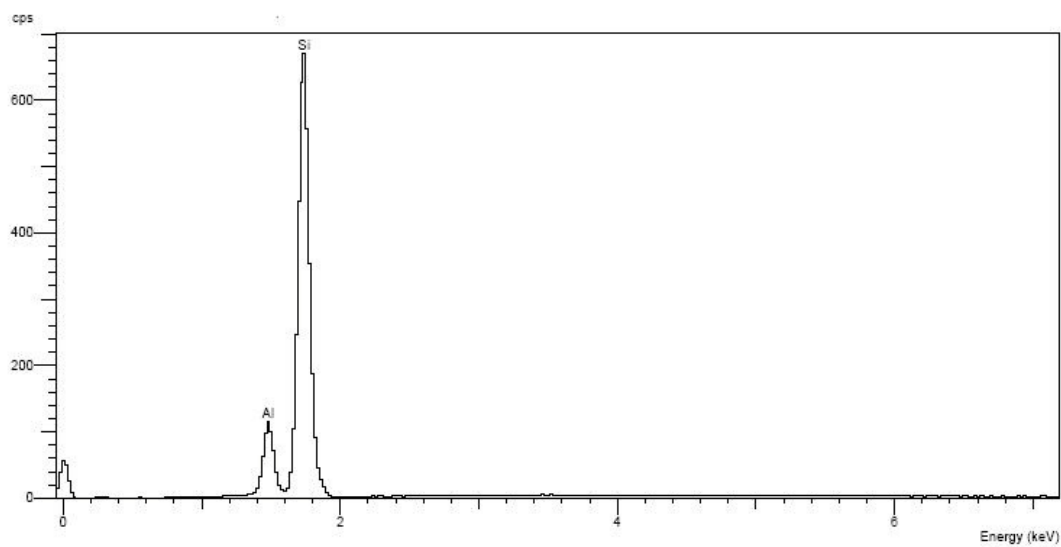
รูปที่ 6.11 ผลการวิเคราะห์ Matrix ใน Al-7%Si



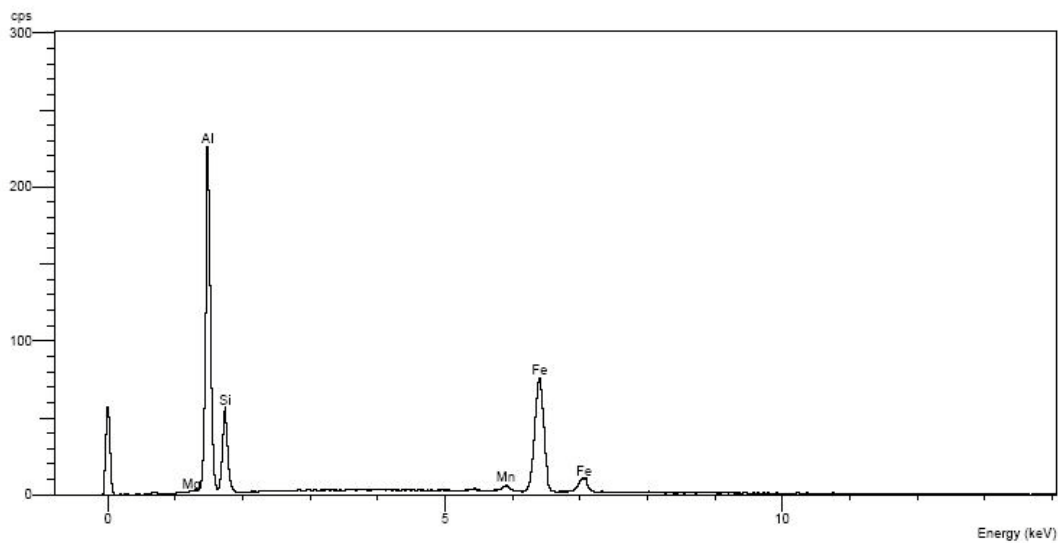
รูปที่ 6.12 ผลการวิเคราะห์ Matrix ใน A356



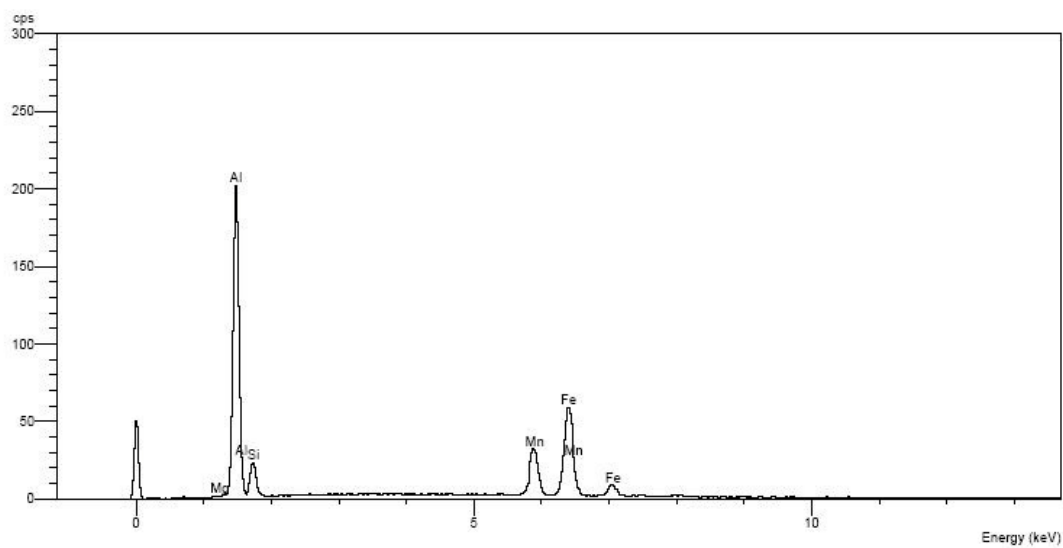
รูปที่ 6.13 ผลการวิเคราะห์ผลึก Si ใน Al-7%Si ที่ผลิตจากกระป๋องเครื่องดื่ม



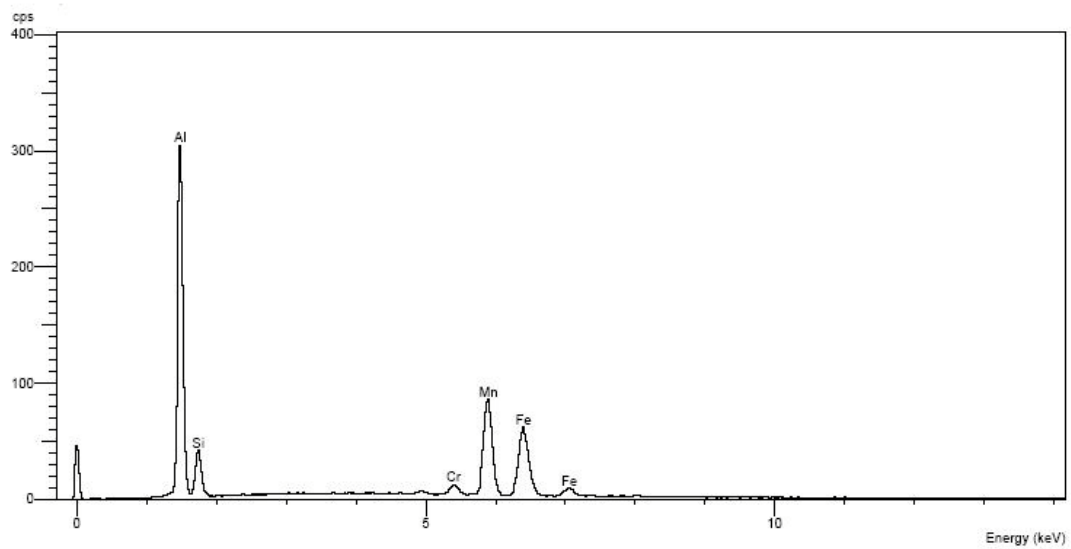
รูปที่ 6.14 ผลการวิเคราะห์ผลึก Si ใน A356



รูปที่ 6.15 ผลการวิเคราะห์ Intermetallic Phase รูปเข็ม ใน A356



รูปที่ 6.16 ผลการวิเคราะห์ Intermetallic Phase รูปตัวหนังสือจีน
ใน Al-7%Si ที่ผลิตจากกระป๋องเครื่องดื่ม



รูปที่ 6.17 ผลการวิเคราะห์ Intermetallic Phase รูปแผ่น
ใน Al-7%Si ที่ผลิตจากกระป๋องเครื่องดื่ม

วิจารณ์ผลการศึกษาคြองสร้างจุลภาค

จากการตรวจดูโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อพบว่าอะลูมิเนียม Al-7%Si ที่ผลิตจากกระป๋องเครื่องดื่มมีโครงสร้างที่แตกต่างจากอะลูมิเนียมผสมชนิดมาตรฐาน A356 อย่างเห็นได้ชัด คือ โครงสร้างของชิ้นงานหล่อ A356 จะมีลักษณะเป็น Dendrite Cell และมี Eutectic Si ขนาดเล็กละเอียดล้อมอยู่รอบ Cell เป็นวงๆชัดเจน ส่วนโครงสร้างของ Al-7%Si ที่ผลิตขึ้นมีโครงสร้างเป็น Dendrite Cell เช่นกันแต่ลักษณะของ Eutectic Si มีรูปคล้ายเข็มชิ่งใหญ่และหยาบกว่ามาก

โครงสร้างที่ได้มีลักษณะเป็น Dendrite Cell ดังกล่าวอธิบายจากกระบวนการแข็งตัวของ Hypoeutectic Al-Si Alloys (S. Shankar, 2004) คือ เมื่อน้ำโลหะเริ่มแข็งตัวจะเริ่มเกิด Dendrite ของ α -Al ขึ้นก่อน เมื่อ Dendrite เริ่มโตขึ้น Iron-Rich Intermetallic Phase ก็จะเริ่มฟอร์มตัวจากในสารละลายส่วนที่เหลือและทำหน้าที่เป็น Nucleant ให้ Eutectic Si ได้ฟอร์มตัวเป็น Particle ต่อไป เราจึงสังเกตเห็นได้ว่าเฟสของ Eutectic Si และ Intermetallic Phase จะแทรกอยู่ในตำแหน่งช่องว่างระหว่างแกน Dendrite และภายใน Matrix Cell จะดูเป็นเนื้อเดียวไม่มี Particle ใดๆปรากฏอยู่

ส่วนผสมของ Al-7%Si มีธาตุมลทิน (Impurities) อยู่สูงกว่า A356 ทำให้เฟส Si ในชิ้นงานหล่อ Al-7%Si มีลักษณะรูปร่างเป็นเข็มขนาดใหญ่และหยาบ (Coarse Needle) ในขณะที่เฟส Si ใน A356 มีลักษณะรูปร่างเป็นเข็มเล็กละเอียดกว่ามาก เนื่องจากอิทธิพลของธาตุมลทินทำให้น้ำโลหะมีความหนืดมากขึ้น เมื่อ Eutectic Si แยกตัวออกมาจากน้ำโลหะแล้วน้ำโลหะซึ่งมีความหนืดมากไม่สามารถโอบล้อม Eutectic Si เพื่อยับยั้งการเติบโตทำให้ผลึกของ Eutectic Si เติบโตขึ้นได้มากจึงมีลักษณะใหญ่และหยาบกว่าเมื่อเทียบกับผลึก Eutectic Si ใน A356 ซึ่งมีธาตุมลทินอยู่น้อยกว่า น้ำโลหะจึงมีความเหลวกว่าและสามารถโอบล้อมผลึกของ Eutectic Si ที่แข็งตัวออกมาจากน้ำโลหะได้มากกว่า ผลึก Eutectic Si ใน A356 จึงเติบโตได้น้อยกว่าโครงสร้างที่ได้จึงมีความละเอียดกว่า

แต่เมื่อนำอะลูมิเนียมทั้งสองชนิดมาผ่านการอบละลายและบ่มแข็งแล้วโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมทั้งสองจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะเดียวกัน คือ เมื่อมีการอบละลายชิ้นงานที่อุณหภูมิสูง Eutectic Si จะเกิดการแตกตัวเป็นชิ้นที่มีขนาดเล็กลงและมีรูปร่างที่มีขอบโค้งมน และอุณหภูมิที่สูงนี้จะมี Si บางส่วนปริมาณเล็กน้อยละลายและแพร่กลับเข้าไปในเนื้อ Matrix Al จนทำให้ Matrix Al กลายเป็นสารละลายของแข็งอิ่มตัวยังยวดยที่มีปริมาณ Si มากกว่าสภาวะปกติเล็กน้อย และเมื่อนำไปชุบน้ำอย่างรวดเร็วจนสารละลายของแข็งก็จะยังคงสภาวะอิ่มตัวยังยวดยนั้นไว้ ต่อมาเมื่อนำไปบ่มแข็งที่สภาวะต่างๆ Si ที่มากกว่าปกตินั้นจะเกิดการรวมตัวกับ Mg ที่ละลายอยู่ในเนื้อ Matrix อยู่แล้วฟอร์มเป็นเฟส Mg_2Si ขนาดเล็กมากมายกระจายทั่วทั้งเนื้อ มีผลทำให้ความแข็งแรงของโลหะเพิ่มสูงขึ้นแต่เฟส Mg_2Si ดังกล่าวมีขนาดที่เล็กมากๆจนไม่สามารถสังเกตและบ่งชี้ได้ด้วยกล้อง Optical Microscope

และเมื่ออะลูมิเนียมทั้งสองชนิดผ่านการบ่มแข็งเป็นเวลานานมากขึ้นเรื่อยๆ ในที่สุดโครงสร้างจุลภาคส่วนใหญ่จะมีลักษณะใกล้เคียงกันโดยมีความแตกต่างกันเล็กน้อย คือ ลักษณะของอินเตอร์เมทัลลิกเฟส (Intermetallic Phase) ที่ปรากฏปะปนอยู่ในเนื้อของโลหะทั้งสองชนิด โดยอินเตอร์เมทัลลิกเฟสในอะลูมิเนียมผสม A356 จะพบเฟส Intermetallic β -(Fe,Al,Si) มีลักษณะเป็นเข็มขนาดเล็กสี่แฉก (Needle Shape) กระจุกกระจายแทรกอยู่ในกลุ่ม Eutectic Si เฟสดังกล่าวค่อนข้างมีความเสถียรไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาด รูปร่าง ปริมาณ แม้ว่าจะผ่านกระบวนการทางความร้อนที่สภาวะต่างๆไปแล้วก็ตาม ซึ่ง Intermetallic β รูปเข็มนี้ถ้ามีจำนวนน้อยลงจะทำให้สมบัติด้านความเหนียวของชิ้นงานดีขึ้น

อินเตอร์เมทัลลิกเฟสที่พบใน Al-7%Si มีสองลักษณะ คือ เฟส Intermetallic α -(Fe,Mn,Al,Si) มีลักษณะเป็นเส้นเล็กยาวมีแขนงมากมายคล้ายตัวหนังสือจีน (Chinese Script) เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก และเฟส Intermetallic β -(Fe,Mn,Cr,Al,Si) รูปร่างเป็นแผ่นกลมหรือเหลี่ยม (Plate or Blocky) จำนวนมากเช่นกันกระจายอยู่ทั่วทั้งชิ้นงาน

จากการศึกษาที่ผ่านมาในอดีต (Mondolfo, 1976) กล่าวได้ว่า ตามปกติแล้วใน Al-Si Hypoeutectic Alloy ถ้ามี Fe ผสมอยู่จะทำให้เกิด Iron-rich Intermetallic แบบ β ซึ่งมักจะเป็นรูปเข็ม ซึ่งจะส่งผลทำให้สมบัติความแข็งแรงและการยึดตัวของชิ้นงานลดลง ชิ้นงานจะมีความเปราะมากขึ้น แต่หากมี Mn ผสมอยู่ด้วยจะทำให้เกิดการฟอร์มเฟส Intermetallic เป็นแบบ α ที่มีลักษณะคล้ายตัวหนังสือจีนแทนซึ่งจะช่วยลดผลเสียจาก Intermetallic แบบ β และยังช่วยให้ความเหนียวของชิ้นงานเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามหากปริมาณของ Fe และ Mn รวมกันเกินกว่า 0.8% โดยน้ำหนักก็จะทำให้เกิดการฟอร์มเฟส Intermetallic แบบ β ลักษณะเป็นแผ่นขึ้นมาด้วย ซึ่งจะทำให้สมบัติทางกลของชิ้นงานด้อยลง เนื่องจากเฟส Intermetallic แบบ Blocky มีความต้านทานการเฉือนของเนื้อวัสดุจากการรับแรงดึงได้น้อยกว่าแบบ Chinese Script ทำให้ชิ้นงานยึดตัวได้น้อยและเปราะมากขึ้น จึงสามารถอธิบายได้ถึงผลการทดสอบแรงดึงซึ่ง Al-7%Si มีปริมาณ Fe และ Mn สูงถึง 0.575% และ 0.564% ตามลำดับจึงทำให้เกิด Intermetallic แบบ β จำนวนมาก ความต้านแรงดึงและการยึดตัวของชิ้นงานทดสอบจึงต่ำ