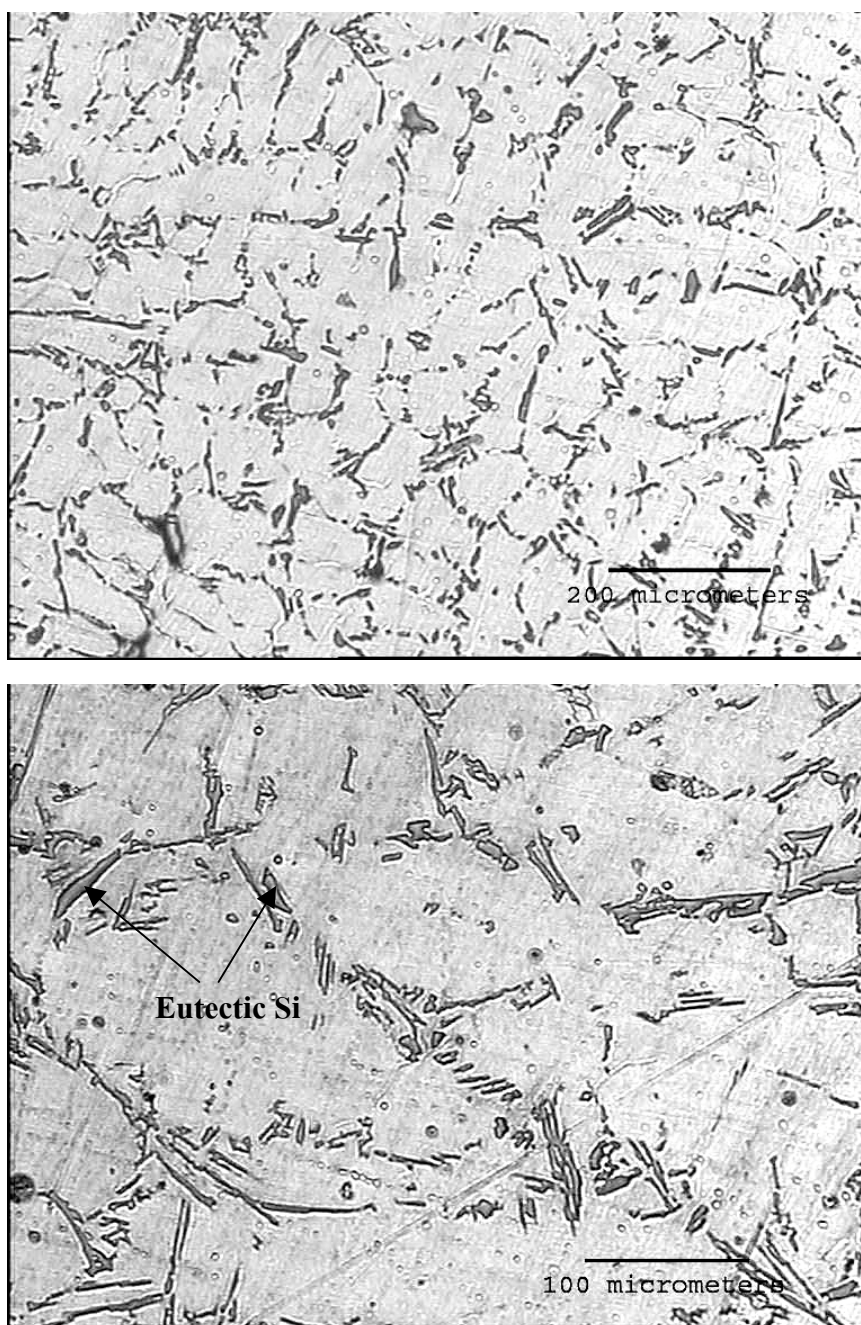


ภาคผนวก 1

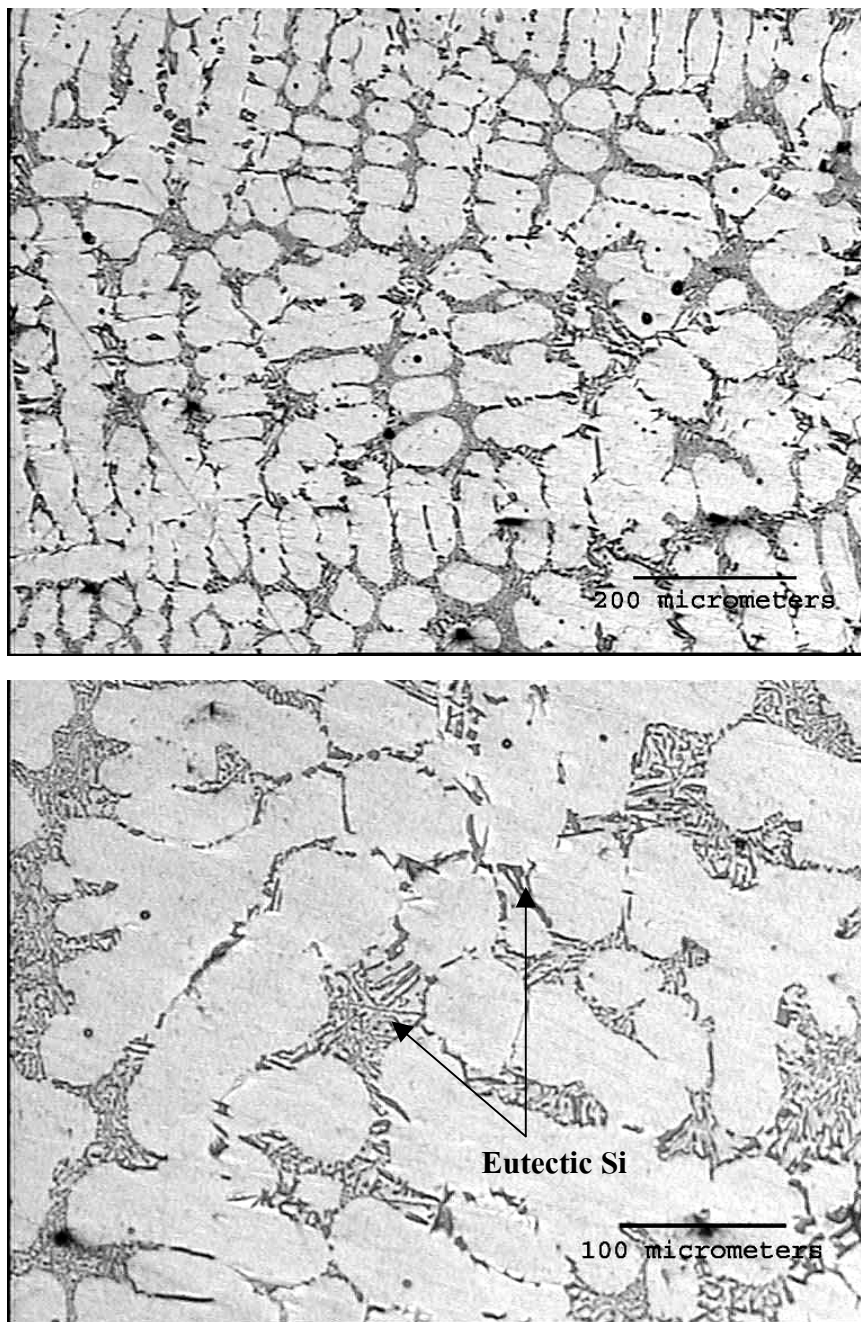
รูปขยายโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมผสม Al-7%Si ที่ผลิตจากกระป๋อง และ A356

Al-7%Si As Cast



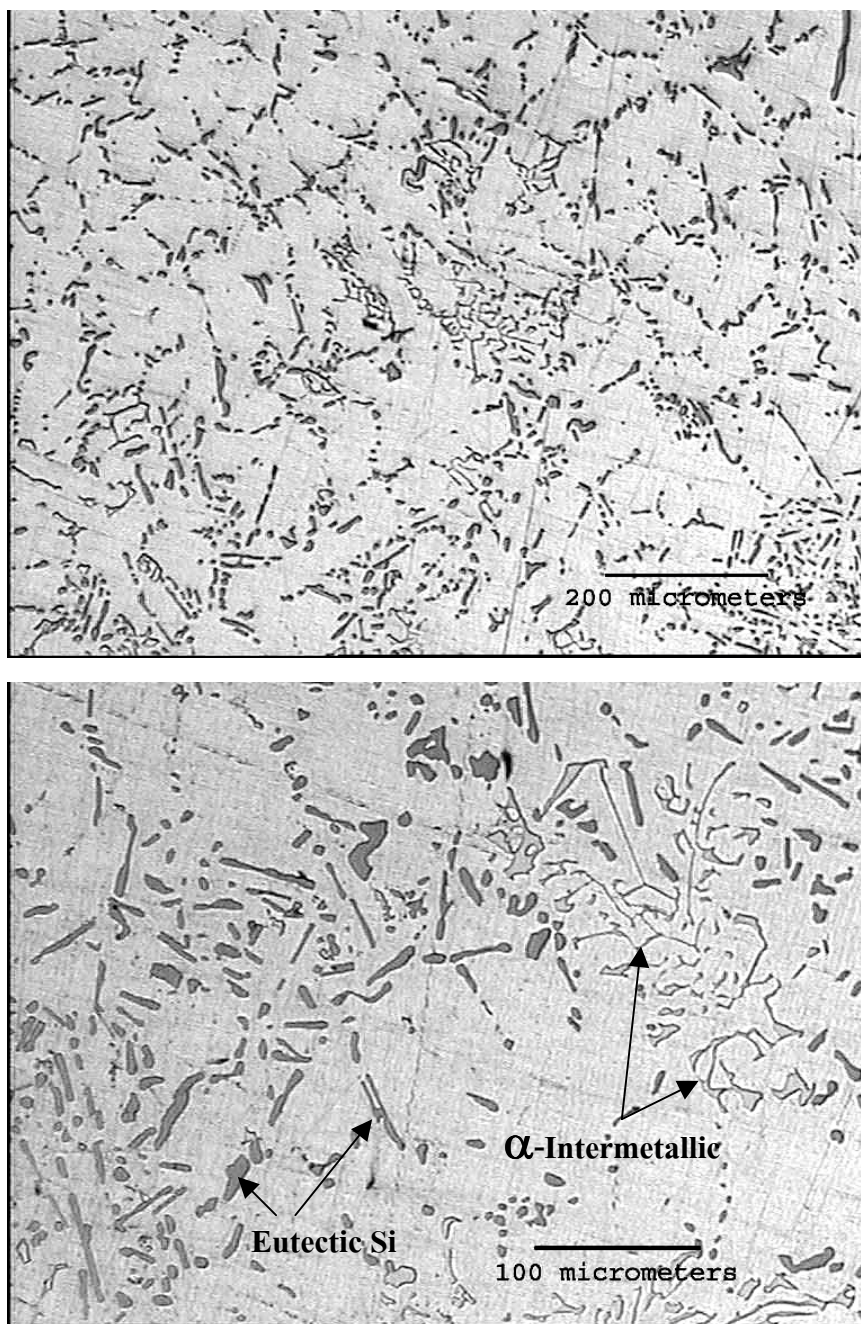
รูปที่ ผ.1 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ Al-7%Si ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อน
2 กำลังขยาย

A356 As Cast



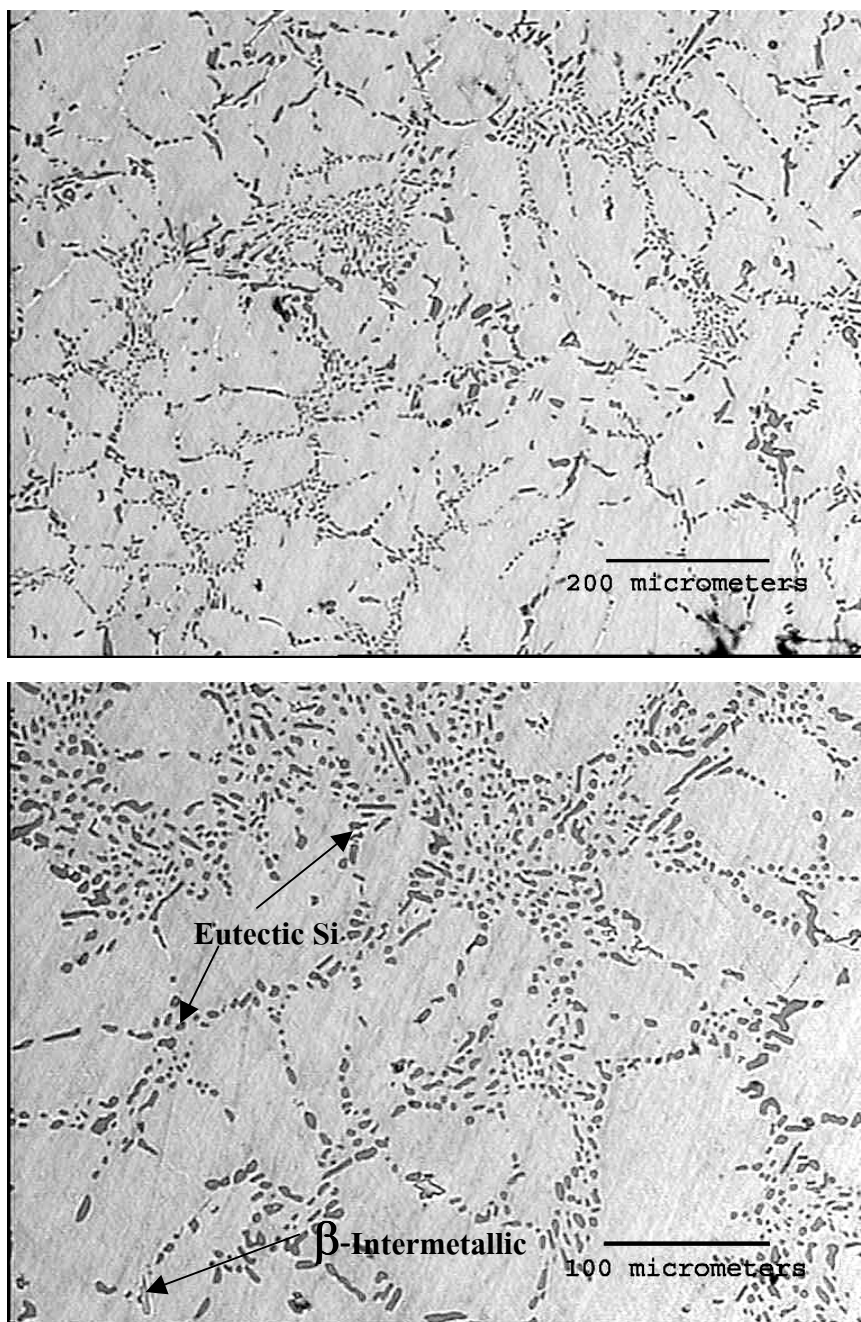
รูปที่ ๗.๒ โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ A356 ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อน 2 กำลังขยาย

Al-7%Si Solution Treated



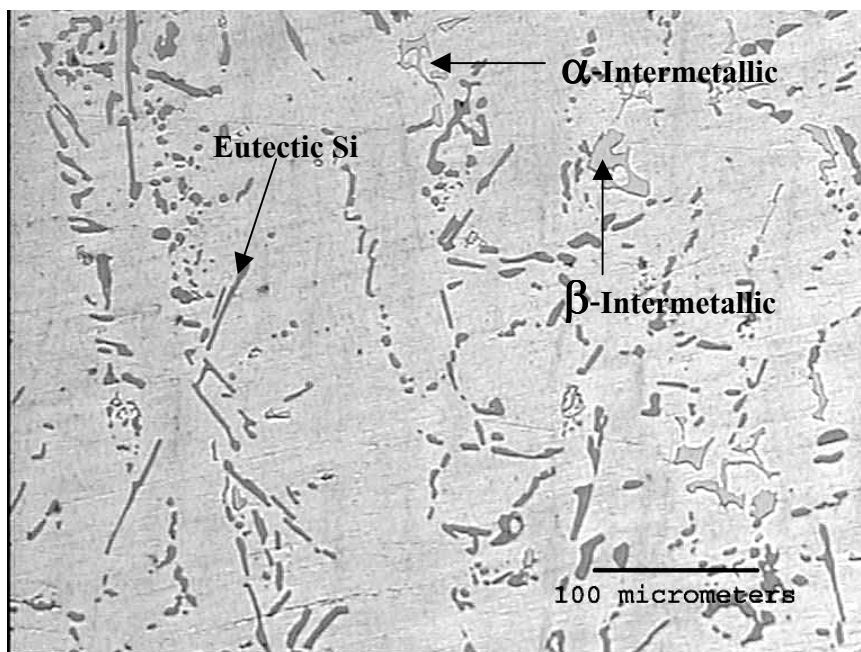
รูปที่ ผ.3 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ Al-7%Si ที่ผ่านการอบละลาย
2 กำลังขยาย

A356 Solution Treated



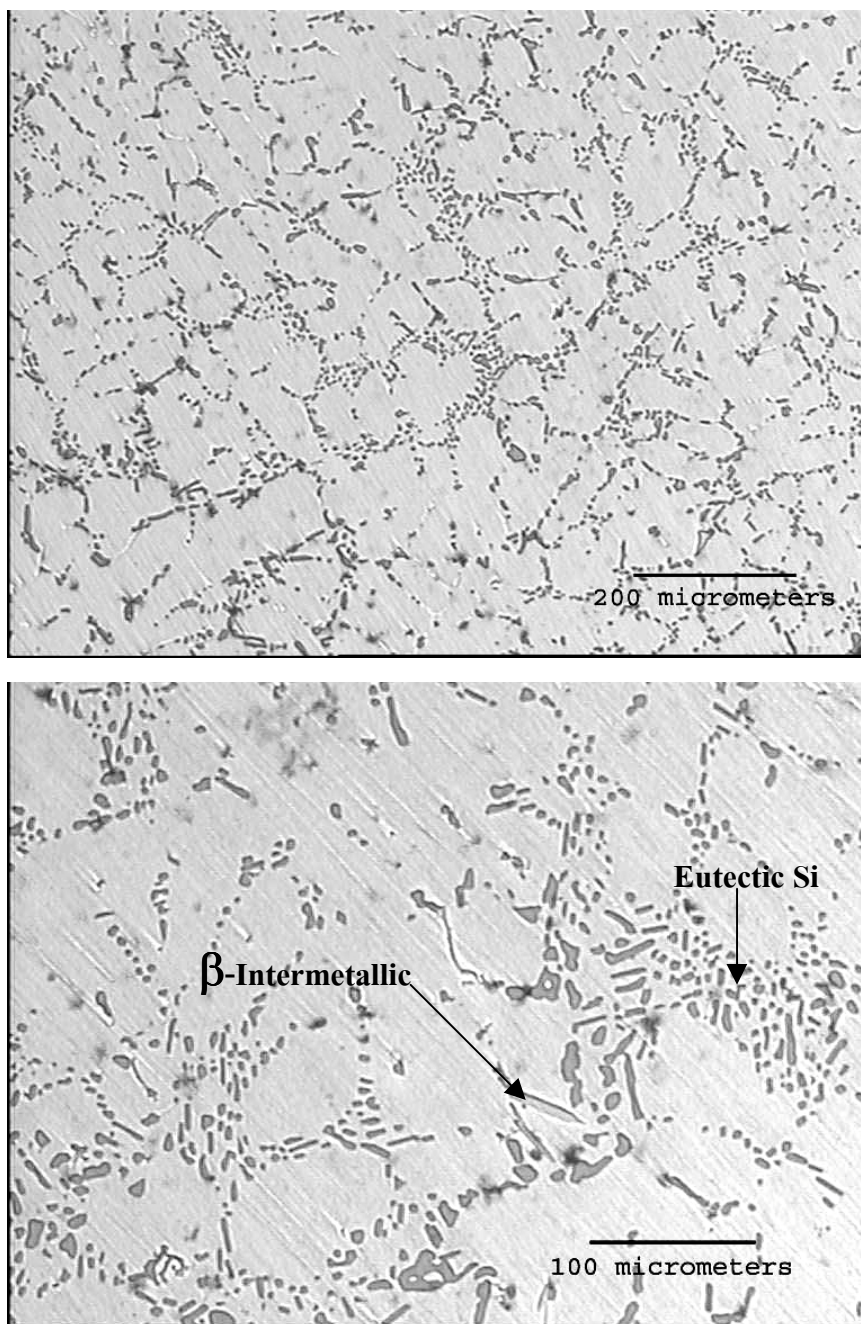
รูปที่ ผ.4 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ A356 ที่ผ่านการอบละลาย
2 กำลังขยาย

Al-7%Si Aged 120°C 2hrs (Under Aged)



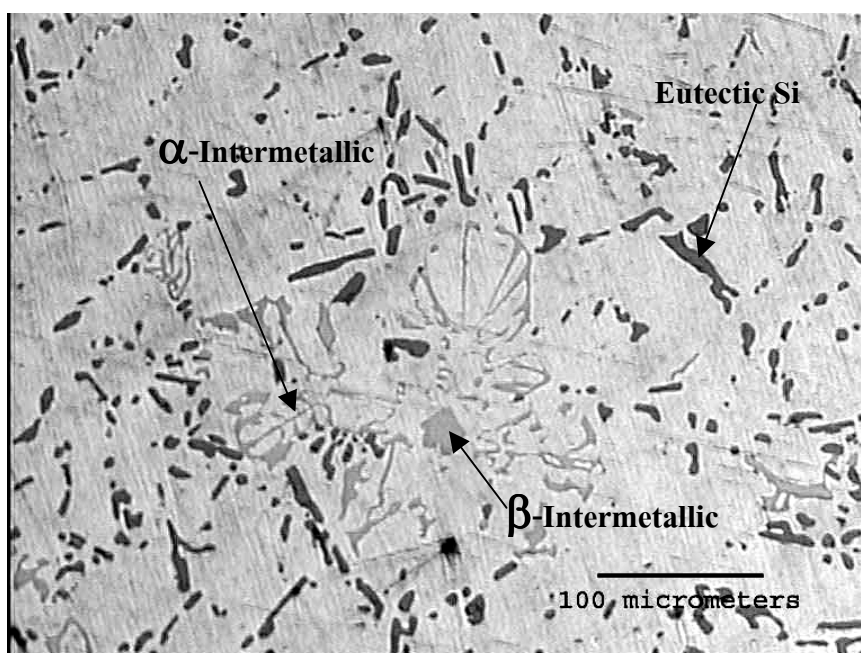
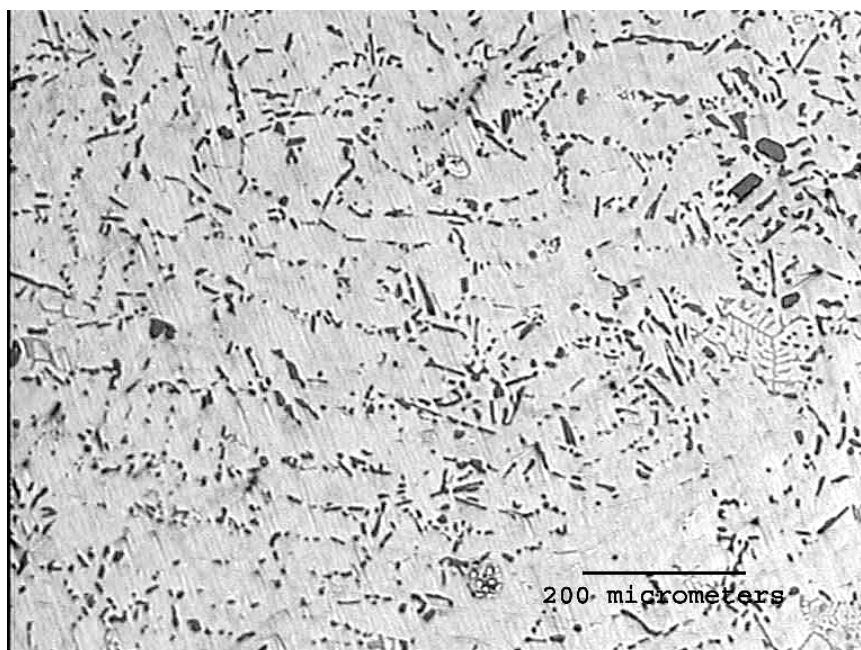
รูปที่ ผ.5 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ Al-7%Si ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

A356 Aged 120°C 2hrs (Under Aged)



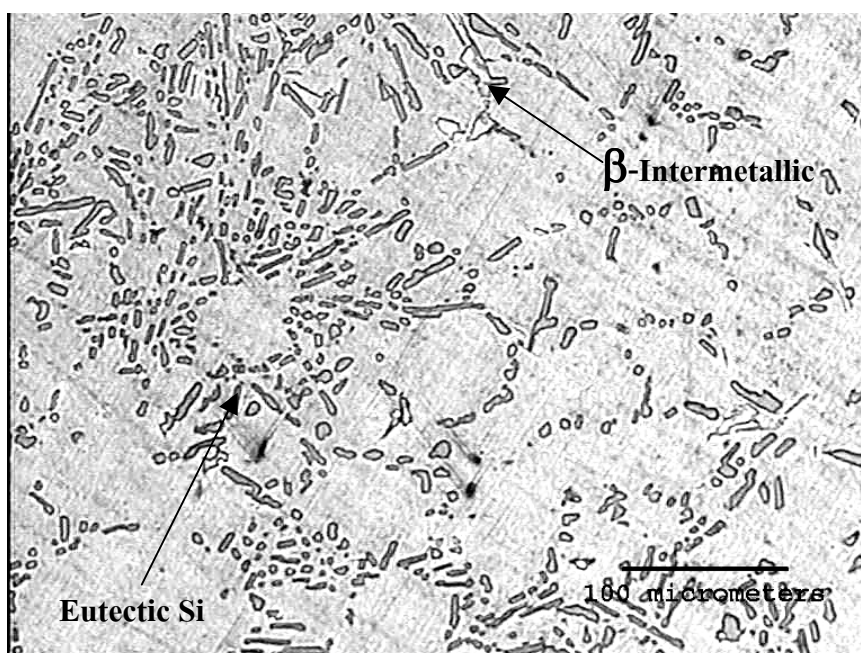
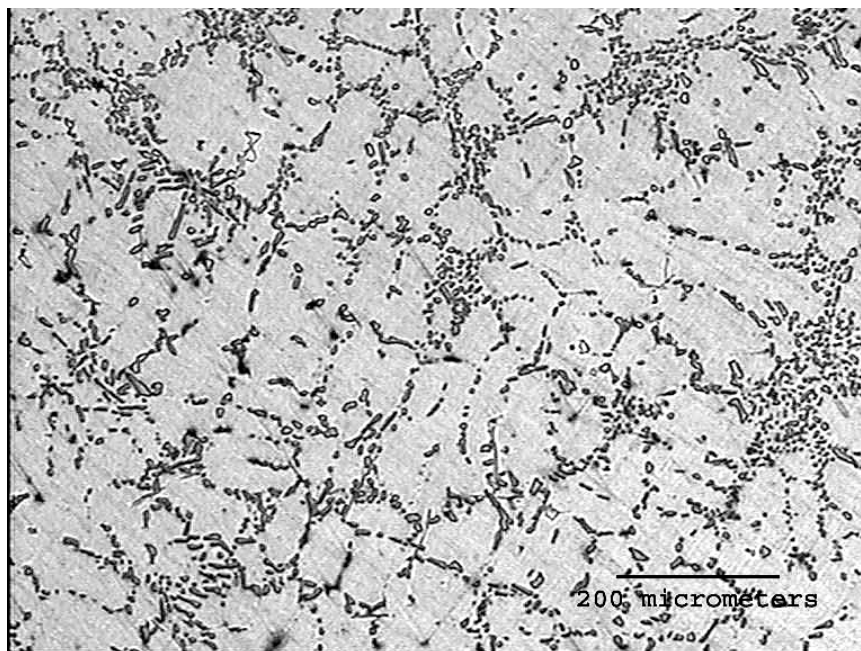
รูปที่ ผ.6 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ A356 ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

Al-7%Si Aged 120°C 10hrs (Optimum Aged)



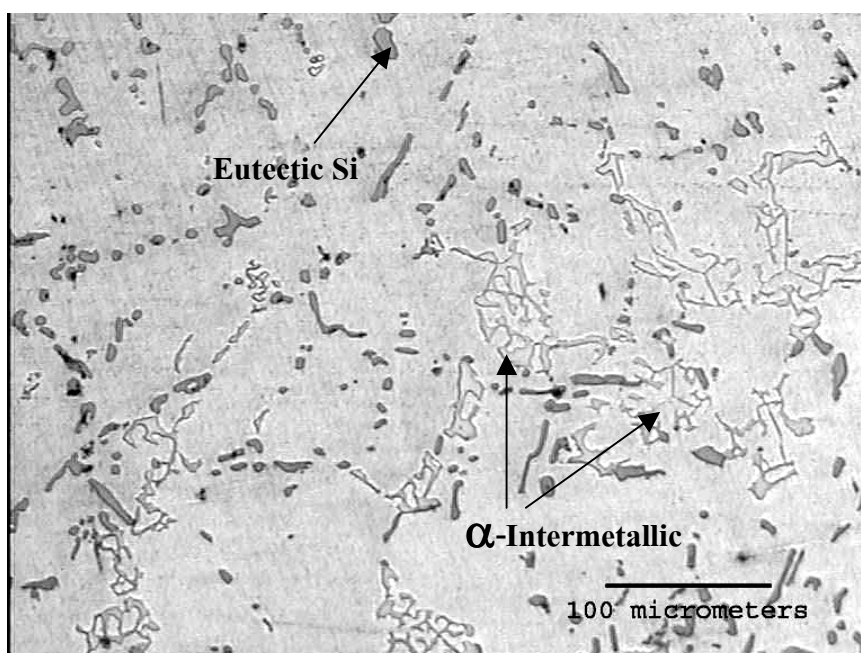
รูปที่ ๗.7 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ Al-7%Si ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง 2 คำถึงขยาย

A356 Aged 120°C 12hrs (Optimum Aged)



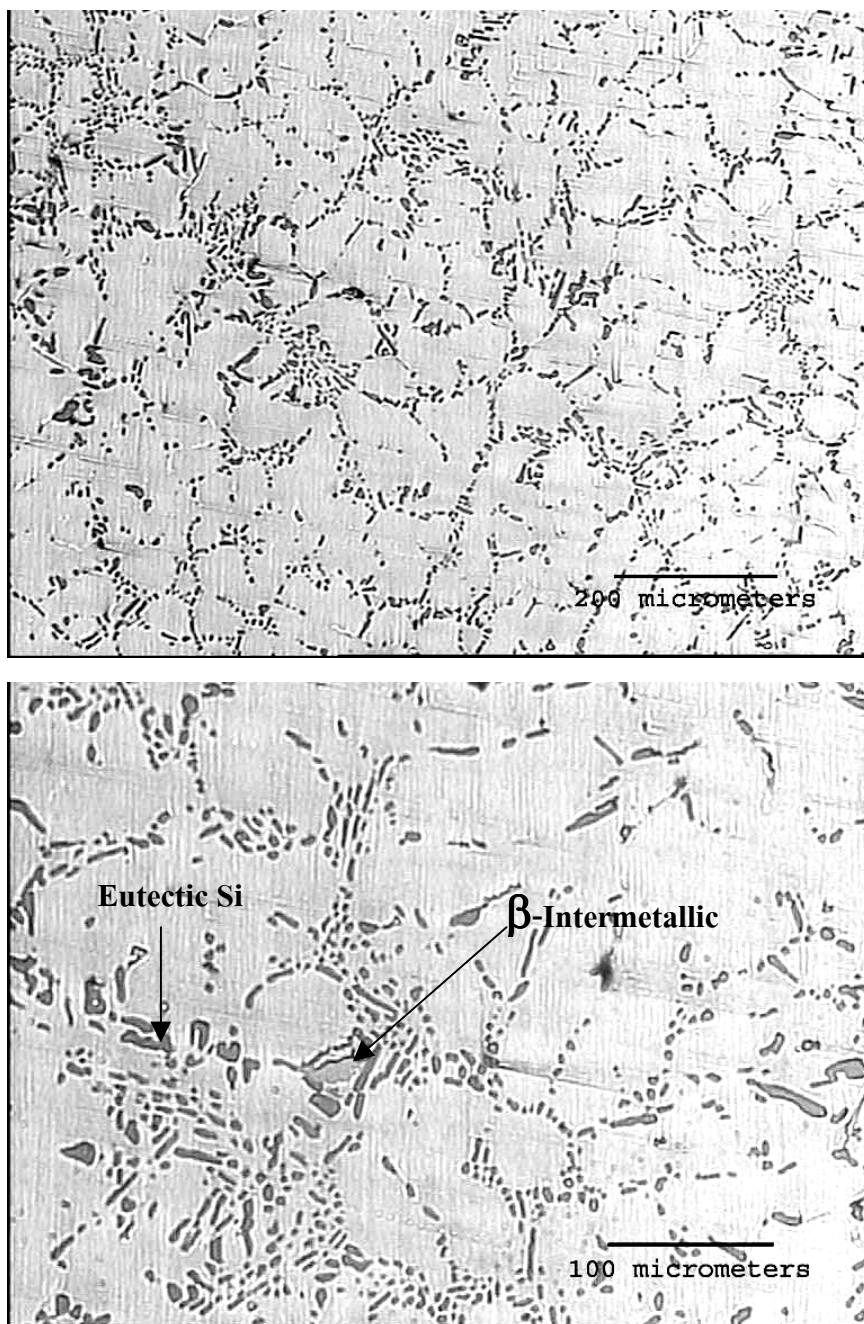
รูปที่ ผ.8 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ A356 ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

Al-7%Si Aged 120°C 16hrs (Over Aged)



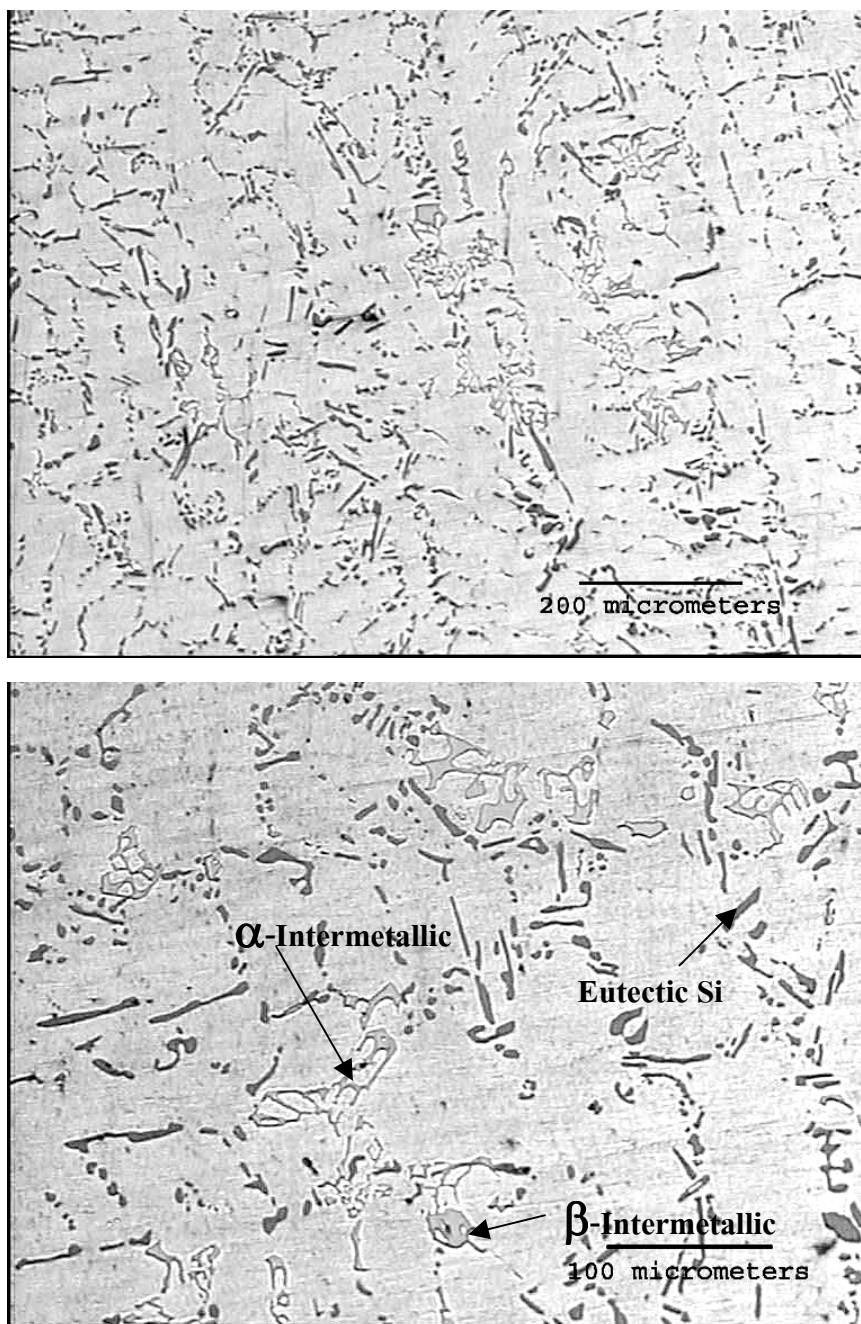
รูปที่ ผ.9 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ Al-7%Si ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

A356 Aged 120°C 16hrs (Over Aged)



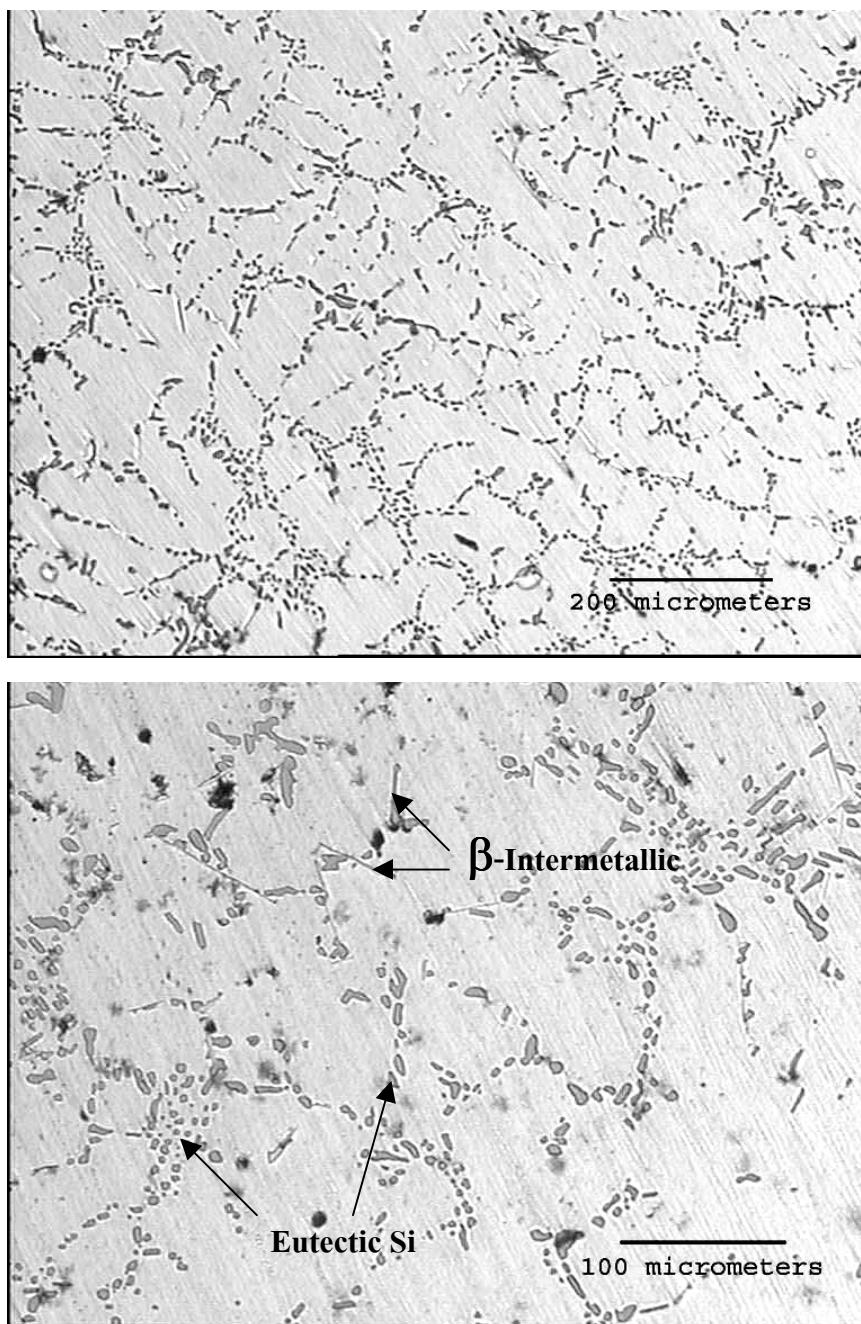
รูปที่ ๗.10 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ A356 ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

Al-7%Si Aged 150°C 2hrs (Under Aged)



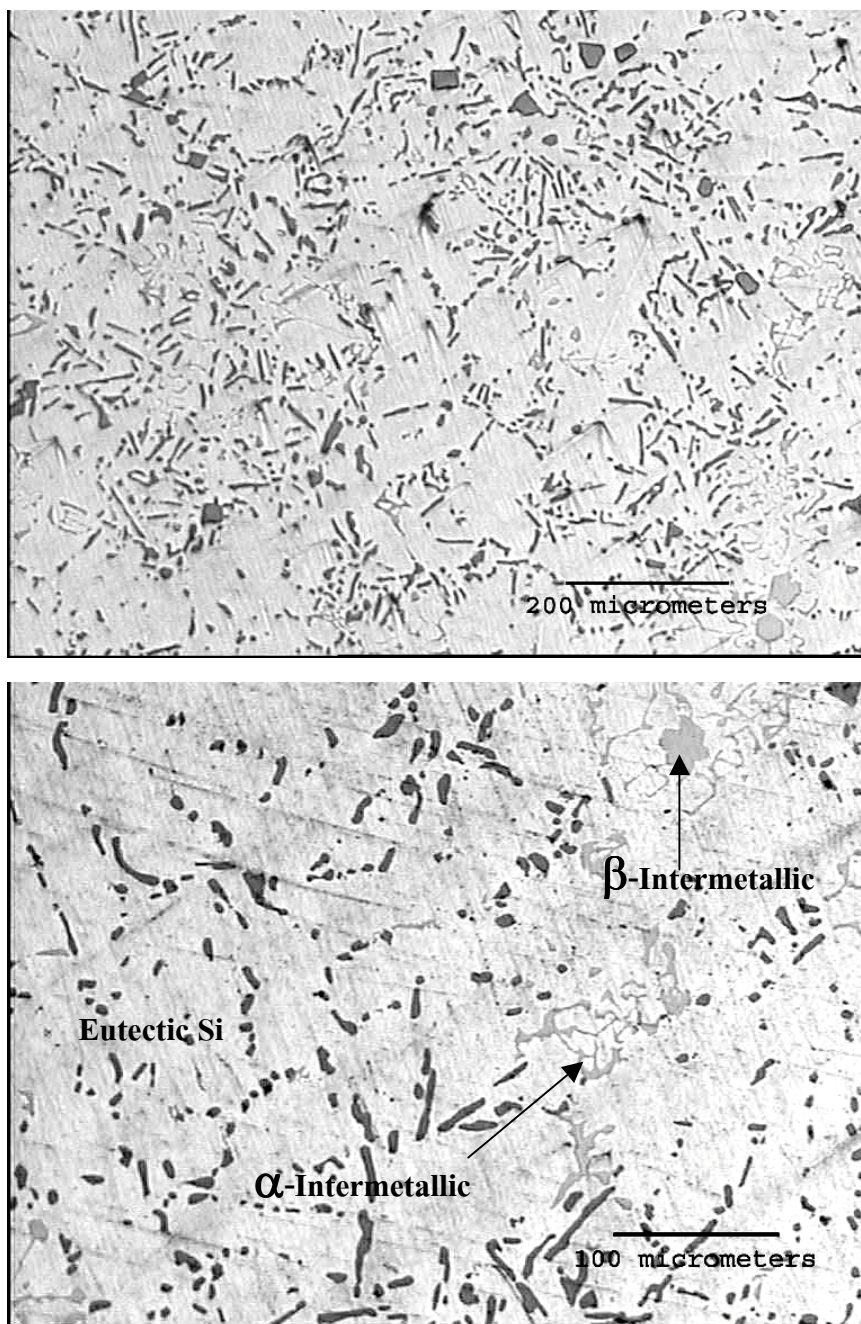
รูปที่ ผ.11 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ Al-7%Si ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

A356 Aged 150°C 2hrs (Under Aged)



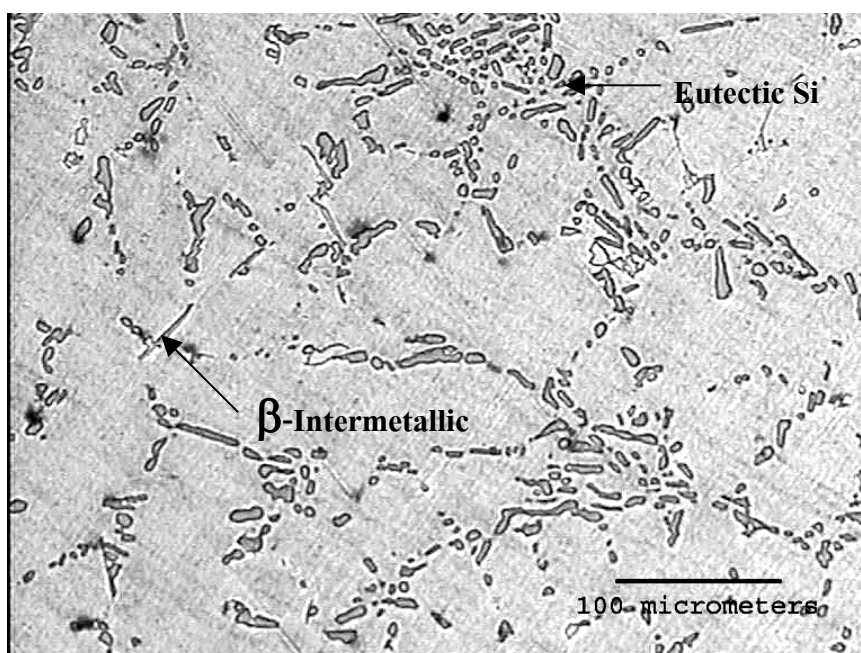
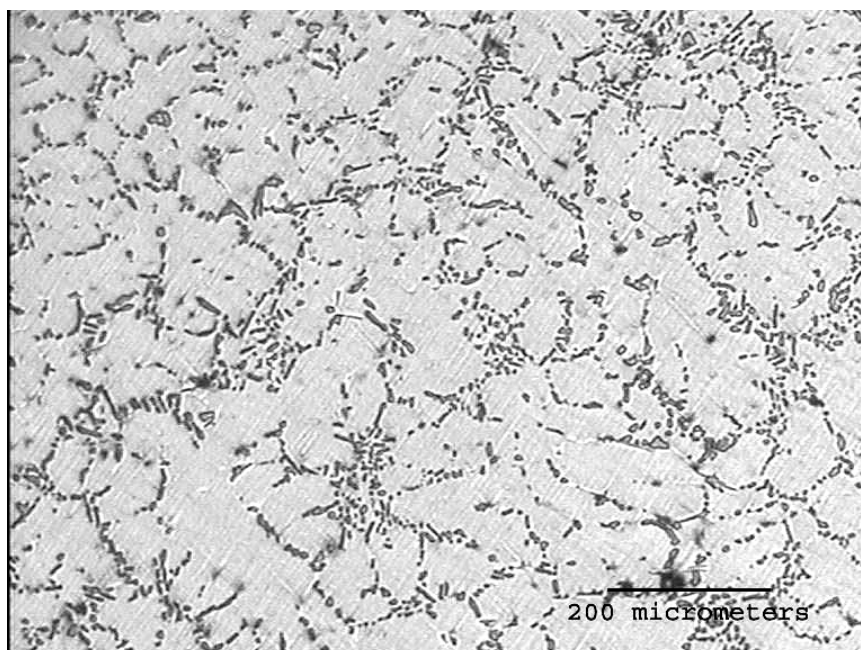
รูปที่ ๑๒ โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ Al-7%Si ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

Al-7%Si Aged 150°C 6hrs (Optimum Aged)



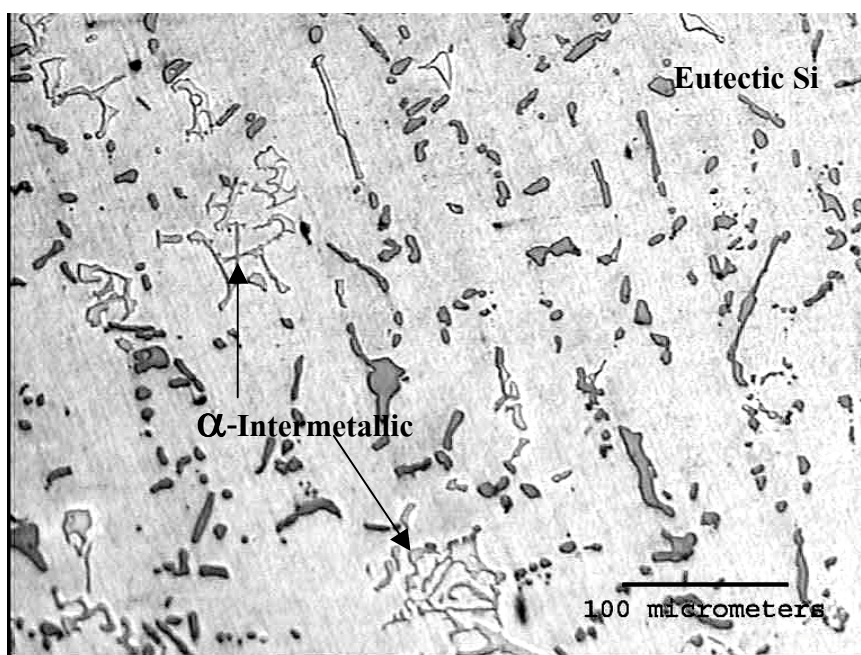
รูปที่ ผ.13 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ Al-7%Si ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

A356 Aged 150°C 6hrs (Optimum Aged)



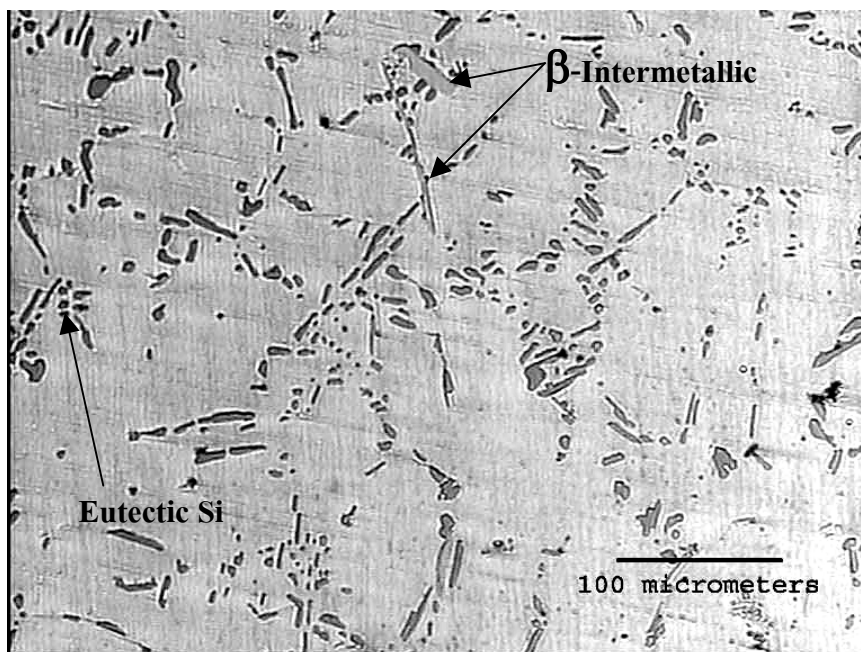
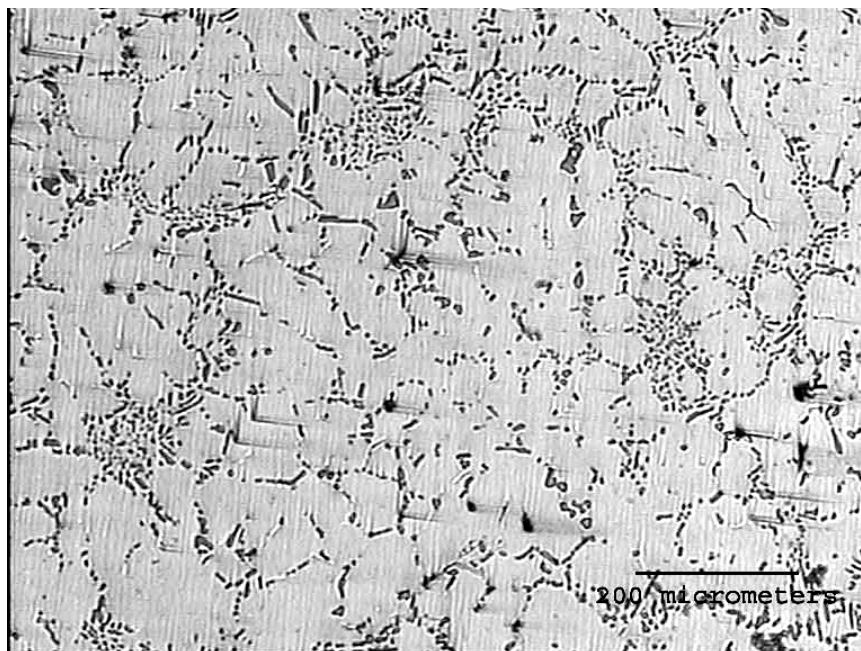
รูปที่ ผ.14 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ A356 ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

Al-7%Si Aged 150°C 16hrs (Over Aged)



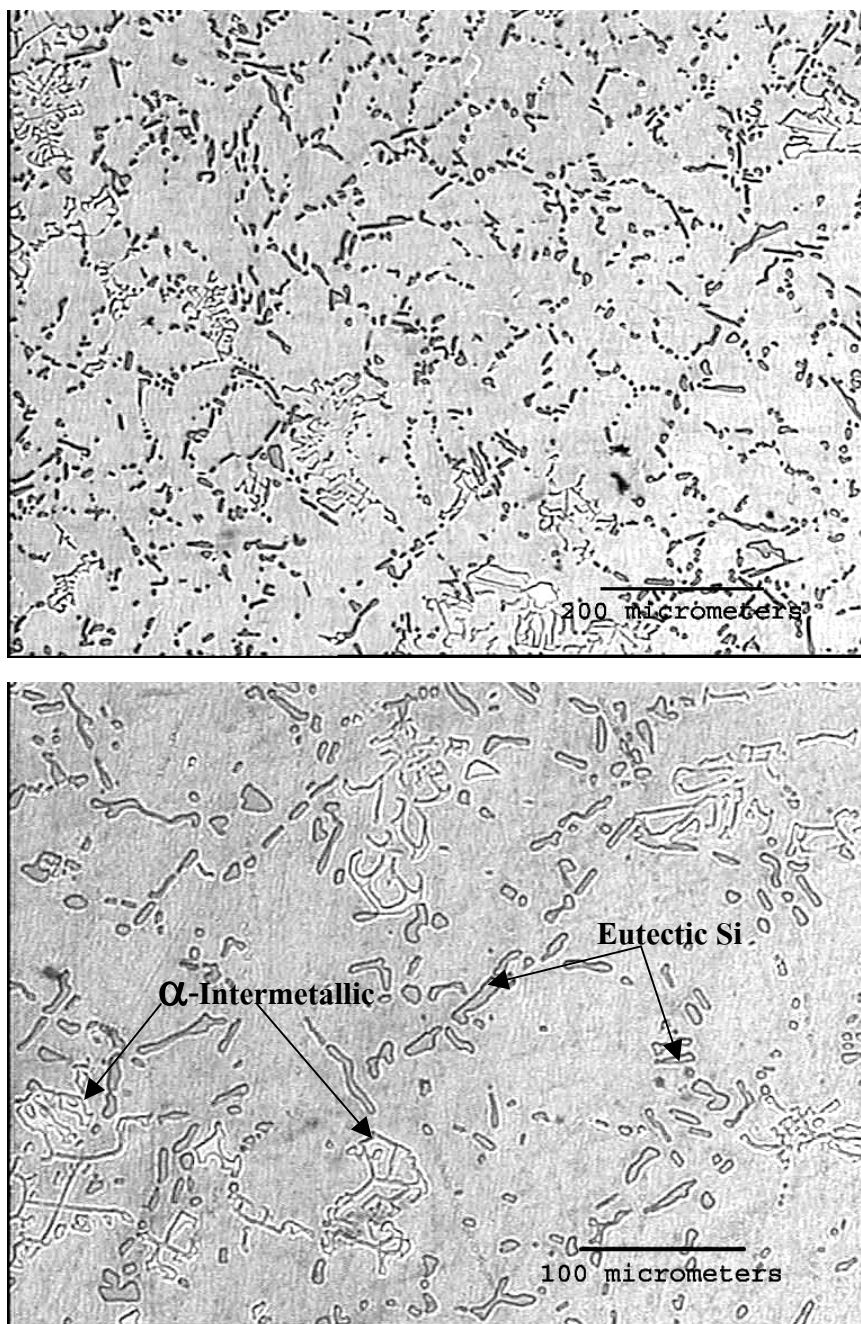
รูปที่ ผ.15 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ Al-7%Si ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

A356 Aged 150°C 16hrs (Over Aged)



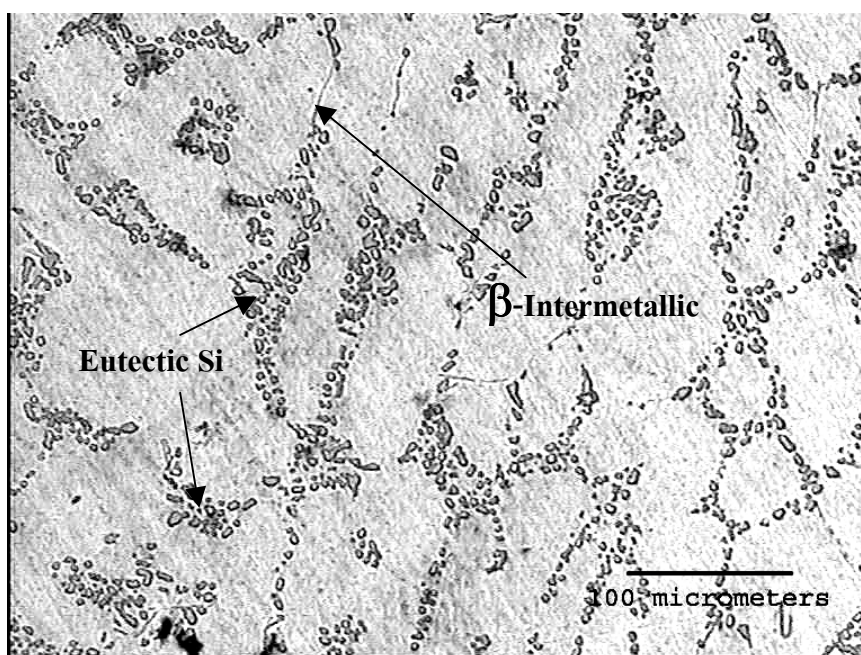
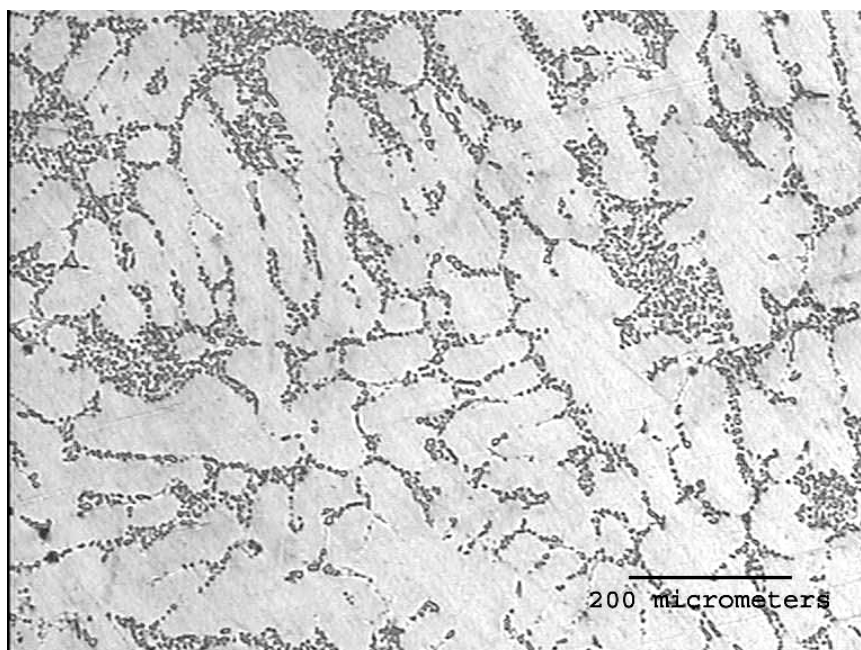
รูปที่ ผ.16 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ A356 ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

Al-7%Si Aged 175°C 2hrs (Under Aged)



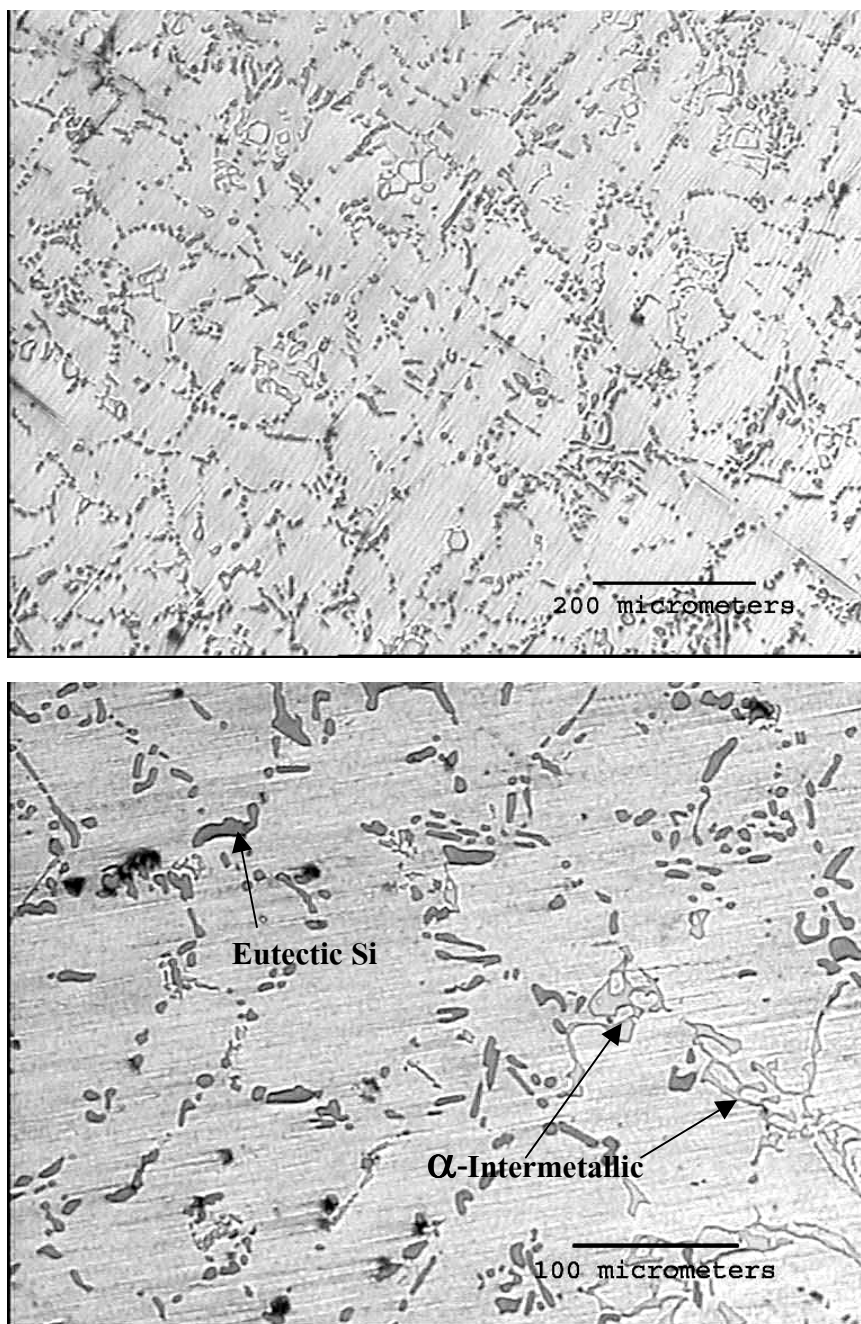
รูปที่ ผ.17 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ Al-7%Si ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 175°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

A356 Aged 175°C 2hrs (Under Aged)



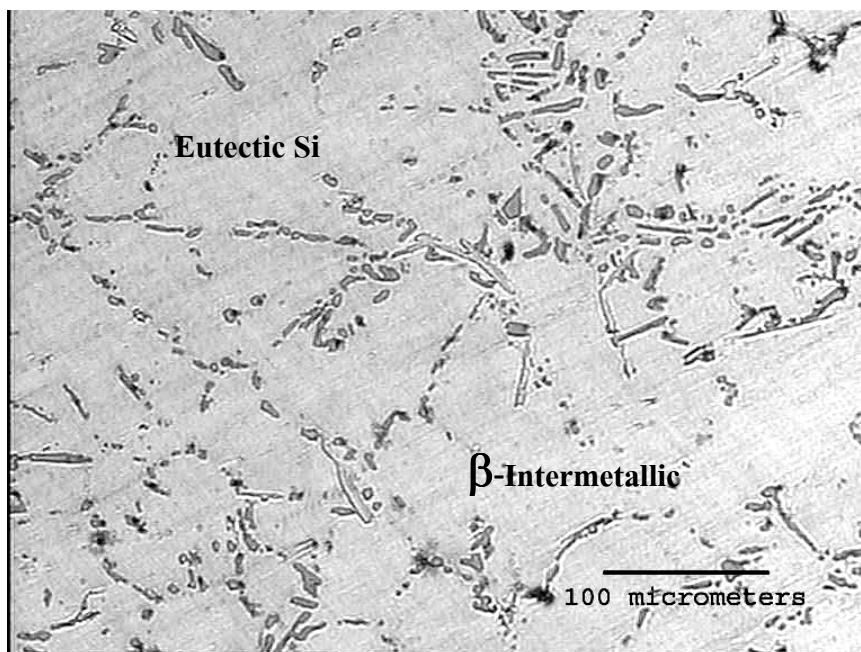
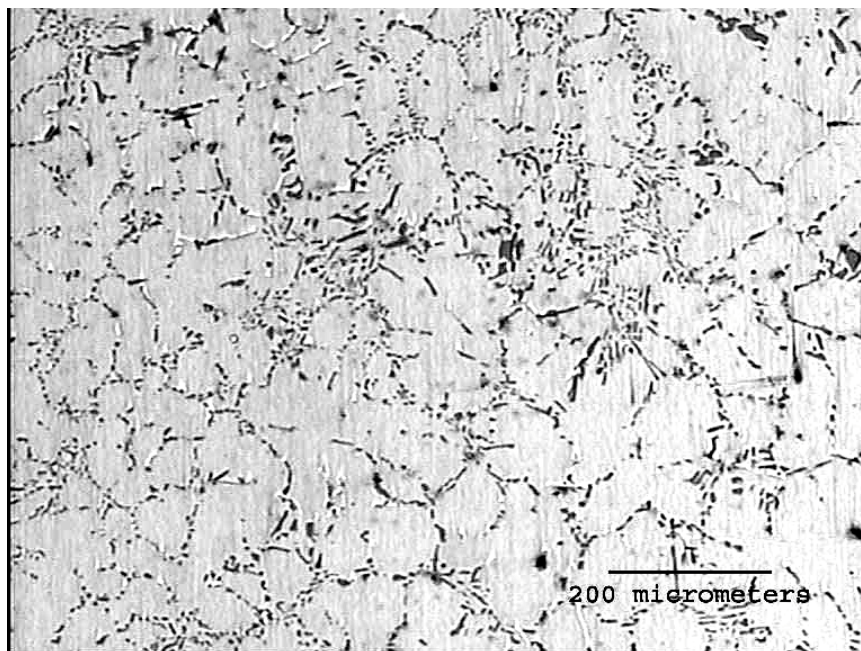
รูปที่ ๗.18 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ A356 ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 175°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

Al-7%Si Aged 175°C 4hrs (Optimum Aged)



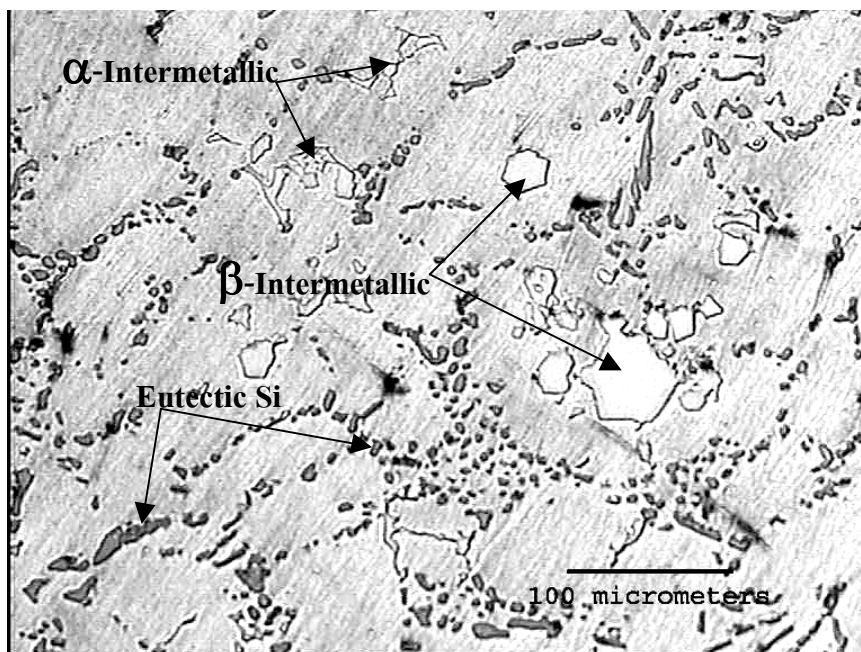
รูปที่ ผ.19 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ Al-7%Si ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 175°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

A356 Aged 175°C 4hrs (Optimum Aged)



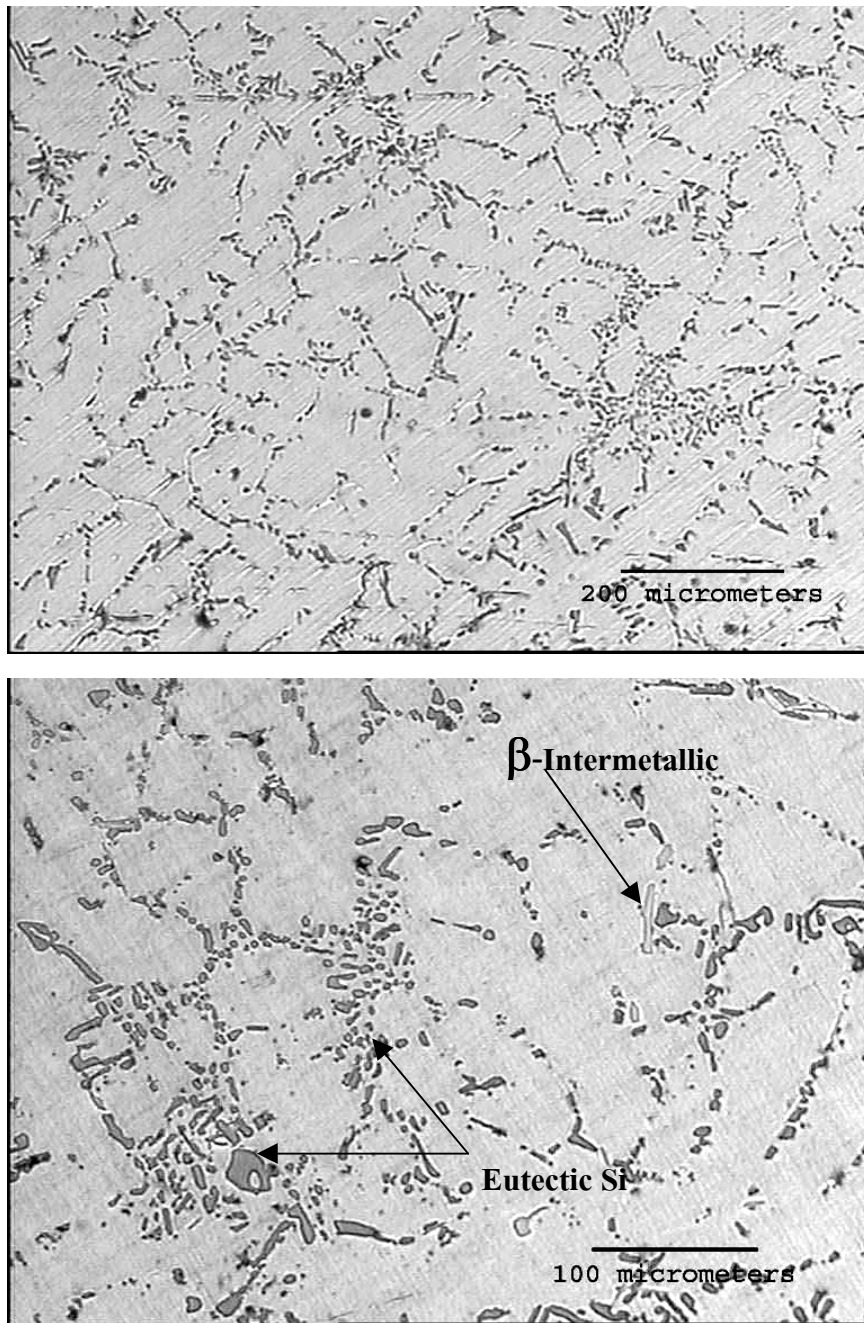
รูปที่ ผ.20 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ A356 ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 175°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

Al-7%Si Aged 175°C 16hrs (Over Aged)



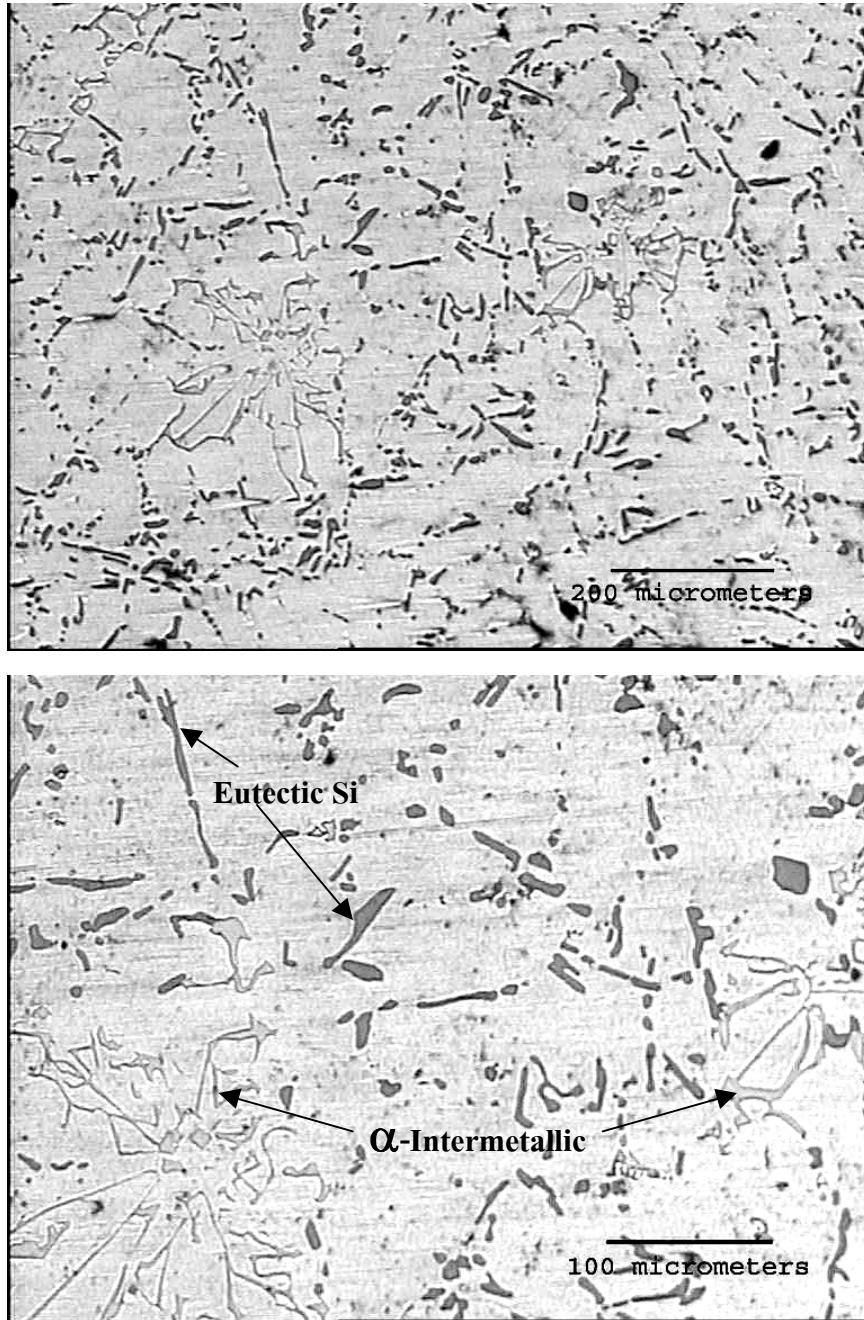
รูปที่ ผ.21 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ Al-7%Si ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 175°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

A356 Aged 175°C 16hrs (Over Aged)



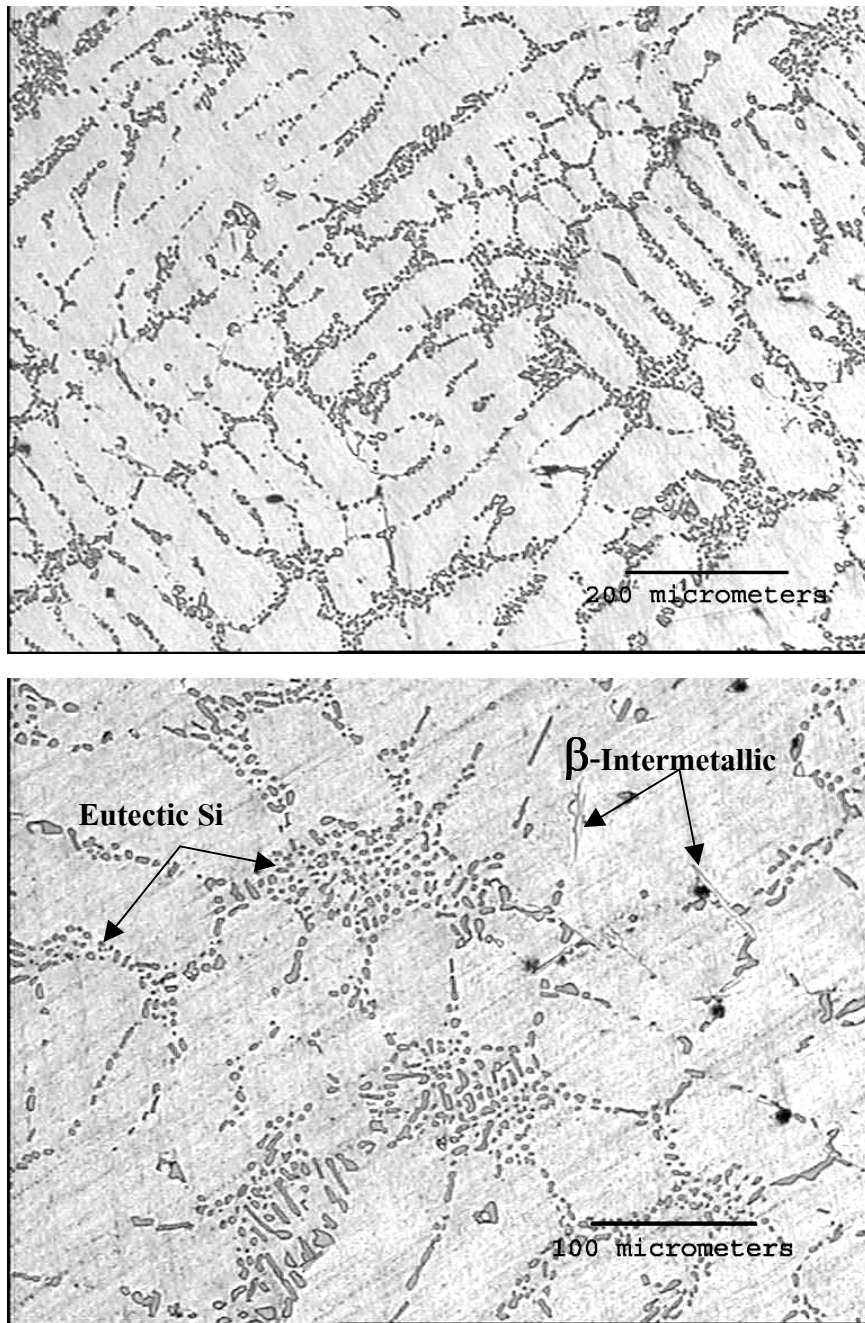
รูปที่ ผ.22 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ A356 ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 175°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

Al-7%Si Aged 205°C 2hrs (Optimum Aged)



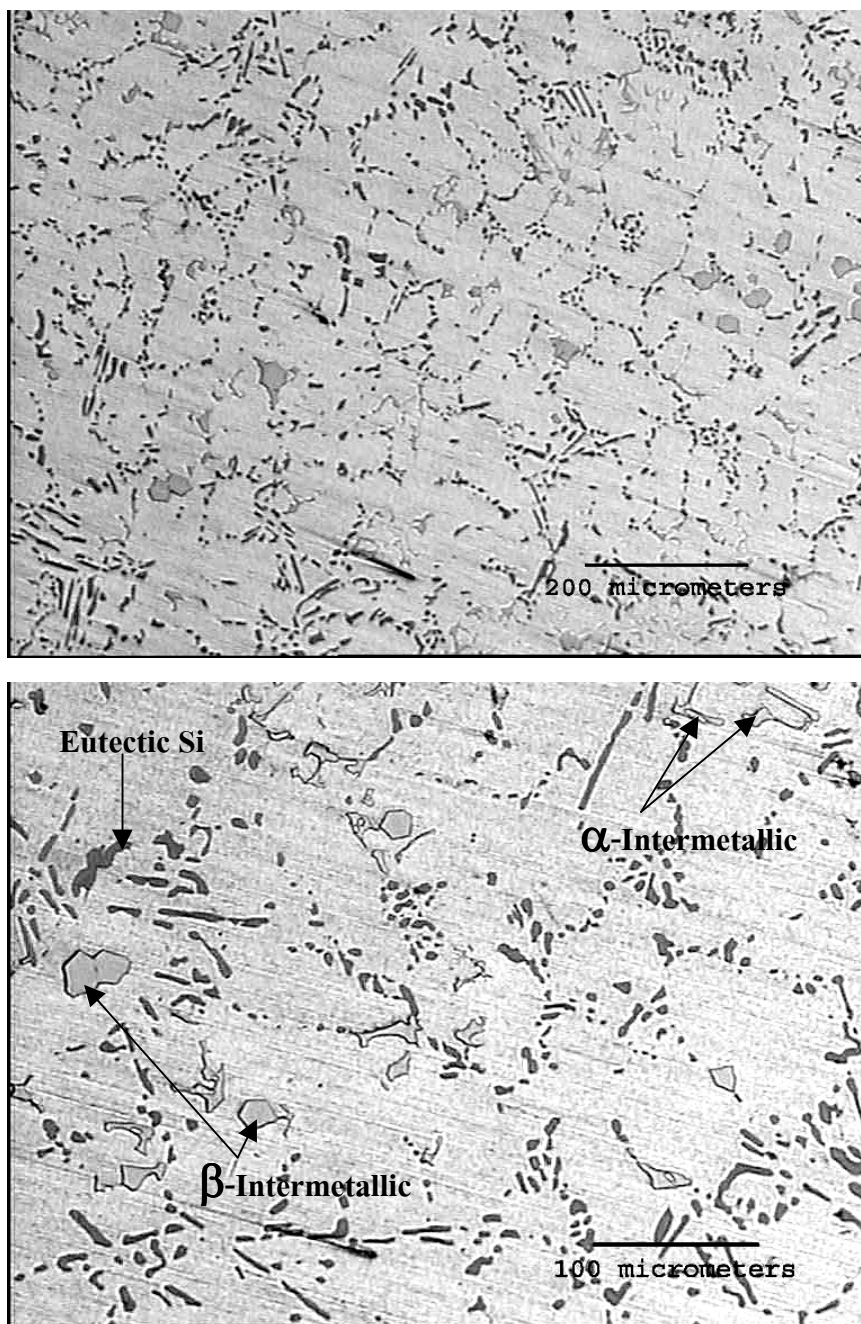
รูปที่ ผ.23 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ Al-7%Si ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 205°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

A356 Aged 205°C 2hrs (Optimum Aged)



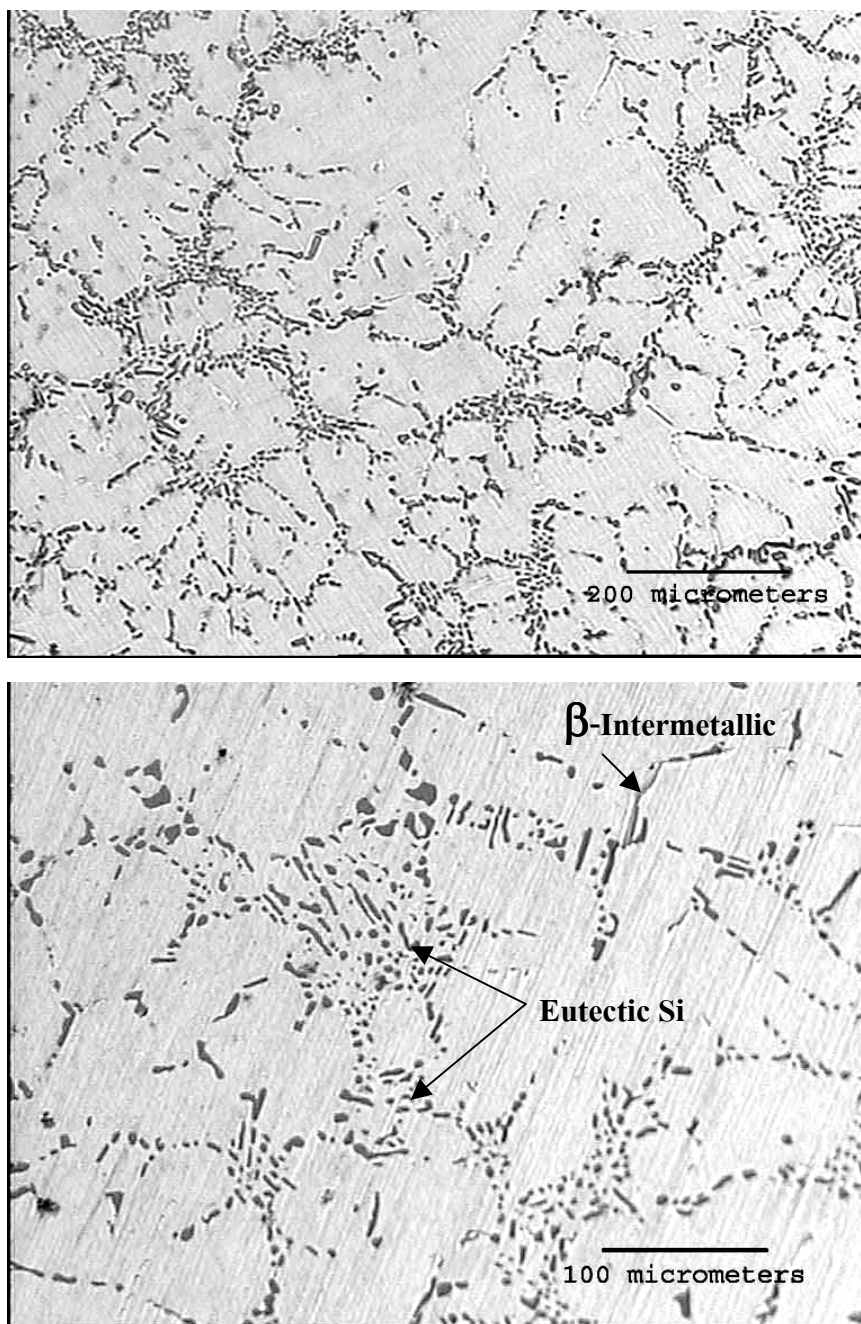
รูปที่ ๒๔ โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ A356 ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 205°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

Al-7%Si Aged 205°C 16hrs (Over Aged)



รูปที่ ผ.25 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ Al-7%Si ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 205°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

A356 Aged 205°C 16hrs (Over Aged)



รูปที่ ผ.26 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ A356 ที่ผ่านการอบละลาย แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 205°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง 2 กำลังขยาย

ภาคผนวก 2

ผลงานที่เผยแพร่ในการประชุมวิชาการ

การปรับปรุงสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมที่หล่อจากกระป๋องเครื่องดื่มใช้แล้ว ด้วยการเติมซิลิกอนและกระบวนการทางความร้อน

Improving of Mechanical Properties of Aluminium Cast from Recycled Beverage Cans by Silicon Addition and Heat Treatment

ทิวชาติ เย็นวิเศษ¹, สิริกุล วิสุทธิเมฆางกูร², เล็ก สีทอง¹, ธวัชชัย ปุณณผล¹, ประภาส เมืองจันทร์บุรี¹

Tawichat Yenwiset¹, Sirikul Wisutmethangoon², Lek Sikong¹,

Thawatchai Plookphol¹, Prapas Muangjunburee¹

¹ Department of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkhla University, Hatyai, Songkhla 90112, Thailand

² Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkhla University, Hatyai, Songkhla 90112, Thailand

บทคัดย่อ:

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของตัวแปรในกระบวนการทางความร้อน ได้แก่ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของ Al-7%Si ที่ผลิตได้จากการนำกระป๋องเครื่องดื่มมาหลอม โดยนำไปเปรียบเทียบกับอะลูมิเนียมมาตรฐานชนิด A356(Al-7%Si-0.3Mg)ที่หล่อและผ่านกระบวนการทางความร้อนสภาวะเดียวกัน ผลการทดสอบแรงดึงและความเหนียวของ Al-7%Si มีสมบัติดังกล่าวคล้ายกับ A356 แต่มีความแข็งแรงสูงกว่า ทั้งนี้พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลและโครงสร้างของอะลูมิเนียมทั้งสองเมื่อนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อนเป็นไปในลักษณะเดียวกัน

Abstract:

The aim of this research was to study the effect of heat treatment parameters; temperature and time of the aging treatment, on mechanical behavior and microstructure of Al-7%Si cast from used aluminum beverage cans . Mechanical properties of the Al-7%Si were investigated by tensile tests and hardness test and study to the microstructures compared with A356 alloy(Al-7%Si). The result indicated that tensile properties of Al-7%Si are lower than A356 but hardness is better. It is also noted that mechanical properties and microstructures behavior of both alloys were changed in the same manner.

Introduction:

Aluminum-silicon alloys are known for its good castability and good corrosion resistance. In this alloy series, A356 (Al-7%Si-0.3%Mg) is a very good properties cast aluminum alloy and widely used to produce many important parts which required strength, elongation, impact resistance and light weight. With the percentage of silicon less than 12%, it is referred to as hypoeutectic. Magnesium addition makes this alloy heat treatable, and hence improves its mechanical properties by forming Mg₂Si phase. Heat treatment processing includes 3 following steps: solution treatment, quenching and aging. Solution treatment makes Mg₂Si particles in the aluminum alloy dissolve and diffuse throughout the matrix as solid solution. Upon rapid quenching the solution-treated sample, magnesium stays in the matrix as the supersaturated solid solution, and ready to precipitate out during aging process. These intermetallic precipitates enhance the mechanical properties by precipitation hardening. It is the purpose of this research to recycle beverage cans and add Si to be 7%wt.Si to make a related alloy of A356 but cheaper.

Methodology:

Al-7%Si alloy was prepared from melting the recycled beverage cans and adding Si into the molten metal. Both of Al-7%Si and A356 were cast in sand mould. The chemical composition

of as-cast Al-7%Si and as-cast A356 specimens was analyzed by emission spectrometer as shown in Table 1 and Table 2.

The as-cast specimens were machined to the standard size of tensile test specimens. All specimens were solution treated at 540°C for 12 hours followed by water quench at 65°C then artificial age-hardened at various temperatures and times. Four different aging temperatures were selected, 120 °C, 150 °C, 175°C and 205°C for 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, and 16 hours. Tensile properties were tests at the strain rate of 10^{-3} s^{-1} . The tensile properties of each condition were averaged from three measured specimens with the same heat treated condition. The hardness was measured by using Vickers micro-hardness test and the results were in HV unit. The testing head load has been fixed at 100 grams. Hardness values were averaged over ten measurements taken at different points on the cross-section of the measured specimen.

Results, Discussion and Conclusion:

The chemical composition of as-cast Al-7%Si prepared from recycled aluminum cans and as-cast A356 are shown in Table 1 and Table 2.

Table 1. Chemical Composition of as cast Al-7%Si alloy

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni
6.781	0.575	0.164	0.564	0.706	0.078	0.037	0.031	0.012

Table 2. Chemical Composition of as cast A356 alloy

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni
7.622	0.156	0.049	0.012	0.265	0.016	0.109	0.018	-

Note that the Fe, Mn, Mg and Cr contents in Al-7%Si alloy exceed those in A356.

Tension and Hardness Results

The variation in average ultimate tensile strength, % elongation, and hardness when exposed to different temperatures for different intervals of time are shown

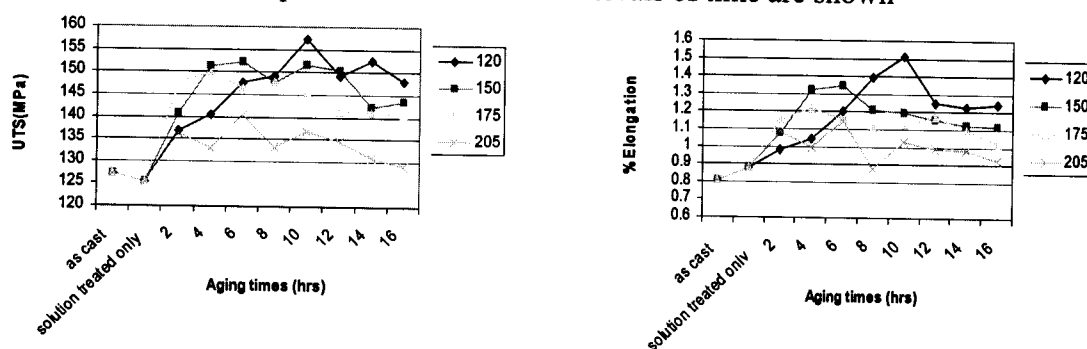


Fig. 1. The average ultimate tensile strength and % elongation of Al-7%Si specimens.

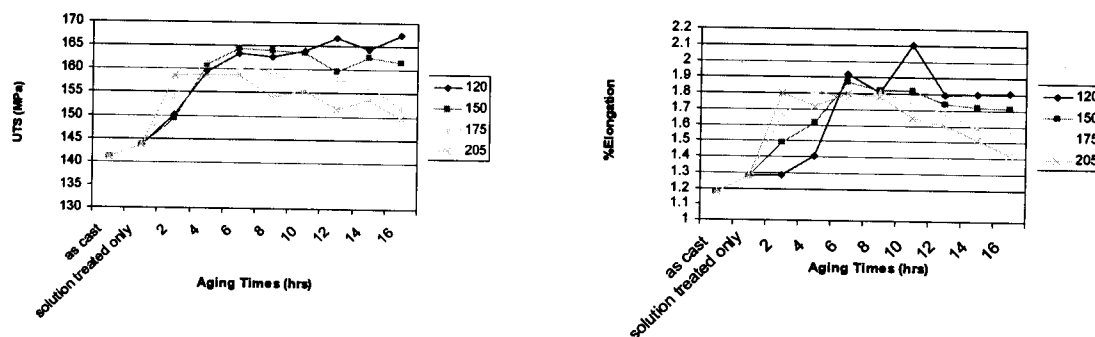


Fig. 2. The average ultimate tensile strength and % elongation of A356 specimens.

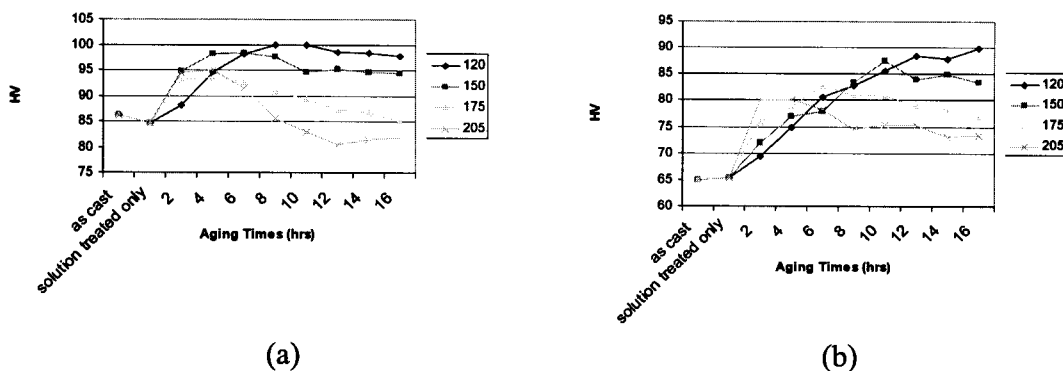


Fig. 3. The average hardness of (a) Al-7%Si and (b) A356 specimens.

Microstructures

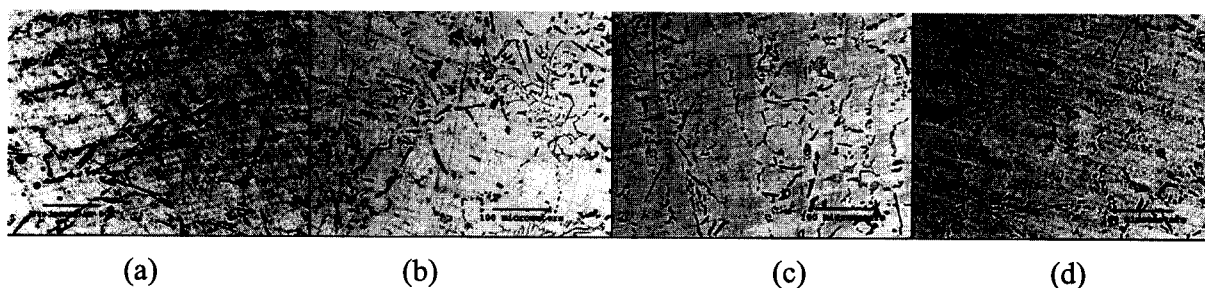


Fig. 4. Microstructure of (a) as-cast, (b) solution treated, (c) under aged and (d) over aged of Al-7%Si

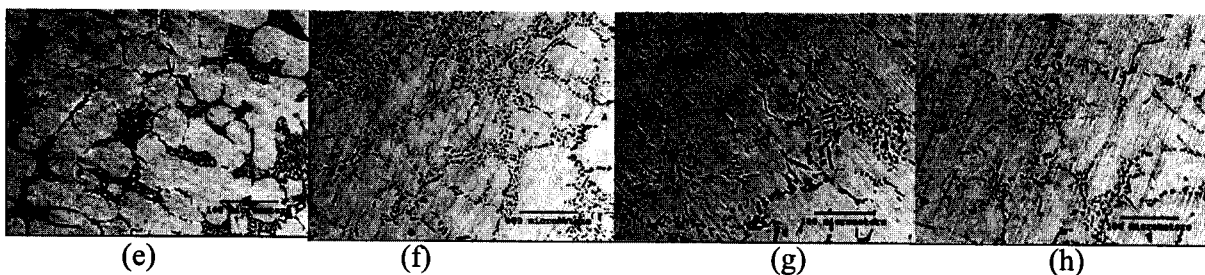


Fig. 5. Microstructure of (e) as-cast, (f) solution treated, (g) under aged and (h) over aged of A356

The tensile properties of A356 were higher than that of Al-7%Si however hardness of Al-7%Si was higher than A356. Amount of impurities such as Fe, Mn in Al-7%Si were larger than A356. They were formed as larger phases, therefore, ductility and strength were also reduced. In addition, the hardness was also increased.

Alike A356, mechanical properties of Al-7%Si made from used aluminum beverage cans could be improved by heat treating process. The improvement is due to the precipitation hardening attained during aging treatment. Aging time and temperature are responsible in the precipitation sequence which can be explained by the microstructure observation.

Microstructure of as-cast Al-7%Si is different from as-cast A356, however after solution treated and aged, the microstructures of both Al-7%Si and A356 were changed, this is due to the dissolution of Si-rich phase. When aging at elevated temperature for sufficiently, long times, the microstructure of Al-7%Si would be similar to A356.

References

- T.H. Pearce, "Technology and Metallurgy of Cast Aluminum", National Metal and Materials Technology Center, 2000.
- J.R. Davis, "ASM Specialty Handbook Aluminum and Aluminum Alloys", ASM international 1993.

Key Words: *Al-7%Si / A356 / Recycled Beverage Cans / Mechanical Behavior / Microstructure*