Thesis Title Microstructure and Properties Relationship of Semi-Solid Cast Metals

Author Mr. Natthaphol Chomsaeng

Degree Doctor of Philosophy (Materials Science)

Thesis Advisory Committee

Assoc. Prof. Dr. Torranin Chairuangsri Chairperson

Assoc. Prof. Dr. Narin Sirikulrat Member

Prof. Dr. Somchai Thongtem Member

ABSTRACT

The microstructure and crystallography of semi-solid cast metals in comparison to those of conventional cast metals has been studied by light microscopy (LM), scanning electron microscopy (SEM), conventional transmission electron microscopy (CTEM), high-resolution transmission electron microscopy (HRTEM) and annular dark-field scanning transmission electron microscope (ADF-STEM). Properties of cast metals studied include hardness, wear resistance, corrosion resistance and fatigue resistance. Two types of alloys were investigated i.e. 18wt%Cr-3.06wt%C-4.95wt%W-0.87wt%Mo cast iron and cast A356 aluminium alloy, chosen to represent the high and low melting point alloys, respectively.

For the 18wt%Cr-3.06wt%C-4.95wt%W-0.87wt%Mo semi-solid cast iron, samples were heat-treated by (i) tempering at 500°C for 2 hours and air cooling, (ii) destabilisation at 1075°C for 2 hours and air cooling, and (iii) destabilisation at 1075°C for 2 hours followed tempering at 500°C for 2 hours and air cooling. LM

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

revealed that primary dendritic austenite in the conventional cast process became spheroidal austenite in the semi-solid cast process. During destabilisation of this austenite, $M_{23}C_6$ secondary carbides precipitated and reduced the alloy (C and Cr) content of the matrix, allowing it to transform to martensite on air cooling. The Nishiyama-Wassermann orientation relationship, $(\bar{1}\,\bar{1}0)_{\alpha'} // (\bar{1}00)_{M_{23}C_6}$, $(1\,\bar{1}\,\bar{2})_{\alpha'} // (0\,\bar{1}\,\bar{1})_{M_{23}C_6}$ between the secondary $M_{23}C_6$ carbide and the martensite matrix was found, suggesting the cube-cube orientation relationship between the prior austenite and the secondary $M_{23}C_6$ carbide. W-rich and Mo-rich phases were found between arms of primary dendrites or spheroids including typical (Cr,Fe)-rich eutectic M_7C_3, bcc (Fe,W)-rich eutectic carbide and diamond cubic (Mo,Mn)-rich carbide. Destabilisation led to a formation of another phase which could be fcc (W,Fe)-rich carbide. Tempering led to a higher amount of secondary carbides indicating a reduction of retained austenite. The hardness of sample after destabilisation was highest because of the martensite matrix formed after the precipitation of secondary carbides. The wear resistance after destabilization plus tempering was highest due to the martensite matrix and probably also a reduction of retained austenite. The corrosion test revealed that the corrosion resistance in the as-cast condition is better than that of after destabilisation, because precipitation of secondary carbides reduced the Cr and Mo contents in the matrix and created much new interfacial areas which can be sites for preferential corrosion attack.

For the cast A356 aluminium alloy, samples were heat-treated by solution treatment at 540°C for 4 hours and aged at 160°C for 12, 18, 24 and 48 hours. α-Al dendrites became spheroids in semi-solid cast process. The ageing time at 24 to 48 hours gave the highest hardness for both conventional and semi-solid cast samples.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

The precipitate found at peak-ageing is mainly the β'' precipitate or its precursors. The orientation relationship (OR) between the precipitate and the Al matrix is $[001]_{Al}//[010]_{ppt}$, $(020)_{Al}//(601)_{ppt}$ and $(200)_{Al}//(\bar{4}03)_{ppt}$, equivalent to $[001]_{Al}//[010]_{ppt}$, $(\bar{1}30)_{Al}//(100)_{ppt}$ and $(320)_{Al}//(001)_{ppt}$. Facet planes parallel to the needle axis are $(\bar{1}30)_{Al}//(100)_{ppt}$ and $(320)_{Al}//(001)_{ppt}$,. ADF-STEM images showed the reverse contrast of precipitate situated within the Al matrix in low angle detector mode (LAADF). The precipitates found in the underaged condition can be GP zones and pre-β'' precipitate, whereas, at overageing, are Si and Mg_2Si particles.

The fatigue-tested samples were solution-treated at 540°C for 4 hours and aged at 160°C for 18, 24 and 72 hours. Fatigue resistance of conventional cast samples is higher than that of semi-solid samples due to oxide inclusions in the microstructure of the semi-solid samples. The fatigue resistance is related to the hardness results.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาคและสมบัติของโลหะหล่อกึ่งของแข็ง

ผู้เขียน นายณัฐพล ชมแสง

ปริญญา วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วัสดุศาสตร์)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ. ดร. ธรณินทร์ ไชยเรืองศรี ประธานกรรมการ
รศ. ดร. นรินทร์ สิริกุลรัตน์ กรรมการ
ศ. ดร. สมชาย ทองเต็ม กรรมการ

บทคัดย่อ

ได้ศึกษาโครงสร้างจุลภาคและ ผลึกศาสตร์ของโลหะหล่อกึ่งของแข็งเปรียบเทียบกับของโลหะหล่อแบบดั้งเดิมด้วยจุลทรรศนศาสตร์แสง (แอลเอ็ม) จุลทรรศนศาสตร์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (เอสอีเอ็ม) จุลทรรศนศาสตร์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านดั้งเดิม (ซีทีอีเอ็ม) จุลทรรศนศาสตร์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ความแยกชัดสูง (เอชอาร์ ทีอีเอ็ม) และจุลทรรศนศาสตร์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านส่องกราดแบบสนามมืดวงแหวน (เอดีเอฟ-เอสทีอีเอ็ม) สมบัติของโลหะหล่อที่ศึกษาได้แก่ ความแข็ง ความต้านทานการสึกหรอ ความต้านทานการกัดกร่อน และความต้านทานการล้า โลหะสองชนิดที่ศึกษาคือ เหล็กหล่อ 18wt%Cr-3.06wt%C-4.95wt%W-0.87wt%Mo และโลหะผสมอะลูมิเนียมหล่อ เอ 356 ซึ่งถูกเลือกเพื่อเป็นตัวแทนของโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูงและจุดหลอมเหลวต่ำ ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับเหล็กหล่อกึ่งของแข็ง 18wt%Cr-3.06wt%C-4.95wt%W-0.87wt%Mo ชิ้นงานถูกปรับสภาพด้วยความร้อนโดย (i) เทมเพอริงที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตามด้วยทำให้เย็นตัวในอากาศ (ii) ดีสเตบิไลเซชันที่อุณหภูมิ 1075 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตามด้วยทำให้เย็นตัวในอากาศ และ (iii) ดีสเตบิไลเซชันที่อุณหภูมิ 1075 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตามด้วยทำเทมเพอริงที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตามด้วยเย็นตัวในอากาศ แอลเอ็มแสดงให้เห็นว่าออสเตนไนต์ปฐมภูมิซึ่งมีลักษณะเดนไดรต์ในกระบวนการหล่อแบบดั้งเดิมกลายเป็นออสเตนไนต์ปฐมภูมิซึ่งมีลักษณะทรงกลมในกระบวนการหล่อแบบกึ่งของแข็ง ระหว่างดีสเตบิไลเซชันของออสเตนไนต์ดังกล่าว คาร์ไบด์ทุติยภูมิ $M_{23}C_6$ ตกตะกอนและลดปริมาณธาตุเจือ (C และ Cr) ของเมทริกซ์ ทำให้เปลี่ยนโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์ได้ระหว่างเย็นตัวในอากาศ พบความสัมพันธ์เชิงการวางตัวแบบนิชิยามา -วาซเซอร์แมนน์ $(\bar{1}\,\bar{1}0)_{\alpha'} // (\bar{1}00)_{M_{23}C_6}$, $(1\,\bar{1}2)_{\alpha'} // (0\,\bar{1}\,\bar{1})_{M_{23}C_6}$ ระหว่างคาร์ไบด์ทุติยภูมิ $M_{23}C_6$ และเมทริกซ์มาร์เทนไซต์ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์เชิงการวางตัวแบบคิวบ์ -คิวบ์ ระหว่างออสเตนไนต์เดิมและคาร์ไบด์ทุติยภูมิ $M_{23}C_6$ วัฏภาคที่มีทังสเตนสูงและโมลิบดินัมสูงถูกพบระหว่างแขนเดนไดรต์หรือทรงกลมปฐมภูมิ ประกอบด้วยยูเท็กติก M_7C_3 ปกติที่มี (Cr,Fe) สูง คาร์ไบด์ยูเท็กติกแบบ bcc ที่มี (Fe,W) สูงและคาร์ไบด์ diamond cubic ที่มี (Mo,Mn) สูง ดีสเตบิไลเซชันทำให้เกิดอีกวัฏภาคหนึ่งซึ่งน่าจะเป็นคาร์ไบด์แบบ fcc และมี (W,Cr) สูง การทำเทมเพอริงเพิ่มปริมาณของคาร์ไบด์ทุติยภูมิซึ่งบ่งชี้ถึงการลดลงของออสเตนไนต์ตกค้าง ความแข็งของตัวอย่างหลังดีสเตบิไลเซชันมีค่าสูงที่สุดเพราะเมทริกซ์มาร์เทนไซต์ที่เกิดขึ้นหลังจากการตกตะกอนของคาร์ไบด์ทุติยภูมิ ความต้านทานการสึกหรอหลังดีสเตบิไลเซชันตามด้วยเทมเพอริงดีที่สุดเนื่องจากเมทริกซ์มาร์เทนไซต์และอาจเกิดจากการลดลงของออสเตนไนต์ตกค้างด้วย การทดสอบการกัดกร่อนแสดงให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เห็นว่าความต้านทานการกัดกร่อนของตัวอย่างหลังหล่อดีกว่าหลังดีสเตบิไลเซชัน เพราะตะกอนของคาร์ไบด์ทุติยภูมิลดปริมาณ Cr และ Mo ในเมทริกซ์และทำให้มีพื้นที่ผิวใหม่ มากขึ้นซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดการกัดกร่อนง่าย

สำหรับโลหะผสมอะลูมิเนียมหล่อเอ 356 ชิ้นงานถูกปรับสภาพด้วยความร้อนให้เป็นสารละลายที่อุณหภูมิ 540 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงและบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12, 18, 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ เดนไดรต์ของอะลูมิเนียมแอลฟากลายเป็นทรงกลมในการหล่อกึ่งของแข็ง ที่เวลาการบ่มแข็ง 24 และ 48 ชั่วโมงได้ค่าความแข็งสูงที่สุดทั้งชิ้นงานที่หล่อแบบดั้งเดิมและแบบกึ่งของแข็ง ตะกอนที่พบในการบ่มสูงสุดส่วนใหญ่เป็นตะกอนของ β'' หรือตะกอนตั้งต้นของมัน ความสัมพันธ์เชิงการวางตัวระหว่างตะกอนและอะลูมิเนียมคือ $[001]_{Al}//[010]_{ppt}$, $(020)_{Al}//(601)_{ppt}$ และ $(200)_{Al}//(\bar{4}03)_{ppt}$ ซึ่งเทียบเท่ากับ $[001]_{Al}//[010]_{ppt}$, $(\bar{1}30)_{Al}//(100)_{ppt}$ และ $(320)_{Al}//(001)_{ppt}$ ระนาบของด้านที่ขนานกับแกนเข็มคือ $(\bar{1}30)_{Al}//(100)_{ppt}$ และ $(320)_{Al}//(001)_{ppt}$ ภาพจากเอดีเอฟ-เอสทีอีเอ็มแสดงความต่างความเข้มตรงข้ามของตะกอนที่อยู่ในอะลูมิเนียมเมทริกซ์ในโหมดตัวตรวจจับมุมต่ำ (แอลเอเอดีเอฟ) ตะกอนที่พบในสภาวะการบ่มต่ำได้แก่ โซนจีพีและตะกอนก่อน β'' และ ตะกอนที่พบในการบ่มเกินได้แก่ อนุภาค Si และ Mg_2Si

ชิ้นงานสำหรับทดสอบการล้าถูกปรับสภาพด้วยความร้อนให้เป็นสารละลายที่อุณหภูมิ 540 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงและบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18, 24 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ ความต้านทานการล้าของชิ้นงานหล่อแบบดั้งเดิมสูงกว่าการหล่อแบบกึ่งของแข็ง เนื่องจากออกไซด์อินคลูชันในโครงสร้างของชิ้นงานหล่อกึ่งของแข็ง ความต้านทานการล้าสัมพันธ์กับผลความแข็ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved