บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาค สมบัติเชิงกล ของโลหะผสมทองแดง-เงิน-เซอร์โคเนียมทำให้สามารถเข้าใจกลไกการเพิ่มความแข็งแรงที่เกิดขึ้นในโลหะผสมชนิดนี้ เพื่อการนำไปใช้งานที่ต้องการวัสดุที่มีความสามารถในการนำไฟฟ้าที่ดีประกอบกับสมบัติเชิงกลที่ดีด้วย จากการศึกษาโครงสร้างผลึก และโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมนี้พบว่าตะกอนที่เกิดขึ้นในโครงสร้างนั้นเป็นตะกอนของโลหะเงิน โดยมีลักษณะการเกิดเป็นตะกอนต่อเนื่องเกิดขึ้นภายในเกรนและตะกอนแบบไม่ต่อเนื่องซึ่งจะเกิดขึ้น ณ บริเวณขอบเกรน โดยตะกอนแบบต่อเนื่องที่เกิดขึ้นนั้นเกิดการเรียงตัวของอนุภาคเงินในระนาบเฉพาะ คือ {111} ในทิศทาง <011> เมื่อนำโลหะผสมนี้ไปขึ้นรูปด้วยแรงทางกลด้วยวิธีการรีดเย็นและนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อน พบว่าตะกอนเงินที่เกิดขึ้นมีลักษณะการเกิดแบบกระจัดกระจาย ไม่พบลักษณะของโครงสร้างที่มีการจัดเรียงตัวในระนาบและทิศทางเฉพาะดังเช่นที่พบในโลหะผสมที่ไม่ผ่านการขึ้นรูปด้วยวิธีทางกล ลักษณะการกระจายตัวของขนาดตะกอนเงินในตัวอย่างที่ผ่านการบ่มเป็นเวลา 18 ชั่วโมง มีลักษณะเป็นสองฐานนิยม ซึ่งแตกต่างจากตัวอย่างอื่น ๆ ที่มีลักษณะเป็นการกระจายตัวแบบเกาเซียน สอดคล้องกับลักษณะของตะกอนจากภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่มีลักษณะเป็นแผ่นมีด้านกว้างและด้านยาว ต่างจากลักษณะตะกอนจากการเตรียมแบบ อื่น ๆ ที่มีลักษณะเป็นตะกอนรูปร่างกลม

ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นลักษณะของรอยแตกที่เกิดขึ้นภายหลังการทดสอบแรงดึง พบว่าโลหะผสมทองแดง-เงิน-เซอร์โคเนียมที่ผ่านการแปรรูปเย็นด้วยวิธีการรีด ที่มีปริมาณการแปรรูปเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์นั้น ยังแสดงลักษณะของการแตกหักแบบเหนียวถึงแม้ว่าจะมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวต่ำ เมื่อนำชิ้นงานที่ผ่านการรีดเย็นนี้ไปบ่มที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงพบว่า ความแข็งแรงของโลหะผสมลดลงจากสภาวะหลังการรีดเย็นเล็กน้อย แสดงให้เห็นถึงผลของตะกอนเงินที่เกิดขึ้นต่อกลไกการเพิ่มความแข็งแรง ถึงแม้ว่าลักษณะของตะกอนที่เกิดขึ้นจะไม่ได้เรียงตัวอย่างเป็นระเบียบในระนาบและทิศทางเฉพาะ สำหรับชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการรีดร้อนโดยมีปริมาณการแปรรูปเท่ากับชิ้นงานรีดเย็น มีความแข็งแรงใกล้เคียงกับ

ชิ้นงานรีดเย็นภายหลังบ่ม 2 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทั้งสองพบว่า ลักษณะและขนาดของตะกอนเงินมีความคล้ายคลึงกัน ขนาดเฉลี่ยของตะกอนเงินที่พบทั้งสองชิ้นงาน อยู่ในช่วง 20 นาโนเมตร เป็นเหตุให้ผลของการเพิ่มความแข็งแรงด้วยตะกอนมีค่าใกล้เคียงกัน

การศึกษาขนาดของตะกอนด้วยเทคนิค Small Angle X-ray Scattering (SAXS) สามารถให้ข้อมูลได้จากการวัดค่าการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ที่ออกมาจากตัวอย่าง โดยการแปรผลข้อมูลด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ จะได้ขนาดเฉลี่ยของตะกอนโลหะเงินที่เกิดขึ้นในโลหะผสม ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการประเมินสมบัติเชิงกลของโลหะผสมทองแดง-เงิน-เซอร์โคเนียม โดยพบว่าผลการทดลองสอดคล้องกับขนาดของตะกอนเงินที่ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เมื่อลักษณะของตะกอนเงินในโครงสร้างเป็นตะกอนแบบไม่ต่อเนื่อง หากตะกอนที่เกิดขึ้นนั้นมีลักษณะเป็นตะกอนต่อเนื่องที่มีการจัดเรียงตัวในระนาบและทิศทางเฉพาะ พบว่าผลการวิเคราะห์ของ SAXS นั้นผิดเพี้ยนไปจากขนาดเฉลี่ยที่วัดได้จากภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ขนาดของตะกอนเงินที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของโลหะผสม เมื่อระยะเวลาในการบ่มยาวนานขึ้นทำให้ความแข็งแรงของโลหะผสมลดลงจากการเกิดการบ่มเกิน (over aging) จากปรากฏการณ์โตแบบออสวาล (Oswald ripening)

อิทธิพลของการแปรรูปพลาสติกจากกระบวนการรีดเย็นที่มีต่อสมบัติเชิงกลและโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมทองแดง-เงิน-เซอร์โคเนียม ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของตะกอนเงินในโครงสร้างเนื้อพื้นทองแดงที่เกิดขึ้นภายหลังการบ่ม จากตะกอนเงินที่มีการเรียงตัวในทิศทางและระนาบเฉพาะ เปลี่ยนเป็นตะกอนเงินขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ทั่วไปในโครงสร้างของโลหะเนื้อพื้นทองแดง ซึ่งหากให้เวลาในการการบ่มเหมาะสมจะทำให้โลหะผสมนี้มีความแข็งสูงขึ้น

Abstract

The aim of this study is to investigate the relationship between microstructures and mechanical properties of the Cu-7wt% Ag-0. 05wt% Zr alloy. The better understanding of strengthening mechanism of this alloy will achieve the needs of high strength and high electrical conductivity applications. Microstructural investigation reveals that continuous and discontinuous Ag precipitates were formed in Cu matrix after aging treatment. The continuous precipitate found inside the grain had aligned themselves on the particular {111} plane and <011> directions. Conversely, the precipitates found in mechanically deformed samples are thoroughly dispersed in Cu matrix. There was no modulated structure of Ag precipitates presented in deformed samples. It would be suggested that the residual stress in crystal structures created by cold working disrupted the Ag nucleation free energy. Histogram of precipitate size distribution shows that the 18 hours aged alloy has bimodal distribution while the others indicate Gaussian distribution. The size and shape of the bimodal distribution particles can be clearly seen from scanning electron micrographs. After 18 hours of aging, Ag precipitates tend to form platelet particles. The fractography of CuAgZr alloy after tensile testing was studied by scanning electron micrographs. The fracture surfaces of all samples showed the ductile fractures with difference dimple sizes. It can be seen that the fracture surfaces of 90% deformed samples were ductile fractures with relatively low % elongation. After aging at 430^{o}C for 2 hours, the strength was slightly dropped from the as-rolled condition. This can be suggested that the Ag precipitates plays important role to the strengthening mechanisms even with the non-modulated structure.

The size of Ag precipitates can be predicted by Small angle X-ray scattering (SAXS) technique. The X-ray scattering from the samples can be interpreted by mathematical models. It will give the average size of Ag particles dispersed in the Cu matrix. Sizes of precipitate are crucial information for determined mechanical properties of precipitable alloy. The calculated sizes of Ag

precipitate are comparable to the measured sizes from scanning electron micrographs if the Ag particles are thoroughly dispersed in Cu matrix. However, the precipitate size prediction from SAXS would be deviated from the measured size if the continuous precipitates presented in Cu matrix structures. The sizes of Ag precipitate affects mechanical property of the alloy. The longer aging time, the larger Ag particles presented. Strength of CuAgZr alloy was drastically decreased due to the over aging effects and the Oswald ripening.

Plastic deformation prior thermal aging affects Ag precipitates morphology. The shape, size and distribution of Ag precipitates were changed during thermal treatment. Ag precipitates in non-plastically deformed CuAgZr were self-aligned on particular planes and directions. On the other hand, Ag nano particles in plastically deformed samples were thoroughly dispersed in Cu matrix. The mechanical properties of this alloy can be modified by tailoring Ag precipitates through the appropriate aging process.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี