บทคัดย่อ

178878

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาวิธีการลดขนาดเกรน (grain refinement) ของไทเทเนียมอัลลอยชนิด Ti-6Al-4V โดยกรรมวิธีเทอร์โมเมคคานิคัลทรีทเมนท์ (thermomechanical treatment) เริ่มต้นด้วยการอบสร้างสภาพละลาย (solution treatment) ที่อุณหภูมิ 950 และ 1050°C เพื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิการอบสร้างสภาพละลายที่มีต่อโครงสร้างจุลภาค (microstructure) จากนั้นทำให้เย็นโดยการปล่อยให้เย็นในเตา เย็นในอากาศ และเย็นในน้ำ เพื่อเปรียบเทียบผลของอัตราการเย็นตัว (cooling rate) ที่มีต่อโครงสร้างจุลภาค จากนั้นทำการรีดร้อน (hot rolling) ที่อุณหภูมิ 850 900 และ 950°C เพื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิการรีดร้อนที่มีต่อโครงสร้างจุลภาค โดยให้ปริมาณการลดขนาดต่อครั้งการรีดร้อน (reduction per pass) เป็น 16 32 และ 64% (รวม 64%) เพื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณการลดขนาดต่อครั้งของการรีดร้อนที่มีต่อโครงสร้างจุลภาค จากนั้นทำการอบอ่อน (annealing) ที่อุณหภูมิ 700 และ 950°C เพื่อเปรียบผลของอุณหภูมิการอบอ่อน (annealing temperature) ที่มีต่อโครงสร้างจุลภาค เป็นเวลา 1 2 และ 4 ชั่วโมงเพื่อเปรียบเทียบผลของเวลาการอบอ่อน (annealing time) ที่มีต่อโครงสร้างจุลภาค และทำการทดสอบสมบัติทางกล (mechanical testing) ที่อุณหภูมิห้อง (room temperature) และที่อุณหภูมิสูง (high temperature) เพื่อเปรียบเทียบผลของโครงสร้างจุลภาคที่มีต่อสมบัติทางกลของ Ti-6Al-4V

จากการทดลองพบว่าการอบสร้างสภาพละลายที่อุณหภูมิ 950°C จะปรากฏอัลฟาสมมาตร (equiaxed alpha) ในขณะที่อุณหภูมิ 1050°C จะปรากฏอัลฟาแถบ (lamellar alpha) เมื่อนำ Ti-6Al-4V ที่ผ่านการอบสร้างสภาพละลายที่อุณหภูมิ 950°C ไปทำการรีดร้อนพบว่า การรีดร้อนที่อุณหภูมิ 850 900 และ 950°C โดยให้ปริมาณการลดขนาดต่อครั้งการรีดร้อนเป็น 64% จะทำให้ขนาดเกรนอัลฟา

ละเอียดและสมมาตร (fine and equiaxed alpha grain) เกรนอัลฟาจะมีลักษณะสมมาตรที่สุดที่อุณหภูมิ 900°C และมีขนาดเกรนลดลงจาก 20 ไมครอนเหลือ 8 ไมครอน การลดลงของขนาดเกรนอัลฟาเป็นผลจากการเกิดผลึกใหม่แบบไดนามิค (dynamic recrystallization) ส่วนการรีดร้อนที่อุณหภูมิ 1050°C โดยให้ปริมาณการลดขนาดต่อครั้งการรีดร้อนเป็น 64% จะปรากฏโครงสร้างวิดแมนสแตทเตน (Widmanstätten) ซึ่งเป็นลักษณะของการเรียงซ้อนกันคล้ายตะกร้าสานของโครงสร้างอัลฟาแถบขนาดเล็ก และเมื่อทำการรีดร้อนที่อุณหภูมิ 950°C โดยให้ปริมาณการลดขนาดต่อครั้งการรีดร้อนเป็น 16 และ 32% พบว่าเกรนอัลฟาจะเกิดลักษณะโครงสร้างไหล (flow structure) ซึ่งสามารถปรับขนาดโครงสร้างไหลให้ลดลงได้โดยการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 950°C เป็นเวลา 1 2 และ 4 ชั่วโมง เวลาการอบอ่อนที่ทำให้เกรนอัลฟาลดลงใกล้เคียงลักษณะสมมาตรที่สุดคือ 4 ชั่วโมง โดยมีสัดส่วน grain aspect ratio เท่ากับ 1.2 ทั้งนี้การลดลงของขนาดเกรนอัลฟาที่มีลักษณะโครงสร้างไหลภายหลังการอบอ่อนเป็นผลจากการเกิดผลึกใหม่แบบสแตติก (static recrystallization) ร่วมกับการปรับเกรนกลม (globularization)

เมื่อนำ Ti-6Al-4V ที่ผ่านการอบสร้างสภาพละลายที่อุณหภูมิ 1050°C ไปทำการรีดร้อนพบว่าการรีดร้อนที่อุณหภูมิ 850 900 และ 950°C โดยให้ปริมาณการลดขนาดต่อครั้งการรีดร้อนเป็น 64% จะทำให้ขนาดเกรนอัลฟาลดลงและไม่มีรูปร่างแน่นอน (irregular shape) ส่วนการรีดร้อนที่อุณหภูมิ 1050°C โดยให้ปริมาณการลดขนาดต่อครั้งการรีดร้อนเป็น 64% จะปรากฏโคโลนี (colony) ของอัลฟาถูกเบียดอัดอยู่ภายในขอบเกรนเบตาหลัก (beta-prior grain boundary) และเมื่อทำการรีดร้อนที่อุณหภูมิ 950°C โดยให้ปริมาณการลดขนาดต่อครั้งการรีดร้อนเป็น 16 และ 32% พบการเปลี่ยนแปลงเป็นเกรนอัลฟายาว (elongated alpha)

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกลที่อุณหภูมิปกติของ Ti-6Al-4V ก่อนผ่านกรรมวิธีเทอร์โมเมคคานิคัล-ทรีทเมนท์โดยปรากฏเกรนอัลฟาสมมาตรขนาด 20 ไมครอนกับ Ti-6Al-4V เมื่อผ่านกรรมวิธีเทอร์โมเมคคานิคัลทรีทเมนท์ซึ่งปรากฏเกรนอัลฟาสมมาตรขนาด 8 ไมครอนพบว่า ความแข็งแรงดึงสูงสุด (ultimate tensile strength) เพิ่มขึ้นจาก 957 เป็น 990 MPa ความแข็งแรงคราก (tensile yield strength) เพิ่มขึ้นจาก 918 เป็น 942 MPa ความแข็งวิกเกอร์ (Vickers hardness) เพิ่มขึ้นจาก 357 เป็น 400 HV และปริมาณการยืด (elongation) เพิ่มขึ้นจาก 12.90 เป็น 8.42 % เมื่อเปรียบเทียบการยืดที่อุณหภูมิสูง (high temperature elongation) ของ Ti-6Al-4V พบว่าโครงสร้างจุลภาคที่ปรากฏเกรนอัลฟาสมมาตรขนาด 8 ไมครอนจะมีปริมาณการยืดสูงสุด 474% ที่อุณหภูมิ 900°C และอัตราความเครียด (strain rate) $10^{-4}s^{-1}$ ส่วนโครงสร้างจุลภาคที่ปรากฏเกรนอัลฟาสมมาตรขนาด 20 ไมครอนจะมีปริมาณการยืดเท่ากับ 300% ที่อุณหภูมิและอัตราความเครียดเดียวกัน

กรรมวิธีเทอร์โมเมคคานิคัลทรีทเมนท์สามารถลดขนาดเกรนของ Ti-6Al-4V จากอัลฟาสมมาตรที่มีขนาดเกรนเฉลี่ย 20 ไมครอนเหลือ 8 ไมครอน หรือลดลง 60% ซึ่งขนาดเกรนที่ลดลงจะส่งผลให้ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงคราก ความแข็งวิกเกอร์ การยืดที่อุณหภูมิปกติ และการยืดที่อุณหภูมิสูงของ Ti-6Al-4V มีค่าเพิ่มขึ้น

178878

This thesis reports a study of grain refinement of two-phase Ti-6Al-4V alloy by thermomechanical treatment, TMT, methods. Starting with comparing the effect of solution treatment temperature (950 and 1050°C) on microstructure, the effects of cooling rate on microstructures were then investigated by furnace cooling, air cooling and water quenching. Hot rolling were performed at 850, 900 and 950°C to compare the effect of rolling temperature on microstructure. The effect of reduction percentage during hot rolling 16, 32 and 64% plus air cooling was also examined. The effect of annealing time and temperature on microstructure were investigated by annealing at 700 and 950°C for 1, 2 and 4 hours. The mechanical testings were conducted at room and elevated temperatures to study the influence of microstructures on mechanical properties before and after TMT.

It was found that solution treatment at 950°C resulted in equiaxed alpha structure and solution treatment at 1050°C resulted in lamellar alpha structure. After solution treatment at 950°C and hot rolling at 850, 900 and 950°C with 64 % reduction per pass, the structure consisted of deformed alpha grains. Hot rolling at 950°C produced the finest alpha grains from 20 to 8 micron and at 1050° C produced Widmantätten structure. Grain refinement at the temperature of alpha-beta equilibrium, below tranus temperature is influenced by dynamic recrystallization. However, hot rolling at 950°C with 16 and 32% reduction per pass (total 64%) produced flow alpha or kinking structure which were refined by annealing at 950°C with 1,2 and 4 hours. The finest grain was found when annealed for 4 hours with grain aspect ratio is 1.2 because of globularization.

The hot rolling of 1050°C-solution-treated specimens at 850, 900 and 950°C with 64% reduction per pass resulted in irregular alpha structures. Hot rolling at 1050°C with 64% reduction per pass produced alpha colony pressed in beta prior grain boundary. Hot rolling at the 950°C with 16 and 32% produced elongated alpha grains.

The room temperature mechanical properties of Ti-6Al-4V after TMT with fine equiaxed (8 micron) grain were slighty higher than the properties before TMT with coarse quiaxed (20 micron) grain. The ultimate tensile strength increased from 957 to 990 MPa, the tensile yield strength increased from 918 to 942 MPa, the Vickers hardness increased from 357 to 400 HV. The elongation was lowered from 12.90 to 8.42 %. The high temperature tests were carried out at 850, 900 and 950°C with strain rates range of 10^{-4}-10^{-2} s^{-1}. It was found that the finer-grain specimen exhibited larger elongation than the coarser-grain ones. Maximum elongations at 900°C and strain rate 10^{-4} s^{-1} for fine-grained and coarse-grained were 474 and 300%, respectively.

Thermomechanical treatments resulted in grain refinement of Ti-6Al-4V. The equiaxed grain was refined from 20 to 8 micron (60%). Grain refinement resulted in higher tensile properties at both room and high temperatures.