บทคัดย่อ

วัสดุทางการแพทย์สำหรับรักษาโรคกระดูกจำพวกโลหะผสมในปัจจุบันนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องของมอดูลัสความยืดหยุ่นที่มากกว่ากระดูกจริงของมนุษย์ มีความแข็งแรงไม่เพียงพอ อีกทั้งยังมีส่วนประกอบที่เป็นพิษต่อร่างกาย โดยงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาตัวแปรที่ใช้ในการสร้างโลหะผสมไทเทเนียมที่มีส่วนประกอบของไนโอเบียม, แทนทาลัม, เซอร์โคเนียม และออกซิเจนสำหรับประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์ หรือที่มีชื่อเรียกว่า “กัมเมทัล” อันได้แก่การศึกษาอิทธิพลของการรีดเย็น อิทธิพลของส่วนประกอบออกซิเจน และเซอร์โคเนียม ตลอดจนอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการบ่มที่มีต่อสมบัติของโลหะกัมเมทัล โดยเริ่มจากกระบวนการหลอมชิ้นงานด้วยวิธี Arc Melting โดยจะทำการกำหนดส่วนผสมทางเคมีที่ Ti-(30, 33)Nb-2Ta-(1-5)Zr-(0.3-0.7)O (wt%) จากนั้นจะทำ Homogenization ที่อุณหภูมิ 1,473K เป็นเวลา 60 นาที ทำการรีดเย็นที่ 30% ถึง 90% และบ่มที่อุณหภูมิ 523K, 623K และ 723K เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งชิ้นงานที่สร้างขึ้นนั้นจะถูกทำการตรวจสอบส่วนประกอบทางเคมี และโครงสร้างผลึก ทดสอบสมบัติทางกล ความต้านทานการกัดกร่อน ตลอดจนความเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อของวัสดุที่สร้างขึ้น เพื่อทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุ จากผลการตรวจสอบด้วย X-Ray Diffraction (XRD) พบว่าโลหะกัมเมทัลที่สร้างขึ้นนั้นมีโครงสร้างเป็นแบบ Body Centered Cubic (BCC) และจากการทดสอบ Tensile Test ที่อุณหภูมิห้องพบว่าวัสดุจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกแบบ Stress-induced Martensite เมื่อได้รับความเค้น และพบว่าอิทธิพลของปริมาณออกซิเจนและเซอร์โคเนียมนั้นมีผลต่อสมบัติทางกลของวัสดุทั้งก่อน และหลังการบ่ม นอกจากนั้นยังพบว่าการบ่มนั้นจะทำให้เกิดตะกอนขึ้นภายในโครงสร้างผลึกซึ่งมีผลต่อสมบัติทางกลของชิ้นงาน โดยเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการบ่มคือที่อุณหภูมิ 623K เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งชิ้นงานที่มีส่วนประกอบทางเคมี Ti-33Nb-2Ta-3Zr-0.7O (wt %) ก่อนทำการบ่ม และ Ti-33Nb-2Ta-3Zr-0.5O (wt %) ที่ผ่านการบ่มที่ 623K เป็นเวลา 10 นาทีนั้นมีความเหมาะสมแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์มากที่สุด โดยชิ้นงานทั้งสองนั้นมีค่า Tensile Strength สูงกว่า 1,400 MPa, Yield Strength สูงกว่า 1,200 MPa และ Elastic Modulus ไม่เกิน 42 GPa ซึ่งใกล้เคียงกับกระดูกจริงของมนุษย์ และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุที่ใช้งานในเชิงพาณิชย์ในปัจจุบันได้แก่ เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS316L และโลหะผสมไทเทเนียม Ti-6Al-4V แล้วพบว่าโลหะกัมเมทัลที่ผลิตได้นั้นมีความแข็งแรงสูงกว่า อีกทั้งยังมีความยืดหยุ่นที่ใกล้เคียงกับกระดูกจริงของมนุษย์มากกว่าอีกด้วย

Abstract

The excessive modulus, inadequate strength and toxic compositions have been classified as limitations of present biomedical alloys for orthopedic patient treatment. This research aims to investigate several parameters for the fabrication of biomedical titanium alloys, which consist of niobium, tantalum, zirconium and oxygen, called “Gum Metal”. In this study, the influences of cold-rolling, oxygen and zirconium content together with aging temperature on properties of gum metal were investigated. The alloys were fabricated by arc melting technique and the chemical compositions were set at Ti-(30, 33)Nb-2Ta-(1-5)Zr-(0.3-0.7)O (wt %). All specimens were homogenized at 1,473K for 60 minutes. The ingots were sliced and cold rolled to the final cold-work reduction ranging from 30% to 90% of thickness. Aging temperatures were set at 523K, 623K and 723K for 10 minutes, respectively. From X-Ray Diffraction (XRD) results, all gum metals revealed Body Centered Cubic (BCC) structure. Stress-induced Martensitic transformation could be confirmed by tensile test. It is found that

mechanical properties of the alloys were affected by oxygen and zirconium content in both specimens before and after aging treatment. Moreover, it is also found that precipitation hardening by aging consequently affected mechanical properties. It could be concluded that the most appropriate aging condition was at 623K for 10 minutes. Finally, Ti-33Nb-2Ta-3Zr-0.7O (wt %) alloy without aging and Ti-33Nb-2Ta-3Zr-0.5O (wt %) alloy after aging at 623K for 10 minutes exhibited the most suitable properties for biomedical applications with tensile strength higher than 1,400 MPa, yield strength higher than 1,200 MPa and elastic modulus less than 42 GPa. When compared with commercial SUS316L stainless steel and Ti-6Al-4V alloys, the fabricated gum metals showed higher strength and more human bone-like elasticity.

ทฤษฎีเกี่ยวกับโลหะไทเทเนียม[1]

ไทเทเนียมเป็นธาตุที่นิยมนำมาใช้ในเชิงวิศวกรรมเป็นอย่างมากเนื่องจากมีความหนาแน่น 4.5 g/cm^3 มีจุดหลอมเหลวที่สูงถึง 1,668 ℃ มีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นประมาณ 107 GPa และมีค่าความแข็งแรงในอุณหภูมิห้องที่สูงถึง 1,400 MPa นอกจากนั้นโลหะผสมจำพวกไทเทเนียมยังมีความเหนียวสูงสามารถขึ้นรูปได้ง่ายอีกด้วย

ไทเทเนียมบริสุทธิ์ (Commercially Pure Titanium; CP-Ti) มีโครงสร้างเป็น Hexagonal Close Packed (HCP) หรือที่เรียกว่า α-phase ที่อุณหภูมิห้อง และจะเปลี่ยนโครงสร้างเป็น Body Centered Cubic (BCC) หรือ β-phase ที่อุณหภูมิ 883 ℃ ซึ่งอุณหภูมิการเปลี่ยนโครงสร้างจาก α เป็น β (α to β Transformation Temperature) นั้นจะเปลี่ยนแปลงตามธาตุที่เติมเข้าไปในโลหะไทเทเนียม ตัวอย่างเช่น เมื่อเติมวาเนเดียม, ไนโอเบียม หรือโมลิบดินัม จะทำให้อุณหภูมิในการเปลี่ยนโครงสร้างจาก α เป็น β ลดลง ซึ่งจะเรียกธาตุเหล่านี้ว่า β-stabilizer ส่วนธาตุที่เติมเข้าไปแล้วทำให้อุณหภูมิในการเปลี่ยนโครงสร้างจาก α เป็น β สูงขึ้น หรือ α-stabilizer ได้แก่ อลูมิเนียม และดีบุก เป็นต้น[2-3]

โลหะผสมไทเทเนียมสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่

- α-Titanium ส่วนใหญ่จะถูกใช้ในงานที่มีอุณหภูมิสูง เนื่องจากมีความต้านทานการเกิด Creep ที่สูง แต่ขึ้นรูปได้ยากเมื่อเทียบกับโลหะผสมไทเทเนียมชนิดอื่น
- β-Titanium สามารถขึ้นรูปได้ง่าย และมี Toughness ที่สูง
- α/β-Titanium มีโครงสร้างผลึกทั้ง HCP และ BCC ซึ่งสามารถขึ้นรูปได้ง่าย ในขณะที่ความแข็งแรงยังคงสูงอยู่
- Near α-Titanium มีโครงสร้างผลึกทั้ง HCP และ BCC แต่จะมีโครงสร้าง BCC น้อยมาก ซึ่งมีสมบัติค่อนข้างคล้ายกับ α-Titanium