บทสรุปผู้บริหาร

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการปรับปรุงผิวชิ้นงานวัสดุโลหะไททาเนียมผสม เกรด Ti-6Al-4V ต่อกลไกการเกิดการสึกหรอ อันเนื่องมาจากการเสียดสีระหว่างผิวคู่สัมผัสชิ้นงานไททาเนียมและซีเมนต์กระดูกที่ใช้ในการยึดวัสดุฝังในในข้อต่อสะโพกเทียม งานวิจัยนี้ได้จำลองสภาวะของภาระที่เกิดขึ้นของการสึกหรอที่ผิววัสดุฝังใน ในกรณีที่ผู้ป่วยได้รับการผ่าตัดเพื่อฝังสะโพกเทียมในร่างกายมนุษย์

การดำเนินการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. ขั้นตอนการปรับปรุงผิววัสดุโลหะทาเนียมผสม โดยการยิงผิวด้วยอนุภาค อลูมินา ซิลิกา และเหล็กกล้าไร้สนิม การยิงผิวด้วยวัสดุเหล่านี้จะให้ค่าความเรียบผิวเพิ่มขึ้น หลังจากที่ยิงผิวแล้วจะทำการวิเคราะห์ผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) เพื่อวิเคราะห์สัณฐานของผิว และทำการวัดค่าความเรียบผิวด้วยเครื่องวัดความเรียบผิวแบบสัมผัส หลังจากทำการยิงผิวแล้วแบ่งชิ้นงานบางส่วนไปทำการเคลือบผิวด้วยไททาเนียมไนไตรด์ (TiN) ด้วยวิธีการเคลือบแบบไอกายภาพ ด้วยเงื่อนไขที่เคลือบผิวสำหรับงานการค้า นอกจากนี้ยังได้ทำการหาวิธีเคลือบผิวด้วยการเคลือบไททาเนียมอลูมิเนียมวานาเดียมคาร์โบไนไตรด์ ($TiAlVC_xN_y$) ที่คิดค้นและพัฒนาโดยภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี นวัตกรรมการเคลือบผิวด้วยวิธีการนี้ได้เคลือบโดยใช้วิธีการเคลือบแบบ DC unbalance magnetron sputtering โดยใช้ก๊าซอาร์กอน (Ar) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) โดยควบคุมอัตราการไหลของก๊าซทั้งสองให้คงที่ นอกจากนี้ยังควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเคลือบอื่น ๆ ให้คงที่ ในการศึกษานี้ได้ศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลก๊าซมีเทน (CH_4) โดยมีการทดสอบการเคลือบที่อัตราการไหล 0.3, 0.5 และ 0.7 Standard Cubic Centimeter per Minute (SCCM) หลังจากเคลือบผิวชิ้นงานเสร็จแล้ว จึงนำชิ้นงานไปวิเคราะห์ความเรียบผิว สัณฐานของผิว รอยแตกและการปนเปื้อนของอนุภาค ความหนาของผิว ความแข็งระดับจุลภาค และทดสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพด้วยวิธี MTT cytotoxicity assay

2. ขั้นตอนทดสอบการสึกหรอ โดยได้จำลองกลไกการสึกหรอที่เกิดขึ้นบนผิวของชิ้นงานโลหะไททาเนียมผสม โดยเครื่องมือที่ออกแบบและทดสอบโดยภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ เครื่องมือนี้สามารถจำลองภาระที่เกิดขึ้นระหว่างผิวคู่สัมผัสระหว่างชิ้นงานโลหะไททาเนียมและชิ้นงานซีเมนต์กระดูกที่ทำจากวัสดุโพลิเมอร์ (Polymethyl Methacrylate: PMMA) การทดสอบการสึกหรอทดสอบทั้งภายใต้สภาวะแห้ง โดยจำลองสภาวะการเกิดการสึกหรอแบบรุนแรง (Severe wear mechanism) และทดสอบภายใต้สภาวะเปียก โดยทดสอบชิ้นงานในสารละลายที่เลียนแบบของเหลวในร่างกายมนุษย์ (simulated body solution) โดยที่ของเหลวนี้มีความเข้มข้นของ NaCl 0.45 % โดยน้ำหนัก ผลของการทดสอบพบผิวโลหะไททาเนียมเกิดการสึกหรอ (wear) และการเสียหายที่ผิว (surface damages) การวิเคราะห์ผลการสึกหรอในเชิงคุณภาพ วิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (optical microscope: OM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) สำหรับการ

วิเคราะห์การสึกหรอในเชิงปริมาณจะใช้เครื่องวัดความลึกของผิว สามมิติแบบเลเซอร์ โดยสามารถถ่ายภาพรอยสึกหรอที่ผิว แล้วคำนวณออกมาเป็นปริมาตรการสึกหรอที่เกิดขึ้นได้

ในการวิเคราะห์ผิวของชิ้นงานไททาเนียมที่ผ่านการกลึง พบว่า เกิดรอยแตกเป็นจำนวนมาก เนื่องมาจาก Notch Effect ของชิ้นงาน และผิวที่ผ่านการยิงทราย พบรอยแตกใต้ผิวและการปนเปื้อนของอนุภาคที่ใช้ยิงผิว ซึ่งเป็นลักษณะด้อยของชิ้นงานที่ยิงผิวมา และจะทำให้อายุการใช้งานสั้นลง ในขณะที่การเคลือบผิวด้วย $TiAlVC_xN_y$ คุณภาพของผิวชิ้นงานดีขึ้น เนื่องจากสมบัติในเชิงไตรโบโลยีได้รับการปรับปรุง ซึ่งนวัตกรรมการเคลือบผิวด้วยวิธีการนี้ สามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการปรับปรุงคุณภาพของผิวโลหะไททาเนียมที่ใช้ในงานเชิงชีววิศวกรรม เช่น วัสดุฝังในได้

Executive Summary

The objective of this research is to study the influence of modified surfaces for titanium metal alloy grade TiAl6V4 on wear mechanism caused by the sliding between the titanium alloy and embedded bone cement. This study represents a model of wear mechanism that occurs in patients who have the endoprosthesis hip implants surgery.

For the experimental study, the work of this research was classified into 2 parts:

1. Surface modification: Alumina (Al_2O_3), Silica (SiO_2) and Steel (Fe) were blasted on TiAl6V4-surfaces in order to obtain differently roughened implant surfaces. The blasted surfaces were investigated by Scanning Electron Microscopy (SEM) and tactile Surface Profilometre. After blasting processes, a part of specimens was brought to coated with TiN-layer by the physical vapor deposition coating method (PVD) under the commercial condition. To investigate the innovative coating method which is developed by the Department of Production Engineering King Mongkut's University of Technology Thonburi, another group of specimen was coated with Titanium Aluminium Vanadium Carbonitride ($TiAlVC_xN_y$) by the DC unbalance magnetron sputtering. During this innovative coating process, Argon (Ar) and Nitrogen (N_2) gas flow rates, including other coating parameters, were constantly maintained, whereas the gas flow rate of Methane (CH_4) was varied in 3 levels, since 0.3, 0.5 and 0.7 sccm., respectively. After finishing the surface modification steps, all coating specimens were investigated theirs properties, such as surface roughness, surface morphology, surface crack and particle contamination, film thickness, microhardness, and biocompatibility of coating surface with MTT cytotoxicity assay.

2. Part Simulation of wear mechanism: Ti-6Al-4V-specimens were performed using a specially developed wear testing device. The fretting wear test device is designed and developed at the production engineering department that can simulate the load of interfacial contact between the implants surface and the bone cement made from polymer material (Polymethyl Methacrylate (PMMA)). The test was conducted at wet and dry condition the dry condition reflected the most severe wear that can happen to patients (worst case scenario). The wet condition was run in the simulated body solution (with 0.45% wt of NaCl). The result of wear and surface damages were qualitatively analysed by Optical Microscopy (OM), Scanning Electron Microscope (SEM). To quantify the wear volume, the calculation of wear scar was conducted by using 3D Measuring Laser Microscope.

The surface failures, such as the notch effects of surface milling, subsurface cracks and particle contamination in the blasting surfaces show the detrimental effects of the surface specimens. The results of the fretting wear experiments show the improvement of surface performance after coating with $TiAlVC_xN_y$ .This innovative coating method will be served as the basic knowledge for the further improvement of commercial hip implant.