สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		i
Abstract		ii
บทสรุปผู้บริหาร		iii
Executive Summary		v
กิตติกรรมประกาศ		vii
สารบัญ		viii
สารบัญตาราง		x
สารบัญรูป		xi
1. วัตถุประสงค์		1
2. บทนำ		1
3. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		3
4. วิธีทดลอง		7
4.1	สร้างเครื่องมือในการทดสอบ wear testing test	7
4.2	การเตรียมวัสดุสำหรับชิ้นงานทดสอบ	8
	4.2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	8
	4.2.2 ขนาดของชิ้นงานไททาเนียมที่ทำการทดสอบ	10
	4.2.3 ขนาดของชิ้นงานซีเมนต์กระดูก	10
4.3	การเตรียมผิวชิ้นงาน	11
	4.3.1. ชิ้นงานเปรียบเทียบ (Reference Specimen)	11
	4.3.2. ชิ้นงาน Sand blasting	11
	4.3.3 ชิ้นงาน Shot Peening (Steel shot)	12
	4.3.4 เคลือบผิวชิ้นงานด้วย TiN	12
	4.3.5 เคลือบผิวชิ้นงานด้วยไทเทเนียมอลูมิเนียมวานาเดียมคาร์โบไนไตรด์ $TiAlVC_xN_y$	12
4.4	ทดสอบชิ้นงานไททาเนียมใน Wear testing device	13
	4.4.1 วัดความเรียบผิว	14
	4.4.2 ตรวจดูสัณฐานของพื้นผิว	14
4.5	ทดสอบการสึกหรอชิ้นงานไททาเนียมในเชิงปริมาณ	14
4.6	การทดสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility test) ด้วยวิธีทดสอบทางอ้อมแบบ MTT cytotoxicity assay	14

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
5.	**ผลการทดลอง**	16
5.1	ค่าความเรียบผิวเฉลี่ยทั้งหมด	16
5.2	สัณฐานของผิวชิ้นงาน	16
5.3	ลักษณะผิวชิ้นงานหลังจากทดสอบการสึกหรอภายใต้สภาวะแบบแห้ง	18
5.3.1	ผิวชิ้นงานที่ผ่านการทำ Milling	18
5.3.2	ผิวชิ้นงานทีผ่านการยิงทราย (Sand Blasting)	18
5.3.3	ผิวชิ้นงานที่ผ่านการ Shot peening	19
5.3.4	ผิวชิ้นงานที่ผ่านการยิงทรายและเคลือบด้วยไอกายภาพ (Sand Blasting + PVD Coating)	20
5.3.5	ผิวชิ้นงานทีผ่านการยิงเม็ดเหล็กและเคลือบด้วยไอกายภาพ (Shot Peening + PVD Coating)	21
5.4	ลักษณะผิวชิ้นงานหลังจากทดสอบการสึกหรอภายใต้สภาวะแบบเปียก	22
5.4.1	ผิวชิ้นงานที่ผ่านการยิงทรายและเคลือบผิวด้วยไอกายภาพ (Sand Blasting + PVD Coating)	22
5.4.2	ผิวชิ้นงานที่ผ่านการยิงเม็ดเหล็กและเคลือบผิวด้วยไอกายภาพ (Shot Peening + PVD Coating)	24
5.5	ผลการทดสอบการสึกหรอของการเคลือบผิว	25
5.5.1	ผลการทดสอบความแข็ง	25
5.5.2	ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	25
5.5.3	ผลการหาปริมาตรการสึกหรอ	26
5.6	ผลการทดสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพ	27
6.	**วิจารณ์ผลการทดลอง**	28
6.1	การปรับปรุงผิวด้วยวิธีการทางกล (Mechanical Surface Treatment)	28
6.2	การปรับปรุงผิวด้วยวิธีการเคลือบผิว (Chemical Surface Treatment)	30
6.3	กลไกการเกิด Abrasive Wear ของผิวโลหะ	30
7.	**เอกสารอ้างอิง**	33
8.	**ภาคผนวก**	
	Light microscopic pictures of titanium surface	35
	Scanning Electron Microscopic pictures of titanium surface	62
	Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.	78

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ส่วนผสมทางเคมีของ Ti-6Al-4V	8
2	สมบัติทางกลของ Ti-6Al-4V	8
3	ส่วนประกอบของผงโพลิเมอร์	9
4	ส่วนประกอบของโมโนเมอร์เหลว	9
5	ส่วนผสมของของเหลวที่ใช้ในการทดสอบการสึกหรอ (simulated body fluid)	9
6	ส่วนผสมทางเคมีของผงอลูมินา A 60	11
7	สมบัติทางกลของผงอลูมินา A 60	11
8	สภาวะในการเคลือบผิว	13
9	ค่าความเรียบผิวเฉลี่ยชิ้นงานก่อนทดสอบการสึกหรอ	16
10	ผลการทดสอบความเป็นพิษบนชิ้นงาน (หน่วย: % Viability)	27

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1	ซ้าย) ภาพแสดงสะโพกเทียมก่อนใส่ให้คนไข้ ขวา) ภาพแสดง Particulate wear debris สีดำขณะผ่าตัดนำ สะโพกเทียมออกจากคนไข้ กรณีการเกิด Aseptic loosening	2
2	ภาพแสดงการสึกกร่อนของผิวโลหะไททาเนียมผสมจากการปรับปรุงผิวด้วยวิธี a) ยิงด้วยเม็ดเหล็ก (Shot peening), b) ใช้วิธีการ Machining, c) Electro polishing [2]	4
3	ซ้ายมือ) รูปจากการถ่ายด้วยกล้อง SEM บนผิวของการปรับปรุงผิวโลหะไททาเนียมด้วยวิธีการยิงเม็ดอลูมินา (ขวามือ) ภาพตัดขวางแสดงเศษของเม็ดอลูมินาที่ฝังตัวอยู่ในโลหะไททาเนียม [3]	5
4	ซ้ายมือ) ภาพ SEM แสดงเศษเม็ดเหล็ก SEM บนผิวโลหะไททาเนียม ขวามือ) ผลการวิเคราะห์ด้วย Energy Dispersive X- ray analysis (EDX) [1]	5
5	หลักการชุดทดสอบการสึกกร่อนของวัสดุทางการแพทย์ (Wear testing devices)	7
6	แสดงการเคลื่อนที่ของชิ้นงานและแรงกด	8
7	รูปร่างและขนาดของชิ้นงานไททาเนียม	10
8	รูปร่างและขนาดของชิ้นงานซีเมนต์	10
9	ชิ้นงานไทเทเนียมที่ผ่านการ Milling	11
10	ชิ้นงานไทเทเนียมที่ผ่านการยิงทราย	11
11	ชิ้นงานไทเทเนียมที่ผ่านการ Shot Peening	12
12	ระบบการเคลือบผิวแบบ DC unbalance magnetron sputtering	13
13	สัณฐานของผิวชิ้นงานก่อนการทดสอบ Wear Test	17
14	ลักษณะผิวชิ้นงาน Milling ที่ผ่านการทดสอบ Wear test ที่จำนวนรอบ a) 100,000 รอบ และ b) จำนวนรอบ 1,000,000 รอบ	18
15	ลักษณะผิวชิ้นงานของ Sand blasting ที่ผ่านการทดสอบ Wear test ที่จำนวนรอบ a) 100,000 รอบ และ b) 1,000,000 รอบ	18
16	ลักษณะผิวชิ้นงานของ Shot Peening ที่ผ่านการทดสอบ Wear test ที่จำนวนรอบ a) 100,000 รอบ และ b) จำนวนรอบ 500,000 รอบ และ c) 1,000,000 รอบ	19
17	ลักษณะผิวชิ้นงานของ Sand Blasting + PVD Coating ที่ผ่านการทดสอบ Wear test ที่จำนวนรอบ a) 100,000 รอบ b) จำนวนรอบ 500,000 รอบ และ c) 1,000,000 รอบ	20

รูปที่		หน้า
18	ลักษณะผิวชิ้นงานของ Shot peening + PVD Coating ในระดับมหภาค (Macroscopic Scale) a) ลักษณะของผิวก่อนการทดสอบ และ b) ลักษณะของผิวหลังการทดสอบ จำนวน 1,000,000 รอบ	21
19	ลักษณะผิวชิ้นงานของ Shot Peening + PVD Coating ในระดับจุลภาค (Microscopic Scale) a) ก่อนการทดสอบ Wear test b) ชิ้นงานที่ผ่านจำนวนรอบ 500,000 รอบ และ c) ผ่านการทดสอบ 1,000,000 รอบ	22
20	ลักษณะผิวชิ้นงานของ Sand Blasting + PVD Coating ในระดับมหภาค (Macroscopic Scale) a) ลักษณะของผิวก่อนการทดสอบ และ b) ลักษณะของผิวหลังการทดสอบ จำนวน 1,000,000 รอบ	22
21	ลักษณะผิวชิ้นงานของ Sand Blasting + PVD Coating ในระดับจุลภาค (Microscopic Scale) a) หลังการทดสอบ Wear test 500,000 รอบ b) ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบ 1,000,000 รอบ และ c) ผ่านการทดสอบ 1,000,000 รอบ	23
22	ลักษณะผิวชิ้นงานของ Shot Peening + PVD Coating ในระดับมหภาค (Macroscopic Scale) a) ลักษณะของผิวก่อนการทดสอบ และ b) ลักษณะของผิวหลังการทดสอบ จำนวน 1,000,000 รอบ	24
23	ลักษณะการเสียหายผิวชิ้นงานของ Shot Peening + PVD Coating หลังการทดสอบ จำนวน 1,000,000 รอบ	25
24	ค่าความแข็งชิ้นงานก่อนและหลังเคลือบ	25
25	แสดงการเปรียบเทียบของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	25
26	ปริมาตรการสึกหรอ (หน่วย: μm^3 ต่อระยะทาง 165 เมตร)	26
27	Wear scar ของผิวชิ้นงาน Ti-6Al-4V	26
28	Wear scar ของผิวชิ้นงานที่เคลือบด้วยอัตราการไหลของก๊าซ CH_4 0.3 sccm	26
29	Wear scar ของผิวชิ้นงานที่เคลือบด้วยอัตราการไหลของก๊าซ CH_4 0.5 sccm	27
30	Wear scar ของผิวชิ้นงานที่เคลือบด้วยอัตราการไหลของก๊าซ CH_4 0.7 sccm	27
31	ภาพการกระจายตัวของความเค้นตกค้าง a) จากการยิงด้วยผงเหล็ก b) ยิงด้วยผงอลูมินา [7,8]	29
32	ภาพ S-N curve ตามการทดลองของ Heinrich a) การทดลองกับชิ้นงานที่ยิงด้วยอลูมินา b) การทดลองกับชิ้นงานที่ขัดผิวละเอียด [9]	29

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
33	กลไกการเกิดรอยแตกและการเกิดอนุภาคจากการเสียดสี	31
34	ทฤษฎีผิวคู่สัมผัสของเฮิร์ตซ์ a) กรณีชิ้นงานไม่ผ่านการเคลือบผิว b) กรณีชิ้นงานเคลือบผิวด้วยผิวเคลือบบาง c) กรณีชิ้นงานเคลือบผิวด้วยผิวเคลือบหนา	34