

人工関節用合金のフレッチング摩耗に及ぼすアルミナナノコーティングの影響

Effect of alumina nano-coatings on fretting wear of metal alloys for artificial joints

岡山大（正）*塩田 忠 岡山大・工（非）永栄 謙登 岡山大（正）大宮 祐也 岡山大（正）藤井 正浩

Tadashi Shiota, Kento Nagae, Yuya Omiya, Masahiro Fujii

Okayama University

1. はじめに

近年、高齢化の進行と共に股関節疾患が増加し、人工股関節の需要が高まっている。現在、人工股関節として、コバルト・クロム合金骨頭とチタン合金ステムをかん合接合したモジュラー型人工股関節が多く用いられている。骨頭とステムの表面粗さ等により、かん合部界面には関節液で満たされた微小なすき間が存在する。歩行等により繰り返し負荷が加わると、微小すき間周辺でフレッチングによる金属摩耗粉が生じ、周囲組織が炎症して再置換手術が必要になる場合がある¹⁾。しかし、このかん合部で生じるフレッチングに対する対策は十分に検討されていない。

一般的に、フレッチングの低減には材料の組合せの変更、接触面の支持剛性の低減、薄板の挿入、表面処理などいくつかの方法がある²⁾。本研究では、耐摩耗性、耐食性に優れた生体適合性を有する酸化アルミニウム（アルミナ）のナノ薄膜をチタン合金にコーティング（以降、アルミナナノコーティングとする）することにより、コバルト・クロム合金とのフレッチングの低減を試みた。

2. 実験方法と実験条件

基板として、電解複合研磨により鏡面研磨された 10mm×10mm×2mm のチタン合金（Ti-6Al-4V ELI 材、算術平均粗さ：0.012μmRa、ビッカース硬さ：320HV）を用いた。アルミナナノコーティングには、原子層堆積法（Atomic Layer Deposition：ALD 法）を用いた。原料にトリメチルアルミニウムを用い、酸化プロセスとして酸素プラズマを 1 秒間照射した。製膜温度を 200℃とし、アルミナナノコーティングの膜厚が 10nm と 30nm となるように製膜した。アルミナナノコーティングによる表面粗さの変化はみられなかった。アルミナナノコーティングは、X 線回折測定からアモルファスであることを確認した。

フレッチング試験には、Fig. 1 のようなボールオンディスク型往復しゅう動試験機を用いた。相手材には、Table 1 に示す化学組成の直径 3/8 インチのコバルト・クロム合金ボール（算術平均粗さ：0.023 μmRa、ビッカース硬さ：530HV）を用いた。試験条件は、荷重を 50N、ストロークを 15～30μm、繰返し周波数を 2.5Hz、繰返し数を最大 90000 回、潤滑液を Table 2 に示す組成のハンクス平衡塩溶液（HBSS）とした。

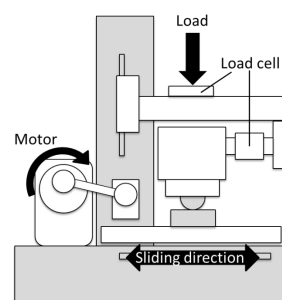


Fig. 1 Schematic drawing of the experimental apparatus

Table 1 Chemical composition of CoCr alloy ball (wt%)

Co	Cr	W	C	Ni	Mo	Fe	Si	Others
Bal.	32	4-5	1.2	<3.0	<1.0	<3.0	<2.0	<0.5

Table 2 Chemical composition of Hank's balanced salt solution (mg/L)

NaCl	KCl	CaCl ₂	MgSO ₄ · 7H ₂ O	Na ₂ HPO ₄ 2H ₂ O	KH ₂ PO ₄	D-Glucose	NaHCO ₃
8000	400	184.45	97.67	47.88	60	1000	350

3. 結果と考察

Figure 2 に繰返し数 90000 回フレッチング試験後のチタン合金基板と膜厚 10nm のアルミナナノコーティングのレーザー顕微鏡による表面観察像と SEM-EDS による元素分析結果を示す。また、Fig. 3 にそれぞれの相手材であるコバルト・クロム合金ボールの表面観察像と分析結果を示す。共にしゅう動方向は紙面上下方向である。Fig. 2 には、チタン合金基板とアルミナナノコーティングいずれの場合も、レーザー顕微鏡観察像にはヘルツ接触円と同等の直径を持つ円環状

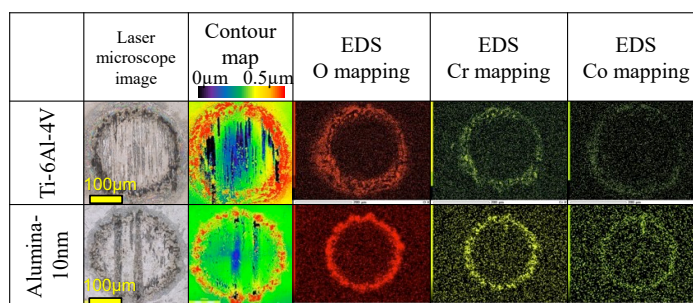


Fig. 2 Optical microscope images and SEM-EDS mapping of the Ti-6Al-4V substrate and 10nm alumina coating.

の摩耗痕のようなものが見られる。しかし、この円環部はコンター図において赤色で示されており、周囲よりも高くなっていた。また、これらの円環状の凸部は、SEM-EDS 分析結果からクロムおよびコバルト酸化物で構成されていることが分かる。

一方、Fig. 3 に示すように、チタン合金基板およびアルミナナノコーティングに対する相手ボール表面には、円環状の摩耗痕が見られた。この摩耗痕直径が、ヘルツ接触円の直径と同等であったことから、フレッチング摩耗が生じたことが分かる。したがって、Fig. 2 に示された基板およびコーティング上の円環状の凸部は、円環状のすべり域で生じたコバルト・クロム合金ボールの摩耗粉が、チタン合金基板およびアルミナナノコーティングに移着した結果と考えられる。同様のコバルト・クロムボールのフレッチング摩耗とコーティング膜上への移着現象は、膜厚 30nm のアルミナコーティングの場合も見られた。

Figure 4 に、試験後のレーザー顕微鏡観察から得た高さデータより算出したコバルト・クロム合金ボールの摩耗量を示す。チタン合金基板を用いた試験結果を黒棒、膜厚 10nm と 30nm のアルミナナノコーティングを用いた試験結果をそれぞれ赤棒と青棒で示す。これより、繰返し回数 90000 回の場合、アルミナナノコーティングによりコバルト・クロム合金ボールの摩耗量が 1/5 以下に低減したことが分かる。また、Fig. 5 に同様にして算出したチタン合金基板とアルミナナノコーティングへのクロムおよびコバルト酸化物の堆積量を示す。クロムおよびコバルト酸化物の堆積量もアルミナナノコーティングにより 1/5 以下に低減することが分かった。

4. おわりに

本研究では、チタン合金とコバルト・クロム合金の HBSS 中のフレッチング摩耗に対するアルミナナノコーティングの影響を検討した。往復しゅう動試験機を用いたフレッチング試験の結果、以下の結論を得た。

- コバルト・クロム合金ボールがフレッチングにより摩耗し、生じた摩耗粉がチタン合金基板に移着する。
- アルミナナノコーティングによりコバルト・クロム合金ボールのフレッチング摩耗とそれに伴う移着が低減する。

文献

- 1) 中村・石堂・中村・拵・瀬戸口・小宮：Trunnionosis による人工股関節弛みの 1 例，整形外科と災害外科，66，13 (2017) 463.
- 2) 佐藤：摩耗概論 (3)，日本マリンエンジニアリング学会誌，37，4 (2002) 269.

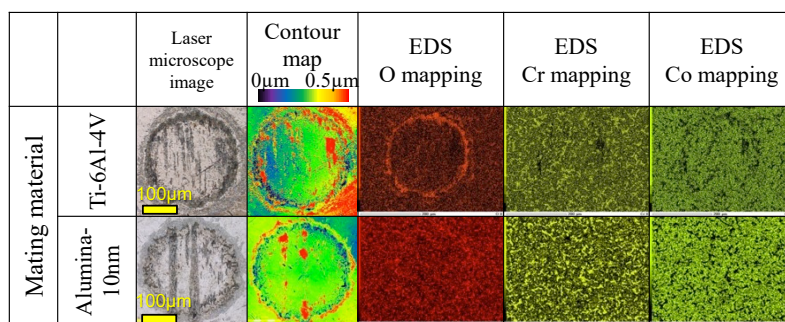


Fig. 3 Optical microscope images and SEM-EDS mapping of the mating CoCr balls.

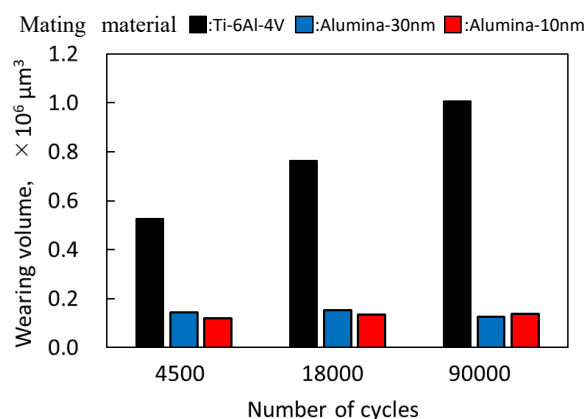


Fig. 4 Wear amount of the mating CoCr balls.

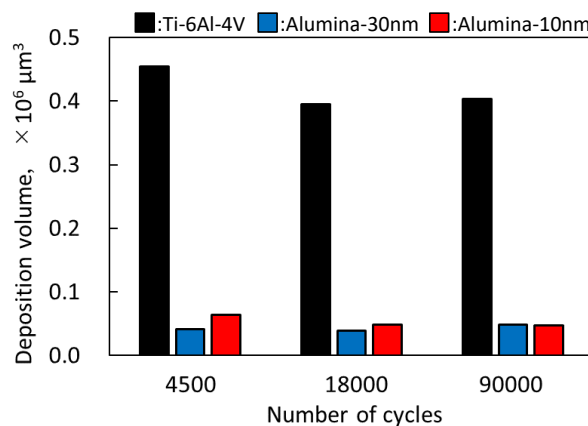


Fig. 5 The amount of transfer materials on the Ti-6Al-4V substrate and alumina coatings.