

Ti-6Al-4V 合金生体材料の加工面性状と摩擦・摩耗特性の関係

Relationship between surface quality and friction / wear properties of Ti-6Al-4V alloy

群馬大・理工（正）*林 偉民 群馬大・院（非）HE XIN 群馬大・理工（非）今井 健太郎

Weimin Lin*, Xin He*, Kentaroh Imai*

*Gunma University

1. はじめに

近年、日本は超高齢社会へと移行し、2025年には65歳以上の人口が約3500万人に達し、全人口の21%を65歳以上の高齢者が占める超高齢化社会が到来すると予測されている¹⁾。この高齢化に伴い、高齢疾患の一つである変形性股関節症の患者が増加すると予測される。この変形性股関節症の治療法の一つに人工股関節置換手術があり、人工股関節については20年以上の耐用性が議論されている。人工股関節の耐用性は、いかに人工股関節と骨が長期にわたって固着するか、関節摺動部が擦り切れたり破損したりせずに長持ちするか、という2点に大きく左右される²⁾。これまでに固着性に関する研究報告は数多くあるが、耐摩耗性に関する研究は前項に比べてあまり多くない。

そこで本研究では、生体材料の摩擦・摩耗特性を調査するため、平面形状のTi-6Al-4V合金に対して、素材から鏡面までの各加工段階と表面改質が及ぼす影響について調査した。実際に表面改質した材料と未改質の材料を使用して擬似生体環境での摩擦・摩耗実験を行い、表面粗さ、摩擦係数および摩耗量を測定し、結果について比較・評価を行った。

2. 実験方法

2.1 供試材

供試材には、熱間鍛造丸棒材（Φ30 mm）にワイヤーカットを施し、厚さ15 mmにしたTi-6Al-4Vをフライス盤で加工し、得られた試験片を研磨実験および改質実験に用いた。

2.2 表面改質

フライス加工で得られた試験片および研磨加工で得られた試験片を、表面改質を行い試験片として用いた。電気炉中で耐熱板上に試験片を置き、所定の処理温度（700℃）、処理時間（30分）にて、大気中において加熱処理を施したのち室温で冷却したものを、酸化処理を施した試験片として摩擦摩耗試験に用いた。

2.3 摩擦摩耗試験

摩擦摩耗試験には、ボールオンディスク型摩擦摩耗試験機を用いた。摩耗相手材には、アルミナボール（Φ10 mm）を用いた。試験は、室温の生理食塩水環境中で、摺動速度および摺動距離をそれぞれ500 mm/minおよび5 mmと固定し、荷重100 g、往復回数5000回条件下にて行った。実験条件をTable 1に示す。また、電子天秤にて摩擦摩耗試験前後の各試験片の重量を一定間隔で測定し、それらの差を各試験片の摩耗重量減少量（ W_{loss} ）とした。 W_{loss} は、次式により算出した。

$$W_{loss} = W_1 - W_2 \quad (1)$$

ここで、 W_1 は摩擦摩耗試験前の試験片重量であり、 W_2 は摩擦摩耗試験後の試験片重量である。また、試験中の摩擦係数を100回間隔で測定し、摩擦摩耗試験後の各摩擦摩耗試験片の摩耗痕および断面図も観察した。

Table 1 The experimental conditions

Friction type	Repeat
Friction partner material	Alumina ball (Φ10 mm)
Weight	100 g
Stroke	5 mm
Number of round trips	5000 times
Sliding speed	500 mm/min
Atmosphere	Room temperature, saline

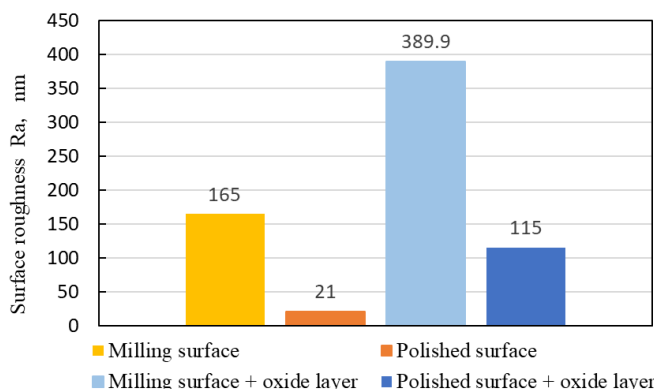


Fig.1 Surface roughness of each specimen

3. 実験結果および考察

3.1 加工面の評価

Fig. 1 に各試験片の摩擦摩耗試験前に測定した表面粗さを示す。酸化層を付与した試験片の表面粗さ R_a が增大したのは、加熱時に形成される酸化層の厚さが不均一であることが原因と考えられる。

3.2 摩擦摩耗特性

4 種類の試験片それぞれの摩擦係数を Fig.2 に示す。Fig.2 から、フライス面試験片の摩擦係数は、摩擦距離に対して線形に増加することが見られる。研磨加工により得られた試験片の摩擦係数は、摩擦初期は距離に応じて増加傾向があるが、摩擦距離が 25 m を超えると大きな変化はなく、0.43 程度で安定していることが見られる。また、加熱改質した試験片の表面に酸化層が形成されると、摩擦係数が低下することがわかる。加工方法の影響について、酸化層の有無にかかわらず、表面粗さ R_a が小さい研磨面試験片の摩擦係数が小さくなることがわかる。

Fig.3 に摩擦・摩耗実験後の、各試験片の摩耗重量減少量 (W_{loss}) を示す。Fig.3 より、改質前試験片の各加工段階での摩耗重量減少量 (W_{loss}) は距離に比例し、改質前、摩擦係数が大きい方の摩耗重量減少量が多いことがわかる。また、改質後はフライス面試験片および研磨面試験片の摩耗重量減少量も大幅に低減した。Fig.2 と併せて、加熱改質後の Ti-6Al-4V の耐摩耗性は大幅に向上していると考えられる。また、酸化層の表面粗さ R_a と摩擦・摩耗特性の関係を調べるため、研磨時間を制御して表面粗さ R_a の異なる 3 種類の酸化層付き試験片 (R_a 92, 115, 125 nm) を作製した。Fig.4 に摩擦・摩耗実験後の摩耗重量減少量 (W_{loss}) を示す。Fig.4 から、摩耗重量減少量 (W_{loss}) は摩擦距離に比例し、表面粗さ R_a が大きいほど摩耗重量減少量が多くなる。

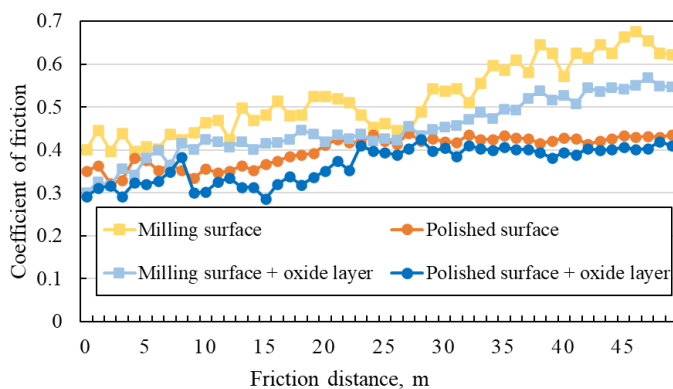


Fig.2 Friction coefficient of test piece

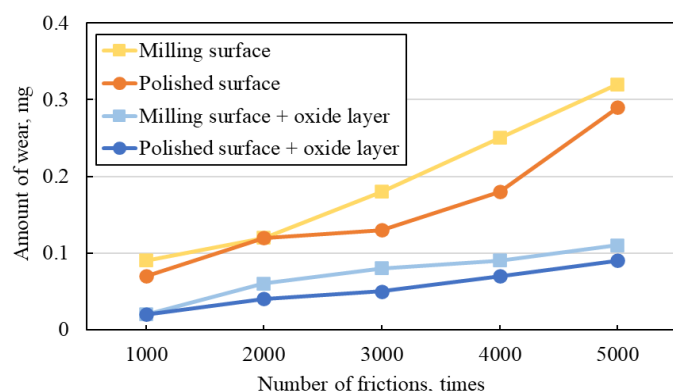


Fig.3 Amount of abrasion weight loss of test piece

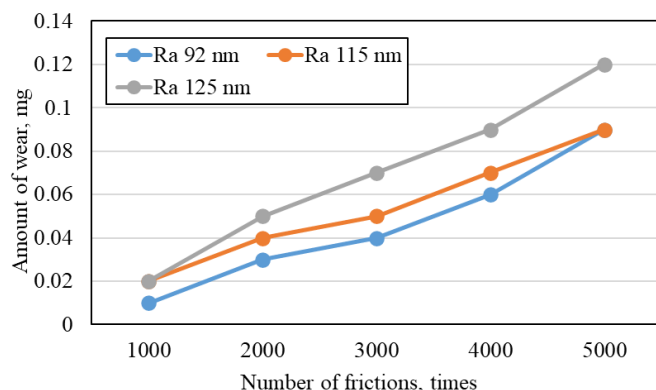


Fig.4 Amount of abrasion weight loss of test piece with oxidized layer

4. 結言

今回、生体用チタン合金である Ti-6Al-4V の表面性状に着目し、擬似生体内環境中における摩擦摩耗特性を調査・検討した結果、以下の知見が得られた。

- 1) 加熱改質を施した Ti-6Al-4V の擬似生体内環境中における摩耗重量減少量 (W_{loss}) は、未改質の供試材と比較して低くなる。これは、改質で生成する酸化層により摺動面の硬度が増加したことに起因して耐摩耗性が向上したと考えられる。
- 2) 試験片の摩耗重量減少量 (W_{loss}) は摩擦距離に比例し、摩擦係数が大きいほど摩耗量が多くなることが確認された。
- 3) 酸化層の表面粗さ R_a も摩耗重量減少量の低減に効果があることが確認された。

文献

- 1) 厚生労働省：令和 4 年版高齢社会白書，(2022)，2-6。
- 2) 高尾正樹，人工股関節の最近の進歩，日本人工臓器学会雑誌，49，3，(2020)，150-153。