

炭素ドーピングチタン合金の層選択型精密加工

1. はじめに

近年、軽量・高強度・耐食性・生体適合性を活かして、チタン合金が人工関節に応用されている。しかしながら、人工関節摺動面に関しては、摩耗粉が発生すると骨融解を誘発してしまうことから耐摩耗性、生体適合性が要求される。そのために、摺動部品に多く用いられている CoCr 合金が使用されているが、アレルギーを持つ患者が存在するために摺動面のチタン合金への代替化が期待されている。図 1 に示すような炭素ドーピング酸化チタンと呼ばれる表面改質により耐摩耗性を向上させたチタン合金も開発され、摺動面への適用が期待される。しかしながら、その表面改質層は非常に薄く摺動面に必要な鏡面の達成と表面改質層の維持の両立ができていないのが現状である。

2. 層選択型精密加工

炭素ドーピング酸化チタンの組織断面構造を SEM 観察した結果、図 2 に示すように表面改質層は 4 層存在することがわかっている。この熱処理条件では、合計約 $20\mu\text{m}$ の膜が存在する。3 層目には空洞が生じており、表面粗さを向上させるためには、この層を除去する必要がある。4 層目は、空洞がないが $2\mu\text{m}$ ほどの厚さしかない。これらの観察結果から、空洞のない 2 層目 (Al_2O_3) および 4 層目 (TiO_2) で鏡面を達成できれば目的を達成できることがわかっている。したがって、このような層を選択的に取り出す加工を行う必要があり、鏡面の達成と層の識別が求められる。

筆者らは、炭素ドーピング酸化チタン処理を施したチタン合金の人工関節摺動面への適用を目的とし、熱処理時に生成される複層膜のうち、目的の膜表面のみを選択的に取り出して鏡面に仕上げる超精密加工方法を研究している。層の識別において、 TiO_2 、 Al_2O_3 は絶縁性を持つが母材の $\text{Ti}_6\text{Al}_4\text{V}$ は導電性を持つことから、各層は導電性が異なる可能性があり、加工中に導電性を計測しながら、層の識別を行う方法が考えられる。以上から、図 3 に示すような研磨加工および層識別を同時に行う選択的除去鏡面加工システムを提案する。図 3 (a) のように所定の間隔で研磨を行った後、図 3 (b) に示すように層の状態を検出する。検出結果に基づいて加工を継続し (図 3 (c))、目的の層表面となったところで加工を終了する (図 3 (d))。

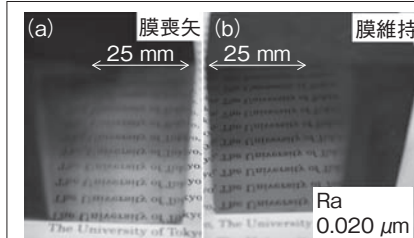


図 1 炭素ドーピング酸化チタン

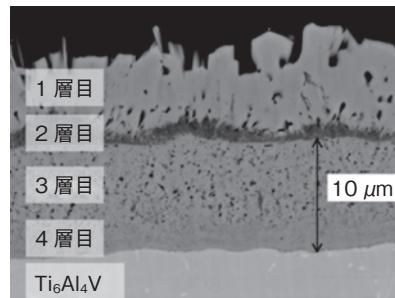


図 2 SEM 観察像

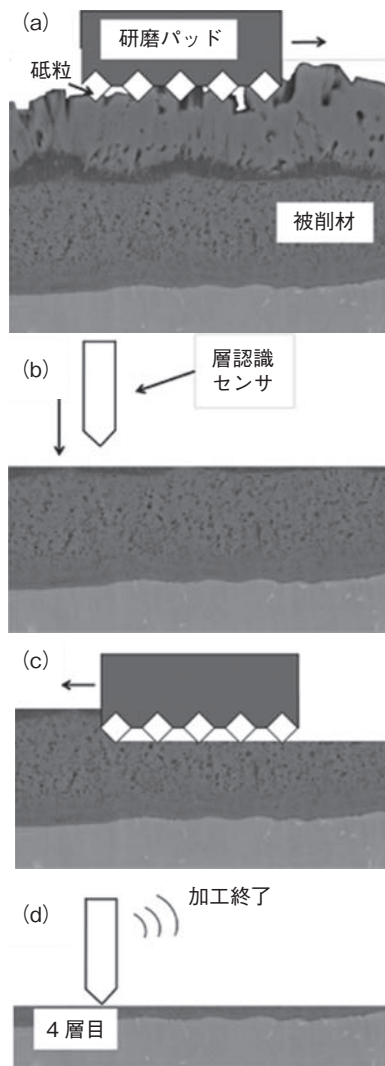
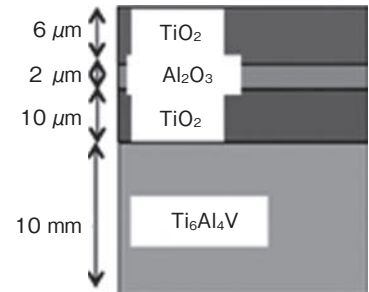
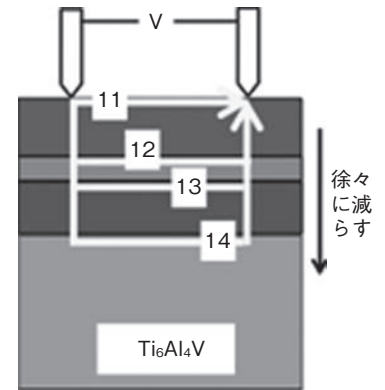


図 3 提案手法

試料サイズ: $25 \times 25 \times t10$



試料モデル図



電流モデル

図 4 層認識手法

3. 層認識手法

層の認識を行うための物理パラメータとしては、硬度やインピーダンスが考えられる。まずは、インピーダンスを対象として層の識別手法を提案する。この方法では、図 4 に示すように電流が層を突き抜ける場合と層表面を流れる場合に分け、層厚さにより、抵抗が変化する並列回路を考える。流れる総電流を計算し、そこから合成抵抗値を算出することで各層の抵抗値を算出する。この方法では、接触抵抗の影響などを検討していかなければならない。

4. おわりに

提案する加工方法は、今後急速に進行する高齢化社会において患者の生活質の向上に寄与できるものと考えている。オーダメイド化により再生医療や関節代替手術の需要は飛躍的に増大することが期待される。

(原稿受付 2013年4月18日)

[杉田直彦 東京大学]