

平成 30 年 4 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K15717

研究課題名(和文)レーザー加熱相変態を利用した制菌傾斜機能合金の開発：アンカースクリューへの応用

研究課題名(英文)Development of functionally gradient bacteriostatic alloys by using laser heat treatment: application to orthodontic anchoring screw

研究代表者

高橋 正敏 (Takahashi, Masatoshi)

東北大学・歯学研究科・助教

研究者番号：50400255

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：レーザー局所加熱相変態によりTi-Ag合金を組織制御した制菌性傾斜機能合金の開発を目的とし、Ti-Ag合金を設計、試作した。矯正用アンカースクリューは機械加工により製作するため、Ti-Ag合金の機械加工性を工具寿命の観点から調べ、チタンよりも優れていることを明らかにした。また、合金組織制御の一例として、チタンにニオブと銅を添加したTi-Nb-Cu合金を設計、試作した。Ti-Nb-Cu合金の強さと硬さの向上には、固溶強化と α + β の析出強化が関与していることを明らかにした。さらに、動物実験に備え、ビーグル犬に埋入した試料をデンタルX線画像により経過観察するための補助装置を開発した。

研究成果の概要(英文)：Aiming to develop functionally gradient bacteriostatic alloys, we prepared experimental Ti-Ag alloys and investigated their machinability. The machinability of Ti-Ag alloys was superior to that of pure titanium. On the other hand, experimental Ti-Nb-Cu ternary alloys were prepared and investigated their properties. The differences in the mechanical properties are attributable to solid-solution strengthening or to precipitation strengthening by the dual-phase (α + β) structure. Additionally, we developed a simplified fixating device for performing intraoral radiography in beagle dogs.

研究分野：歯科生体材料学分野

キーワード：チタン合金 チタン銀合金 金属組織 機械的性質 制菌性

1. 研究開始当初の背景

矯正用アンカースクリューを固定源として効率的に歯を動かすインプラント矯正の登場により、矯正期間は大幅に短縮し、さらに、矯正治療の幅は広がった。しかし、アンカースクリューは一部が口腔内に露出しているためプラークが停滞しやすく、感染のリスクが高い。アンカースクリューの早期脱落や破折は約 15%に生じ、埋入後も感染などが原因で動揺し、場合によっては脱落する[東北矯歯誌 20:75-80,2012]。インプラント矯正の治療成績の向上には、症例の選択やプラークコントロールの徹底はもちろん重要であるが、アンカースクリュー自体が感染に対する防御機能を有することが大切と考えられる。つまり、新しいアンカースクリューに求められる性質は、高い強度と優れた生体適合性、そして、制菌性である。代表者の開発した Ti-Ag 合金は、口腔内細菌叢に影響を与えずに、バイオフィーム形成を抑制する、新しいタイプの制菌性を有している[特開 2010-121153]。Ti-Ag 合金の金属組織は、制菌性を示す共析組織 ($+Ti_2Ag$) と、生体適合性に優れたプライム相 (Ag 過飽和固溶体) がある。これまで調べてきた鑄造体の金属組織は、組成と冷却速度により決まっていたが、レーザー局所加熱による相変態の技術[特開 2014-73302]を応用し、金属組織を傾斜機能化させることができれば、生体適合性に優れ、口腔内に露出する部位は感染に抵抗する新しい矯正用アンカースクリューが開発できると考え、本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

口腔内に露出する部分に制菌性を与え、生体内に埋入する部分には生体適合性を持たせた高強度な矯正用アンカースクリューが開発されれば、インプラント矯正の治療成績は飛躍的に高まると考えられる。代表者らは、常在細菌叢に影響を与えずに、材料表面へのバイオフィーム形成を抑制する、制菌性歯科用 Ti-Ag 合金を開発した。また、レーザーによる局所加熱でステンレス鋼を相変態させ、同一素材上にレーザー描画による磁気回路を製作する技術を見出した。本研究課題では、これらの発明を組合せ、レーザー局所加熱相変態を利用して Ti-Ag 合金を組織制御し、プライム相 (生体適合性優位) から共析組織 (制菌性優位) へ金属組織を連続的に変化させた、制菌性傾斜機能合金の開発および応用を試みる。

(1) 圧延加工度と硬さ

本研究の目的とする金属組織制御にあたり、まず圧延強加工と再結晶熱処理による結晶粒の微細化を図る。そのためには、圧延加工によって Ti-Ag 合金に割れや裂けの発生する限界を知る必要がある。また、硬さを測定し、加工が機械的性質に与える影響を調べる。

(2) 切削性試験

矯正用アンカースクリューは切削加工により製作するため、切削性が重要である。Ti-Ag 合金の切削性は、従来の研究から切削抵抗の点ではチタンより優れていることが分かっている。本研究ではさらに、工具寿命の観点から切削性を評価する。

(3) 研磨性試験

矯正用アンカースクリューの表面は研磨により仕上げられる。Ti-Ag 合金は切削性や研磨性に優れていることが分かっているが、研磨性も良好であるかを研磨性試験により評価する。また、チタン研磨に適した軸付き砥石を開発する。

(4) Ti-Nb-Cu 合金の金属組織と機械的性質

チタン合金の金属組織制御の一例として、Ti-Nb-Cu 三元系合金を設計、試作し、それら鑄造体の X 線回折試験と金属組織観察を行うことで、合金相を同定する。また、それら試作合金の機械的性質 (強さ、伸び、硬さ) を調べ、金属組織学的に検討する。

(5) 動物用デンタル X 線ホルダーの開発

試作した矯正用アンカースクリューはビーグル犬に埋入し、デンタル X 線画像により経時変化を調べる計画である。埋入した試料を、X 線フィルムの位置や角度を変えずに複数回撮影するためには、専用の補助装置が必要である。そこで、動物実験に備え、ビーグル犬用のデンタル X 線ホルダーを開発する。

3. 研究の方法

これまでの研究成果を基に Ti-20%Ag 合金を設計した。合金設計に従い、スポンジチタンと銀粒を秤量し、アルゴンアーク溶解炉で Ti-20%Ag 合金インゴットを溶製した。インゴットはチタン用鑄造機を用いて鑄造加工し、各実験に供した。

(1) 圧延加工度と硬さ

圧延機を用いて Ti-20%Ag 合金インゴットの圧延を冷間加工で行った。加工度を段階的に上げて行き、割れや裂けの発生する限界を調べた。同時に硬さ試験を行い、加工度と硬さの関係を調べた。

(2) 切削性試験

Ti-20%Ag 合金とチタンを歯科 CAD/CAM で切削加工し、陶材焼付冠用のメタルコーピングを製作した。切削工具の摩耗状態や刃先への金属の付着を調べることで、工具寿命を評価した。また、切削面を SEM 観察し、仕上げ面性状を評価した。

(3) 研磨性試験

チタン研磨用に開発した軸付き砥石と試作研磨試験装置を用いて Ti-20%Ag 合金の研磨性試験を行った。定荷重で往復運動させなが

さかった。特に、インプラントの高さ方向で顕著だった(図4)。このことから、犬の歯槽骨を経時的に観察するときに、本装置を使用すれば、線源、被写体およびフィルムの位置関係および角度を固定でき、ほぼ同一のX線撮影像を得られることが示された。

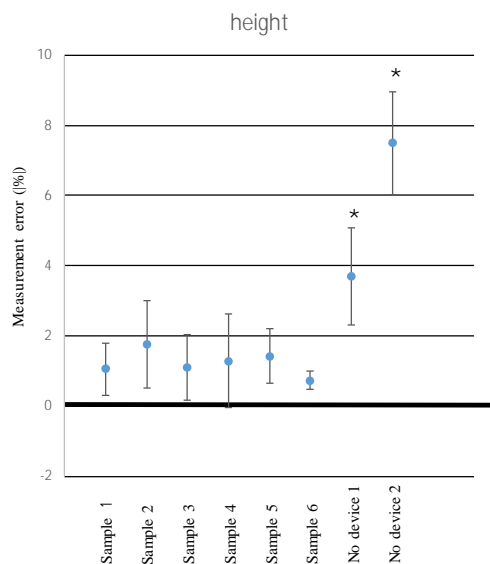


図4 開発ホルダーの使用の有無とインプラント撮影像の大きさの誤差

以上の結果から、制菌性傾斜機能合金の開発および応用のための基礎的なデータを得た。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

Tenkumo T, Takahashi M, Kanyi M, Takada Y, Method of a Simplified Fixating Device for Performing Intraoral Radiography in Beagle Dogs, figshare, 査読無, 2017, DOI:10.6084/m9.figshare.4757254

佐藤秀明、笠原裕昭、川島佑介、小柳津善二郎、亀山雄高、眞保良吉、高田雄京、高橋正敏、歯科用 Ti-Ag 合金の精密研磨第1報：ポリ尿素樹脂ボンド軸付き砥石の開発、砥粒加工学会誌、査読有、60巻、2016、503-508

Takahashi M, Kikuchi M, Takada Y, Mechanical properties and microstructures of dental cast Ti-6Nb-4Cu, Ti-18Nb-2Cu, and Ti-24Nb-1Cu alloys, Dental Materials Journal, 査読有、35巻、2016、564-570、DOI:10.4012/dmj.2015-354

Inagaki R, Kikuchi M, Takahashi M, Takada Y, Sasaki K, Machinability of an experimental Ti-Ag alloy in terms of tool life in a dental CAD/CAM system,

Dental Materials Journal, 査読有、34巻、2015、679-685、DOI:10.4012/dmj.2015-014

[学会発表](計3件)

高橋正敏、マルチファンクション歯科用チタン合金の開発、東北大学歯学会、平成29年6月16日、仙台

高橋正敏、Ti-6Nb-4Cu, Ti-18Nb-2Cu, Ti-24Nb-1Cu 合金の金属組織と機械的性質、日本歯科理工学会、平成28年4月16日、福岡

高橋正敏、チタンの機械的性質におよぼす銀の添加効果、粉体粉末冶金協会、平成27年5月27日、東京都新宿区

6. 研究組織

(1)研究代表者

高橋 正敏 (TAKAHASHI MASATOSHI)
東北大学・大学院歯学研究科・助教
研究者番号：50400255

(2)研究分担者

高田 雄京 (TAKADA YUKYO)
東北大学・大学院歯学研究科・准教授
研究者番号：10206766

天雲 太一 (TENKUMO TAICHI)

東北大学・大学院歯学研究科・助教
研究者番号：80451425