

氏名	土井 和弘
学位の種類	博士（歯学）
学位授与番号	第 181 号
学位授与の日付	2014 年 3 月 6 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当（博士課程修了）
学位論文題目	インプラント材としての Ti-6Al-4V 合金の変態温度と機械的性質の関係
指導教員	(主) 教授 永澤 栄 (副) 教授 黒岩 昭弘 (副) 准教授 八上 公利
論文審査委員	主査 教授 倉澤 郁文 副査 教授 高橋 直之 副査 准教授 熊井 敏文

学位論文の内容の要旨

[目的]

インプラント治療の普及に伴い、インプラント体の破折が数多く報告されるようになった。破折原因の一つとしてインプラント材料自体の強度不足が考えられている。

現在インプラント材料としては JIS 第 4 種純チタンが主に使用されているが、耐力は 500MPa、疲労強度は 250MPa 程度であるのに対し、チタン、アルミニウム、バナジウムの合金である Ti-6Al-4V 合金の耐力は 800MPa、疲労強度は 650MPa 程度と格段に大きく、破折不いインプラント材料として注目されている。工業界では Ti-6Al-4V 合金の材質の向上を得るためには 968℃で 60 分加熱し、溶体化処理を行った後、538℃で 4 時間加熱処理を、酸化防止のためにガス雰囲気中で行うことが指示されている。しかし、ガス雰囲気での熱処理には高額な装置を必要とする。したがって、大気雰囲気中で行うには、酸化を軽減するために加熱温度をできるだけ低くして、短時間での処理を検討する必要がある。

一方、Ti-6Al-4V 合金は、500℃付近において変態が生じる。この温度を利用し、インプラント材料に、より適した材質に改良できる可能性がある。そこで、本研究は、Ti-6Al-4V 合金を 450℃、500℃、550℃、600℃、650℃で加熱処理を行い、引張強さ、耐力、伸び、硬さ、金属組織について検討し、さらに X 線回折により析出物についての検討を行った。

[材料ならびに方法]

実験には、Ti-6Al-4V 合金（大同特殊鋼）直径 5mm、長さ 100mmを用い、以下の項目について検討した。

- 1) 変態温度の測定：加熱速度 0.3℃/min の条件で 1000℃までの熱膨張。
- 2) 熱処理：450℃、500℃、550℃、650℃、1 時間 500℃、0.5、1.0、1.5、2 時間。
- 3) 引張強試験：引張り速度 0.5mm/min、引張強さ、耐力、伸びの測定。
- 4) 硬試験：試験片横断面の端から 0.1mm、中間部の 1.25mmと中心部のビッカース硬さ測定。
- 5) 金属成分の面分析：試験片横断面の中間部位、XMA（JEOL）使用。
- 6) 組織観察：試験片横断面の端、中間部、中心部、レーザー顕微鏡（オリンパス）

使用.

7) 破断面の観察：引張試験後の破断面の観察，電子顕微鏡（JEOL）使用.

8) X線回折：直径 8mm の棒材を厚さ 1mm の板に流水下で削り出し，X回折装置（JEOL）使用.

[結果および考察]

1. 熱膨張試験より 450℃から 650℃の間に変態温度が存在することが判明した.
2. 工業界の熱処理条件で処理した Ti-6Al-4V 合金の引張強さは，処理前と比較して 12.7%増加，耐力は 22%増加，硬さは 46%増加したが，伸びは 74%減少した.
3. 低温で熱処理した試験片の引張り強さは 500℃で処理した場合，処理前と比較して 9.4%の増加で最大であった. 耐力は 500℃と 550℃はほとんど差がなく 24%の増加であった. 硬さも 500℃と 550℃が 8.4%の増加であった. 500℃の伸びの減少は，わずか 11.3%であった.
4. 最も効果のあった 500℃における加熱時間の影響は，60 分加熱した試験片が引張り強さ，耐力，伸びにおいて，総合的に優れており，本法の有効性が確認された.
5. X線回折の結果から，熱処理の効果はTi₃Al規則格子の析出と，軟質なβ相の増大との兼ね合いによるものと考えられた.

学位論文審査の結果の要旨

本研究は、インプラント材料として主に使用されている JIS 第 4 種純チタンよりも機械的強度に優れている Ti-6Al-4V 合金の熱処理法について、今回考案した方法を工業界が指示している方法と機械的性質を中心に比較した研究であり、特に伸びにおいて改善が認められ、これは軟質な β 相の増大と関連していることを X 線解析学的に明らかにしている。伸びはインプラント材料に重要な性質である靱性と深く関わっており、破折を起こしにくいインプラント材料開発に重要な知見と考えられる。また、今回の方法が工業界の指示よりも設備的、時間的により簡便であることも、本方法の今後の普及の可能性を示唆している。

以上、本研究が臨床上、より応用価値の高いインプラント材料開発過程の上で意義のある研究であることは明らかであり、本論文が学位論文に値するものと認める。

最終試験の結果の要旨

申請者の学位論文に関し主として以下の口頭試問を行った。

- (1) インプラント材料に必要な性質である靱性とは何か。
- (2) Ti-6Al-4V 合金の靱性はどのように評価するのか。
- (3) Ti-6Al-4V 合金の 500℃加熱処理により、靱性はどのように変化すると考えるか。
- (4) X線回折解析における α 相と β 相とはどのような状態を指すのか。
- (5) インプラント材の開発において、500℃加熱処理はどのように有利なのか。
- (6) Ti-6Al-4V 合金の組織親和性に関する最新の知見はどうか。

これらの質問に対して申請者は適切に回答した。

本審査委員会合議の結果、申請者は博士（歯学）として十分な学力および知識を有するものと認め、全員一致して最終試験を合格と判定した。