

氏名	冀 欣
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博 甲 第 8496 号
学位授与年月日	平成 30年 3月 23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	数理物質科学研究科
学位論文題目	

Mechanical Properties and Deformation Mechanisms in β -type Ti-Mo Alloys
(β 型 Ti-Mo 合金の力学的性質と変形機構)

主査	筑波大学教授(連係大学院) Ph.D.	土谷浩一
副査	筑波大学教授 工学博士	金 熙榮
副査	筑波大学准教授(連係大学院) 博士(工学)	内藤昌信
副査	物質・材料研究機構 主幹研究員 博士(工学)	江村 聡

論 文 の 要 旨

審査対象論文は、高耐食性構造材料、医療デバイス材料として近年注目を浴びている β 型 Ti 合金の一種である Ti-Mo 系合金について、その力学的性質を明らかにするとともに塑性変形機構について明らかにしたものである。

第 1 章では各種の β -Ti 合金の特徴とその研究開発動向について文献調査に基づいて述べられている。また第 2 章では試料の準備方法と主な解析手法など本研究で用いられた実験手法について述べられている。

第 3 章には Ti-7.5wt%Mo 合金を溶体化温度から焼き入れして得られる直方晶構造の α'' マルテンサイト相の変形機構について調べた結果が述べられている。 β 相の変形組織や力学特性に調べた研究は数多いが、 α'' マルテンサイト相について調べた研究は比較的少なく、その点でも非常に貴重である。本研究ではこの合金を室温で 5%まで引張り変形した後の試料の微細組織について、走査電子顕微鏡(SEM) 観察と背面反射電子回折(EBSD)測定を行ったあと、同一箇所から収束イオンビーム加工(FIB)によって透過電子顕微鏡(TEM)用の試料を切り出して高分解能 TEM 観察を行い、 α'' マルテンサイト相変形機構が転位によるすべり変形と双晶変形である事を明らかにした。特に変形双晶について、これまでに報告の無い{112}第 1 種双晶の存在を見出し、Bilby-Crockerの理論に基づいて、shear と shuffle などの原子的視点で双晶形成の機構について考察を行っている。

第 4 章では力学特性に与える酸素添加の影響に関して調べるために、酸素量を 0~0.5wt%まで変化させた Ti-7.5wt%Mo 合金を作製し、その室温における力学特性を引張り試験と硬さ試験、組織観察などで調

べた結果について述べている。その結果、酸素濃度とともに硬さと引張り強度は上昇するが、酸素濃度が 0.4wt%の試料では旧 β 相粒界に α 相が析出すること、さらに酸素量を 0.5wt%まで増やすと粒内にも α 相が析出し、それに伴って延性が著しく低下することを明らかにした。0.3wt%酸素添加した合金は降伏強度が 643 MPa, 引張り強度が 958 MPa と高強度でありながら 15%の均一伸びを示す、強度-延性バランスの良い材料であることが示された。またヤング率が 61.3 GPa と非常に低いことも明らかにされた。人工関節などの医療デバイス材料には高強度、低ヤング率が要求されている。しかし現在開発の主流となっているのは Zr, Nb, Ta, Sn などの合金元素を多量に添加した 4 元系以上の多元系合金が殆どで有り、材料コストなどの面で問題がある。しかし本研究で得られた合金は 2 元系合金に酸素を添加したのみの非常にシンプル成分でありながら高強度、低ヤング率を実現した優れた材料であると言える。

第 5 章では双晶誘起塑性(TWIP)により顕著な延性を示す Ti-10Mo-1Fe 合金の加工硬化挙動について詳細に調べた結果について述べている。特に $2.8 \times 10^{-5}/s$ から $2.8 \times 10^{-1}/s$ までの 5 種類のひずみ速度での引張り特性と加工硬化挙動について調べ、低ひずみ速度では降伏応力が低いがその後の加工硬化が非常に顕著で引張り強度が上昇すること、高ひずみ速度では降伏応力は高いが加工硬化はそれほど顕著では無く、結果として加工硬化率のひずみ速度依存性が負になる事を示した。その原因について考察するために、種々のひずみを加えた試料について SEM 観察とEBSD測定により変形した試料の双晶の量を、またX線回折とWarren-Averbach 法によって転位密度を算出した。さらに引張り試験中の加工発熱を計算している。その結果、ひずみ速度が高い時は加工発熱が大きいために低いひずみ速度の試料と比べて双晶生成量や転位密度が低いために加工硬化率が低くなると推論している。

審 査 の 要 旨

[批評]

本論文では近年、国際的にも非常に研究が盛んな β 型チタン合金の一種である Ti-Mo 合金について、その力学的性質について微細組織と変形機構の観点から検討を加えたものである。特に Ti-7.5Mo-xO 合金の強度-延性とヤング率について系統的に調べ、単純な化学組成の合金であるにも関わらず、多元系合金を凌駕する高強度、高延性、低ヤング率を同時に実現できる事を示した事は工学的に重要な成果である。Ti-Mo合金は耐食性が高く、生体適合性も良好であるので今後この合金の人工関節などの医療デバイス材料としての応用が期待される。

また Ti-7.5Mo 合金のマルテンサイト相の変形機構について SEM/EBSDとTEM観察を併用して調べ、 α'' マルテンサイト相において{112}第 1 種双晶が生成することを世界に先駆けて明らかにし、双晶生成の機構について原子的な視点で考察を加えているのは学術的に重要な成果である。

以上のように本研究では β 型チタン合金の力学的性質と変形機構について微細組織の観点から調べたものであり、学術的にも工学的にも極めて重要な知見が得られていると言える。

[最終試験結果]

平成 30 年 2 月 9 日、数理工学物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。