

氏名	JIANG Baozhen		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	博甲第 7552 号		
学位授与年月日	平成27年 9月25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	数理工学科学研究科		
学位論文題目	Effect of Severe Plastic Deformation on Microstructure in Metastable β - Ti Alloys (準安定 β 型チタン合金の微細組織に与える大ひずみ加工の影響)		
主査	筑波大学教授	Ph.D.	土谷浩一
副査	筑波大学教授	工学博士	目 義雄
副査	筑波大学教授	工学博士	金 熙榮
副査	物質・材料研究機構	博士(工学)	江村 聡

論 文 の 要 旨

チタン合金は近年、航空機部材、医療デバイスなどへの応用が急速に拡大しており、合金開発、材料特性制御に関する研究が国際的にも非常に活発になっている。特に Ti-6Al-4V 合金などに代表される準安定 β 型チタン合金は熱処理により、 α 相の形態などの組織制御が可能であるため、多くの新合金の開発が行われている。本研究で着目した Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr 合金(以下 Ti5553)は航空機のランディング・ギア部材に応用された合金であり、良好な焼き入れ性と優れた疲労強度を示し、応用が拡大している。しかしこの合金の加工プロセスによる組織制御に関する研究はあまりなく、特に室温での強加工による組織制御に関する研究は殆ど例が無い。そこで本研究では超強加工法の一つである高圧ねじり加工(High-Pressure Torsion, 以下 HPT)により、 β 単相状態の Ti5553 に巨大歪みを付与し、その後の熱処理により極微細な α 相を析出させる事による組織極微細化とそれによる力学特性の変化について系統的な研究を行った。

まず室温にて HPT 加工した Ti5553 合金についてその微細組織と力学特性を明らかにした。その結果、HPT 加工により試料内には高密度の剪断帯が形成され、特に 10 回転加工後の試料では厚み方向の中心部には剪断帯の集中による組織の極微細化により腐食耐性の高い層状の領域が形成されている事が明らかになった。この領域内部は他の領域と比べて 2 割程度高いビッカース硬度を示した。また引張り強度は 1300MPa を越える事が明らかになった。

次に 10 回転 HPT 加工後の試料について種々の温度、時間で等温時効処理を施し、 α 相の析出形態とそれにより力学特性の変化について調べた。その結果、HPT 加工を施さない試料では α 相の形態は薄レンズ状であるのに対し、HPT 加工材では等軸で非常に微細な α 相が析出する事が明らかになった。等軸 α 相の大きさは同じ条件で時効した無加工材のレンズ状 α の厚みとほぼ同程度である事から、加工材では高密度の転位が α 相の核生成サイトとなり、非常に高密度の微細な α 相が析出するため、その長軸

方向への成長が抑制されるために等軸化する推測される。また、EBSD 法を用いた結晶方位解析により、等軸の極微細の α 相であっても、 β 相との間にはバーガースの方位関係が存在することが明らかになった。また、室温における引張り試験の結果、4 時間時効と比較すると、550°C 時効の試料では引張り強度が 1400 MPa に達するが全伸びは 2.5% 程度であり、時効温度が上昇すると共に引張り強度は低下し、伸びが増加する事が明らかになった。さらにビッカース硬度から換算した降伏応力と α 相間隔の間にはホール・ペッチの関係が成立する事が確認され、 α / β 相界面が材料の強度を支配している事が推測される。

次に 10 回転 HPT 加工を施した試料について異なる温度での 2 段階時効を加えた場合の微細組織と力学特性の変化について調べた。第 1 段の時効を 800°C、1 時間に固定し、その後 550°C ~ 700°C の種々の温度で第 2 段の時効を加えた。その結果、第 1 弾の時効で比較的粗大な α 相が析出し、その後の第 2 段の時効により微細な α 相が高密度に析出する事が明らかになった。特に HPT 加工材において 2 段階時効温度が 600°C ~ 650°C の場合の組織は等軸または盤状の微細な α 相がネットワークを形成し、その中に β 相が含まれている様な組織を形成した。この様な組織の場合、強度が 1100MPa で伸びが 13.5% と優れた強度延性バランスが得られる事が明らかになった。この原因として、硬い α 相が比較的軟質の β 相を囲む様なコア-シェル状の組織となっていることが考えられる。

審 査 の 要 旨

〔批評〕

航空機部材への応用が拡大している Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr 合金について、高圧ねじり加工による高密度格子欠陥導入による α 相の析出挙動の変化を調べた研究は他に例が無い。特に通常は薄レンズ状になる α 相の形態が加工により等軸化する事、形態が変化しても β 相との間の方位関係が維持されるという知見は今後の本合金の組織制御の研究にとって有用である。また、2 段階時効という熱処理を提案し、硬質な α 相と軟質な β 相のコア-シェル構造が強度-延性バランスの向上に有効である事を見いだしたのは学術的にも工業的にも重要であり、チタン合金のみならず、他の合金系にも適用可能であり、今後の組織制御の新しい方向性につながる可能性がある。

〔最終試験結果〕

平成 27 年 8 月 27 日、数理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。