

平成 21 年 4 月 20 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007-2008

課題番号：19560694

研究課題名（和文） 優れた塑性伸びを示す安価な超高強度チタン基準安定合金
の開発と特性研究課題名（英文） Development and investigation of ultra-high strength inexpensive
Ti-based metastable alloys with good ductility

研究代表者

Louzguine Dmitri

東北大学・原子分子材料科学高等研究機構・教授

研究者番号：60302212

研究成果の概要：

アーク溶解法で作製できる高強度・高延性 Ti-Fe 基合金を開発した。Ti₆₆Fe₂₂Cu₁₂ 合金は圧縮下で 2GPa 超の高強度と 5%以上の高延性を有し、この合金に Nd、Sn を添加すると、延性がさらに増大した。本合金は一般的な Ti 合金や Ti₃Al 金属間化合物よりも高強度で、Ti 基金属ガラスに匹敵する強度を有しつつ、延性も有している。また、Ti₉₄Fe₃Cu₃ 合金では 1050 MPa の最大引張強度と 3%の引張延性が得られた。本研究で開発された一連の Ti-Fe 基合金は構造材料への応用が期待される。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2008 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学

キーワード：チタン, 電子顕微鏡, 微細構造, 延性, 強度, X線回折, 透過電子顕微鏡,
走査電子顕微鏡

1. 研究開始当初の背景

アーク溶解法のみで作製できる高強度・高延性の Ti 基合金インゴット試料 (Ti-Fe-LTM

(LTM: 後周期遷移金属(late transition metal)), Ti-Fe-TM-Sn と Ti-Fe-TM-Sn-B 合金) を開発した。その中、Ti-Fe-Cu-Sn, Ti-Fe-Cu-B と Ti-Fe-Cu-Sn-Nd 共晶合金は 1600~1800 MPa

の高降伏強度、5~9%の大圧縮塑性変形を示す。また、Cuは他のLTM(Co, Mn, Ni)より相対的に安価のため、商用構造材料への応用が期待できる。そのような安価のTi基合金は従来のTi基合金より強度が高く、付加処理の必要がない。従って、上記の高性能Ti基合金を十分な調査や組成の最適化すれば、新型の構造材料への応用が期待されている。しかしながら、今まで、このような材料の変形プロセスの理解や大圧縮塑性発見メカニズムの解明や適当な理論解明に関する報告は全くない。この変形メカニズムの解明は新しい高強度・大塑性Ti基合金の開発に重要である。

2. 研究の目的

アーク融解だけ(鋳造等処理がなし)でTi基合金インゴット試料(Ti-Fe-B, Ti-Fe-Co-B, Ti-Fe-Cu, Ti-Fe-Cu-Nd, Ti-Fe-Cu-Sn, Ti-Fe-Cu-Nd-Sn)を作製する。作製した試料のX回折(XRD)解析、走査型電子顕微鏡(SEM)及び透過型電子顕微鏡(TEM)による微細構造の解析と機械的性質の検討から、これまで得られたことのない高強度・大延性を示すTi基合金試料を創製することを目指している。また、この合金試料の変形プロセス及び大延性の発現メカニズムも解明する。

3. 研究の方法

1600~1800 MPaの高降伏強度、5~9%の大圧縮塑性変形を示すTi-Fe-Cu-Sn, Ti-Fe-Cu-BとTi-Fe-Cu-Sn-Nd共晶合金を詳しく検討する。このような合金の微細構造について規則な立方cP2 Ti(Fe,Cu)金属間化合物相及び不規則なcI2 β -Ti固溶体を含んでいる。この合金の高強度の原因は過飽和な β -Ti固溶体中にFeとCuの量は高いので、格子パラメーターへ大きく変化させ、また、高硬度な樹枝状cP2 Ti(Fe,Co)金属間化合物が生成させる。このメカニズムの解明は新しい高強度・大塑性Ti基合金の開

発に重要である。

詳しくは下記のような研究を遂行する：

- Ti-Fe-Cu-Sn, Ti-Fe-Cu-B 及び Ti-Fe-Cu-Sn-Nd 合金の構造、機械的性質などを検討する。合金試料の構造の解析は X 線回折法と走査電子顕微鏡法を用いて行う。試料の相組成は X 線回折法による解析、結晶相の微細構造と形態は走査電子顕微鏡法による解析を行う。将来の実際応用の視点から、最適な構造と機械的性質を求める。
- 変形試料の変形挙動、微細構造及び転位構造などを詳しく検討する。試料の破断面組織は走査電子顕微鏡法による解析、微細構造は透過電子顕微鏡法による解析を行う。
- 得られた結果を総括的に解析する。

4. 研究成果

鋳造等の処理要さず、アーク溶解法のみで作製できる高強度・高延性のTi基合金インゴット試料(Ti-Fe-B, Ti-Fe-Co-B, Ti-Fe-Cu, Ti-Fe-Cu-Nd, Ti-Fe-Cu-Sn, Ti-Fe-Cu-Nd-Sn)を開発した。XRD, SEM, TEM などを用いてインゴットの構造を検討した。過共晶合金の構造は初晶の立方 cP2 金属間化合物(TiFe 相或はその固溶相)と、この cP2 相+BCC cI2 β -Ti 過飽和固溶相の分散共晶相で構成される。少量の B 添加で初晶 cP2 TiFe 相の形状が変化し、微量 TiB 粒子が検出された。Cu 含む合金の構造は規則 cP2 Ti(Fe,Cu)相と不規則な BCC cI2 β -Ti 固溶相で構成される。Ti₆₆Fe₂₂Cu₁₂合金の降伏強度、最大圧縮強度、塑性変形はそれぞれ 1840±80 MPa, 2110±210 MPa, 5.5±2.2 % である。Nd もしくは Sn の添加によって Ti-Fe-Cu 合金の延性が改善された。少量の B (0.5 at.%) 添加で Ti-Fe 合金の機械強度は 2470 MPa へ増大した。Ti-Fe-Cu 合金は、以前の Ti-Fe と Ti-Fe-Co 合金とは異なり、強い加工硬化現象が観察されなかった。2000 MPa 近い強度は一般的な Ti 基合金及び Ti₃Al, TiAl 金属間化合物より高強度である。本合金の延性は Ti 基バルク金属ガラスに比べて大幅に増大

した。Ti₉₄Fe₃Cu₃合金は1050 MPaの最大引張強度と3%の引張延性が得られた。SnとNdの添加による、延性が増加するが、機械的強度が減少することが分かった。TEMでTi(Fe,Cu)とβ-Ti間界面が良い接合になった。cI2 β-TiとcP2 Ti(Fe,Cu)相の結晶構造がほぼ同じ、格子定数の差も僅かに4.6%であるため、二相間に整合界面が形成し、整合応力が平衡条件よりも低下していると考えられる。Ti₇₂Fe₁₄Cu₁₄合金の断裂は垂直及び剪断応力方向に起こる。高倍率条件で観察すると、破断面にはディンプル模様を有する延性破断領域と不規則的に破断したと思われる領域が見られた。機械的試験した後クラック伝播面位置の検討した結果により、Ti_{64.7}Fe_{34.8}B_{0.5}合金は過共晶Ti₆₅Fe₃₅合金と同様で、圧縮断裂面の垂直ベクトルと荷重方向間の角度は約90度になっていた。破断は最大垂直応力の面に沿って生じていた。

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5件)

1. L. V. Louzguina-Luzgina, D. V. Louzguine-Luzgin, A. Inoue, Effect of B addition to hypereutectic Ti-based alloys, 査読あり, Journal of Alloys and Compounds, 474, 2009, 131-133.
2. D. V. Louzguine-Luzgin, L. V. Louzguina-Luzgina, T. Saito, G. Xie, A. Inoue, Structure and properties of high strength and ductile Ti-Fe-Cu-Nd-Sn alloys, Materials Science and Engineering:A, 査読あり, 497, 2008, 126-131.
3. D. V. Louzguine-Luzgin, L. V. Louzguina-Luzgina, V. I. Polkin and A. Inoue, Deformation-induced transformations in Ti₆₀Fe₂₀Co₂₀ alloy, Scripta Materialia, 査読あり, 57, 2007, 445-448.
4. D. V. Louzguine-Luzgin, L. V. Louzguina-Luzgina, H. Kato and A. Inoue, Structure and deformation behavior of high strength

hypereutectic Ti-based alloys, Proceedings of the 11th World Conference on Titanium, 査読あり, 2007, 733-736.

5. D. V. Louzguine-Luzgin, L. V. Louzguina-Luzgina, H. Kato, A. Inoue, Investigation of high strength metastable hypereutectic ternary Ti-Fe-Co and quaternary Ti-Fe-Co-(V, Sn) alloys, Journal of Alloys and Compounds, 査読あり, 434-435, 2007, 32-35.

[学会発表] (計3件)

1. D. V. Louzguine, Investigation of Structure and Properties of High Strength and Ductile Ti-Fe-Cu, Ti-Fe-Cu-Nd, Ti-Fe-Cu-Sn and Ti-Fe-Cu-Nd-Sn Alloys, JIM Spring Annual Meeting 2009年春期(第144回), 2009.03.28-30, 東京.

2. D. V. Louzguine, Formation, Structure and Deformation Behavior of High Strength Ti-Based Alloys with Fe, TMS 2009 Conference, 2009.02.15-19, San Francisco, California, USA.

3. D. V. Louzguine, Structure and deformation behavior of high strength hypereutectic Ti-based alloys, 11th World Conference on Titanium, 2007.06.03-07, 京都.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

なし

○取得状況 (計0件)

なし

[その他]

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

Louzguine Dmitri

東北大学・原子分子材料科学高等研究機構・
教授

研究者番号：60302212

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし