

研究種目：基盤研究 (S)

研究期間：2007～2011

課題番号：19106012

研究課題名 (和文) 新機能 Co 基合金—その相安定性と工業材料への展開—

研究課題名 (英文) New Functional Co-base Alloys
- Phase Stability and Its Industrial Applications -

研究代表者

石田 清仁 (ISHIDA KIYOHITO)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20151368

研究代表者の専門分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・構造・機能材料

キーワード：新機能材料、状態図、データベース、耐熱合金、磁気記録材料、生体材料

1. 研究計画の概要

Co 基合金の状態図について実験ならびに熱力学的解析を行い Co 基熱力学・状態図データベースを世界に先駆けて構築する事を第一の目標とする。本研究グループが初めて見出した $L1_2$ 構造の金属間化合物 $Co_3(Al, W)$ を分散させた Co 基合金について、組織設計のための基礎データを採取するとともに高温特性を調査し、高温強度に優れた超耐熱合金を開発するための基礎研究を行う。また、Co-Cr、Co-Mo、Co-W 各系をベースに 2 相分離挙動と磁気特性について調査するとともに更に記録密度の高い Co 基薄膜の作成に挑戦する。一方、Co 基合金の表面に微細な凹凸を有するポーラス合金を作成し、薬剤を塗布した血管拡張用ドラッグステントを開発するための組織制御とその作成法について研究する。

2. 研究の進捗状況

(1) Co-W、Co-Mo の各 2 元系、Co-W-X (X: Cr, Fe, Ni, Ti, Ge, Ta, Nb) 各 3 元系、Co-Mo-X (X: Al, Ti, Fe, Ni, W) 各 3 元系、Co-Al-X (Cr, Ni, Ta) を EPMA や DSC 等を用いて実験的に決定した。さらに Co-W-Ge、Co-W-Ta、Co-W-Nb、Co-Mo-Al、Co-Al-Ta において準安定 γ' 相 ($L1_2$ 構造) を発見した。このことは Co 基でも γ' 相の相安定性が比較的高いことを示しており、従来、 Co_3Ti を除いて γ' 相が存在しないと考えられてきた Co 基合金における相安定性において重要な知見である。

(2) Co-Al-W 3 元系における基礎特性として、状態図情報に基づいて設計した γ' 体積

分率を変化させた合金で高温強度特性や γ' 相の固溶度線、格子定数と格子整合性を明らかにした。Co-Al-W 合金は強度の逆温度依存性を示し、特により高温域で Ni 基超合金を超える高い高温強度が得られた。また、粒界強化のために C、B、Hf、Zr のマイクロアロイング効果を調査し、適量の B、C の添加が劇的に粒界強度を向上させ、脆性破壊を延性破壊へと遷移させることに成功した。

(3) Co-W 合金薄膜について、磁気異方性に及ぼす RuCr バッファ層の影響について調査した。RuCr バッファ層の格子定数は Cr の増加に伴い減少し、それに伴い CoW の格子定数比 c/a は低下することが分かった。結晶磁気異方性定数 K_u は Cr の濃度増加に伴い増大し、 K_u は CoW の膜厚の増加に伴い低下する傾向が見られた。

(4) Co-Al 系合金で得られる γ/β 層状組織を利用した生体用ポーラス材料の研究として、組成や熱処理条件、Cr、Ni 等の添加元素がマイクロ組織に及ぼす影響について明らかにした。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

(理由)

(1) Co 基状態図データベースの構築

Co-Ni-Cr-Mo-Al-W-Ta-Fe 系データベース構築のために Co-Al-X と Co-W-X を中心に実験を行うとともに、これらの実験状態図を基に CALPHAD 法による熱力学解析を行い、Co-Ni-Al-W-Cr 系が計算可能とな

った。

(2) Co 基スーパーアロイの研究

基礎データを基に、鍛造合金、鋳造合金としての合金設計を行った。鍛造合金では、800°Cで現在広く用いられているNi 基超合金(Waspaloy や Udimet520)よりもクリープ強度に優れる合金が得られている。また、鋳造合金を摩擦攪拌接合(FSW)ツールに適用し、鉄鋼材料やチタンの接合が良好に行えることを確認した。

(3) Co 基磁気記録媒体の研究

磁気異方性は格子定数比 c/a と強い相関があり、 c/a の低下に伴い hcp-Co の磁気異方性定数 K_u は 10^6 J/m^3 のオーダーまで増大し Co-Pt および Co-Pd 薄膜についても同様な傾向を示すことがわかった。

(4) Co 基生体用ポーラス材料の研究

Co-Al 2 元系合金において第 2 相である β 相の不連続析出に関する速度論的知見が得られ、層状組織を得るための最適な組成、熱処理条件がわかった。

4. 今後の研究の推進方策

Co 基合金の熱力学データベースは現状に更に Ta, Mo, C を加えた Co-Ni-Al-Cr-W-Ta-Mo-C 系の構築を目指す。Co 基耐熱合金の鍛造材については、100kg 程度の試作を行いその熱間加工性を調査するとともに製造技術を確認する。鋳造材については攪拌摩擦接合(FSW)のツールとして極めて良好である事が確認されたので、今後、接合可能な合金や異種材料接合の可能性について調査する。

5. 代表的な研究成果

(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 22 件) ※全て査読有

1. K. Ishida, "Intermetallic Compounds in Co-Base Alloys-Phase Stability and Application to Superalloys", Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 1128, (2009) U06-06.
2. K. Shinagawa, T. Omori, K. Oikawa, R. Kainuma and K. Ishida, "Ductility enhancement by boron addition in Co-Al-W high-temperature alloys", Scripta Mater. 61, (2009) 612-615.
3. J-J. Wang, T. Sakurai, K. Oikawa, K. Ishida, N. Kikuchi, S. Okamoto, H. Sato, T. Shimatsu and O. Kitakami, "Magnetic anisotropy of epitaxially grown Co and its alloy thin films", J. Phys: Condens. Matter 21, (2009) 185008-13.
4. K. Ishida, "Recent Progress on Co-Base Alloys-Phase Diagrams and Application", Archive of Metallurgy and Materials Vol. 53, (2008) 1075-1088.
5. K. Shinagawa, T. Omori, J. Sato, K. Oikawa, I. Ohnuma, R. Kainuma and K. Ishida, "Phase Equilibria and Microstructure on γ' Phase in Co-Ni-Al-W System", Mater. Trans. Vol. 49, (2008) 1474-1479.

[学会発表] (発表件数 35 件)

1. K. Ishida, "L1₂ Compound in Co-base Alloys", Thermec 2009, 2009/8/26, Berlin, Germany.
2. K. Ishida, "Co-base High Temperature Alloys", Materials2009, 2009/4/6, Lisbon, Portugal.
3. K. Ishida, "Intermetallic Compounds in Co-base Alloys-Phase Stability and Application to Superalloys-", MRS, 2008/12/1, Boston, USA.

[産業財産権] (計 1 件)

○出願状況

名称: 「高耐熱性 Co 基合金」

発明者: 大崎元嗣、植田茂紀、清水哲也、石田清仁、大森俊洋、長濱大輔、林 祐弘、輪嶋善彦

権利者: 大同特殊鋼(株)、本田技研工業(株)、国立大学法人東北大学

種類: 特許権

番号: 特願 2008-72104

出願年月日: 2008 年 3 月 19 日

国内外の別: 国内

[その他]

○新聞関連情報

平成 22 年 3 月 31 日

・日経産業新聞

「硬い金属 溶かさず接合

日立・東北大が器具 摩擦熱で柔らかく」

平成 22 年 3 月 29 日

・日刊工業新聞

「融点高い金属を接合

東北大と日立 F S W ツール開発」

○ホームページ等

<http://www.material.tohoku.ac.jp/jp/labs/metal03.html>