

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19360306

研究課題名 (和文)

酸化物分散強化複合材料の創製

研究課題名 (英文)

Creation of oxide dispersion strengthen composite materials

研究代表者

鵜飼 重治 (UKAI SHIGEHARU)

北海道大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：00421529

研究代表者の専門分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・複合材料・物性

キーワード：分散強化、酸化物粒子、複合材料、ODS、組織形成、高強度、高延性

### 1. 研究計画の概要

(1) 本研究は、これまで個別に研究されてきた酸化物分散強化 (ODS: Oxide Dispersion Strengthened) と複合材料強化を融合して、画期的な高強度・高延性・高靱性を発現する先進 ODS 複合材料を創製することを目的とする。

(2) そのため、強加工で誘起される  $Y_2O_3$  粒子の強制固溶と焼鈍過程で起こる  $Y_2O_3$  粒子のナノサイズ析出、及び複合組織の形成を実験と解析により明らかにし、残留  $\alpha$  相とマルテンサイト相から成る先進 ODS 複合材料の組織制御法を開発する。

### 2. 研究の進捗状況

(1) 遊星型ボールミルを用いて、元素単体粉末 (Fe, C, Cr, Ti など) と  $Y_2O_3$  粉末からなる広範囲の成分系でメカニカルアロイング実験を行い、 $Y_2O_3$  粒子の分解と焼鈍に伴うナノ酸化物粒子の析出過程を明らかにし、ナノ酸化物粒子の微細分散制御法を確立した。

(2) 残留  $\alpha$  相とマルテンサイト相から成る複合材料を作製した。このような複合組織が形成される機構を解明するため、ThermoCalc コードを用いて  $\alpha/\gamma$  逆変態の駆動力を解析した。解析結果に大きく影響する母相中炭化濃度は、炭化物の溶解速度を実験的に求めることにより評価した。一方、酸化物粒子による  $\alpha/\gamma$  界面のピン止め力を西澤モデルに基づき解析した。このようにして求めた  $\alpha/\gamma$  逆変態の駆動力と酸化物粒子によるピン止め力の大小関係から、複合組織形成を説明できることを明らかにした。

(3) X 線回折と電子顕微鏡により、残留  $\alpha$  相で酸化物粒子がナノサイズにまで超微細化していることを確認した。これにより、残留  $\alpha$  相は硬く高温強度を分担し、マルテンサイト相が延性・靱性を確保するという複合材料の基本的特性を明らかにした。

(4) このようにして作製した ODS 複合材料の機械的特性をさらに飛躍的に向上させる加工熱処理法として、 $1,000^\circ\text{C}$ での熱間圧延の導入を考案した。この方法で作製した ODS 複合材料は従来の引張強さと破断伸びを遥かに凌駕する優れた高温強度と延性を示すことを明らかにした。その発現機構を解明するため、FE-SEM/EBSD による構造解析を行い、熱間圧延で導入された粗大化したフェライト相の形成が優れた高温強度と延性の原因であることを示した。すなわち、残留  $\alpha$  相と粗大結晶粒のフェライト相から成る複相組織が強度・延性の飛躍的向上をもたらすことを見出し、このような新たな製造プロセスを採用することにより、優れた高温強度・延性を有する酸化物分散強化複合材料を実現できることを示した。

### 3. 現在までの達成度

① 当所の計画以上に進展している。

(理由)

本研究の過程で、当所想定していた以上の優れた高温強度と延性を有する酸化物分散強化複合材料を創製可能な見通しが得られたため。

3. 今後の研究の推進方策

(1) 新たに開発した熱間圧延法について、最適な条件を見極め、この方法で作製した ODS 複合材料の引張試験とクリーブ試験を行い、優れた高温強度と延性を総合的に評価する。

(2) 微細構造解析結果とシミュレーション解析の結果を総合して、画期的な高強度・高延性・高靱性を有する ODS 複合材料の最適な組織制御法と製造プロセスをとりまとめる。

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 7 件)

① M. Yamamoto, S. Ukai, S. Hayashi, T. Kaito and S. Ohtsuka, Formation of Residual Ferrite in 9Cr-ODS Ferritic Steels, to be published, in press Materials Science and Engineering A、査読有

② S. Ukai, M. Yamamoto, N. Chikata, S. Hayashi, T. Kaito, S. Ohtsuka, T. Azuma and S. Ohsaki, Ultra High-Strength of AUSFOMed 9CrODS Ferritic Steels, in press, J. Nucl. Mater.

③ S. Ohtsuka, T. Kaito, M. Inoue, H. Sakasegawa, S. Ukai, T. Narita, Aluminum Alloying Effect on High-Temperature Strength of the 9Cr-ODS Steel, J. Nucl. Mater., 386-388 (2009) 479-482、査読有

④ N. Chikata, S. Hayashi, S. Ukai, S. Ohnuki, S. Ohtsuka and T. Kaito, Formation of Ultrafine Grains in 9Cr-ODS Ferritic Steel, Heat Treatment and Surface Engineering, p. 557-560 (2009)、査読有

⑤ S. Ukai, S. Ohtsuka, T. Kaito, H. Sakasegawa, N. Chikata and S. Hayashi, High-Temperature Strength Characterization of Advanced 9Cr-ODS Ferritic Steels, Materials Science and Engineering A, 510-511 (2009) 115-120、査読有

[学会発表] (計 7 件)

① 山本雅博、林重成、鵜飼重治、皆藤威二、大塚智史、大崎智、東司、9Cr-ODS フェライト鋼における高温引張強度と組織の関係、日本金属学会、2009年9月16日、京都大学

② 山本雅博、林重成、鵜飼重治、皆藤威二、大塚智史、9Cr-ODS フェライト鋼における  $\alpha/\gamma$  逆変態挙動、日本金属学会、2009年3月29日、東京工業大学

③ 近田伸芳、林重成、鵜飼重治、皆藤威二、大塚智史、9Cr-ODS フェライト鋼における超微細粒形成と高温強度の関係、日本金属学会、2009年3月29日、東京工業大学

④ 山本雅博、林重成、鵜飼重治、皆藤威二、大塚智史、9Cr-ODS フェライト鋼における残留  $\alpha$  相の生成機構、日本金属学会、2008年9月23日、熊本大学

⑤ 近田伸芳、林重成、鵜飼重治、皆藤威二、大塚智史、ODS フェライト鋼における超微細粒生成と強度の関係、日本金属学会、2008年3月23日、熊本大学

[図書] (計 1 件)

① 竹山雅夫、阿部富士雄、丸山俊夫、五十嵐正晃、鵜飼重治：CO<sub>2</sub>削減に向けた耐熱鋼高温化の最近の進展、日本鉄鋼協会、2008年 [産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)  
なし