

戦略的創造研究推進事業(ALCA)
技術領域(プロジェクト名)
「低 CO2 排出型次世代火力発電用新規耐熱材料
の開発」

課題名「窒素を有効利用した次世代超耐熱フェライ
ト鋼の創製」

終了報告書

研究開発期間 平成23年10月～平成31年3月

研究開発代表者:中島英治
(九州大学大学院総合理工学研究院、
教授)

○報告書要約（和文）

研究開発代表研究者：九州大学 教授 中島 英治

研究開発課題名：窒素を有効利用した次世代超耐熱フェライト鋼の創製

1.研究開発の目的

現在、日本国内の石炭火力発電プラントの蒸気温度は最高で 620℃であり、この場合の発電効率は約 42%である。一方、蒸気温度を 700℃に上昇させると発電効率は 46%に向上する。また、世界の発電効率に目を向けると、特に石炭火力への依存性の高いアメリカ、インド、中国で 36%程度であり、それらを 700℃級次世代プラントへ変換することによる CO₂ 排出量低減効果は年間約 10 億トンにも達する。700℃級次世代プラント自体は既往のプラントの発展型として実現の見込みが立てられるものであるが、克服すべき課題は高温化に対応しうる耐熱材料の開発である。本研究課題では、次世代高効率発電プラントへの実装を目指して、耐熱性・耐酸化性に優れる高窒素含有フェライト系耐熱鋼を開発することを目的とした。

2.研究開発の概要

(1)内容:

下記の項目を達成目標として高窒素含有新規フェライト系耐熱鋼の研究・開発を実施した。

1. 10 万時間-100MPa 耐久温度 650℃以上、酸化速度 0.1mm/y 耐久温度 700℃以上を達成する見込みを得ること。
2. 溶接方法を検証し、高窒素含有開発鋼を溶接する上での課題を抽出すること。
3. 高窒素含有開発鋼の強度予測技術の方法論が確立すること。
4. 開発鋼特有の微細組織がクリープ強度にもたらす影響を明らかにすること。

(2)成果:

九州大、名古屋大、大阪大、日本製鉄のグループを中心に開発した高窒素鋼において、高温強度については目標である 10 万時間-100MPa 耐久温度 650℃以上を達成する見込みを得た。鹿児島大と NIMS における最長 25,000h のクリープ試験の結果、窒素鋼では、既存鋼の長時間強度予測において問題となる「破断強度の腰折れ現象」が生じないことが確認され、これを受けて東北大での強度予測モデルを検討した結果、短時間データの外挿により高精度での強度予測が可能であることがわかった。また、九州工業大を中心としたグループで耐酸化性に関する研究が行われ、酸化速度 0.1mm/y 耐久温度 750℃以上を上回る特性が得られた。ここでは、0.2%以上の窒素添加は耐酸化性の向上に極めて有効であるが、この効果は母相組織にマルテンサイトが含まれるときに特に大きいことが明らかになった。IHI において溶接に関する実証検討を行い、溶接金属にニッケル合金を用いることで 0.3%窒素含有鋼の TIG 溶接が可能であることが確認された。九州大を中心に組織評価が行われ、母相組織についてはフェライト比率が高いほど高強度になるが、耐酸化性と靱性の観点から、大きな強度低下を生じない範囲で一定量のマルテンサイトを残存させる必要があることを明らかになった。また、窒素以外の合金元素について、Cr, V は添加量が少ないほど高強度になる傾向があること、Co の添加は強度向上に極めて有効であることもわかった。

(3)今後の展開:

2018 年度に開発した FN23 鋼について 2019 年度にクリープ試験を実施した結果、上記目標を上回る 10 万時間-100MPa 耐久温度 700℃を達成する見込みが得られている。これまでの研究から、使用温度におけるフェライト系耐熱鋼の磁気特性がクリープ強度に関係していることが見出されたため、この鋼種は Co 添加によって高温での磁気特性の向上が図られたものである。今後は、窒素に加えて、Co の効果も考慮した成分設計の最適化が期待される。

○Report summary (English)

Principal investigator: Kyushu University professor Hideharu Nakashima

R & D title: Development of next generation heat-resistant ferritic steel using nitrogen

1. Purpose of R & D

The steam temperature of coal-fired power plants in Japan is up to 620°C. The power generation efficiency in this case is about 42%. Raising the steam temperature to 700°C increases the power generation efficiency to 46%. In the United States, India, and China, which rely heavily on coal-fired power, the power generation efficiency is about 36%. Converting them to a 700°C-class next-generation plant has the effect of reducing CO₂ emissions by about 1 billion tons per year. The 700°C next-generation plant is expected to be realized as a development of the conventional plant. Therefore, the problem to be overcome is the development of a heat-resistant material applicable to high temperatures. The purpose of this research project was to develop a high-nitrogen-containing ferritic heat-resistant steel with excellent heat resistance and oxidation resistance with the aim of applying it to next-generation high-efficiency power plants.

2. Outline of R & D

(1) Contents:

We conducted research and development of a new ferritic heat-resistant steel containing high nitrogen with the following goals as targets.

1. 100,000 hours -100 MPa endurance temperature 650°C or more, oxidation rate 0.1mm/y endurance temperature 700°C or more should be achieved.
2. To verify welding methods and identify issues in welding developed steels with high nitrogen content.
3. Establish a methodology for predicting the strength of developed nitrogen-containing steel.
4. To clarify the effect of the microstructure peculiar to the developed steel on creep strength.

(2) Achievements:

The high-nitrogen steel developed mainly by the Kyushu University, Nagoya University, Osaka University, and Nippon Steel Group is expected to achieve the target of 100,000 hours at -100MPa durability temperature of 650°C or more. Results of creep tests at Kagoshima University and NIMS for a maximum length of 25,000 hours indicate that nitrogen steel does not cause the "breaking strength of fracture strength", which is a problem in predicting long-term strength of conventional steel. The Tohoku University group examined the creep strength prediction model and found that it was possible to predict the strength with high accuracy by extrapolating the short-term data. Research on oxidation resistance was carried out at Kyushu Institute of Technology, and characteristics exceeding the target value (oxidation rate 0.1 mm / y, endurance temperature 750°C or higher) were obtained. They found that adding 0.2mass% or more of nitrogen was extremely effective in improving oxidation resistance, but this effect was particularly large when the matrix structure contained a martensite structure. A study on welding was conducted at the IHI Company, and it was confirmed that TIG welding of 0.3% nitrogen-containing steel was possible by using a nickel alloy as the weld metal. Microstructure evaluation revealed that the higher the ferrite ratio in the matrix, the higher the creep strength. However, it is necessary to contain a certain amount of martensite from the viewpoint of oxidation resistance and toughness. In addition, it was found that the creep strength tended to increase as the Cr and V contents decreased, and that the addition of Co was extremely effective in improving the creep strength.

(3) Future developments:

The FN23 steel developed in FY2018 is expected to achieve a 100,000 hour -100MPa endurance temperature of 700°C. Since it was found that the magnetic properties of the heat-resistant ferritic steel at the operating temperature were related to the creep strength, this steel was intended to improve the magnetic properties at high temperatures by adding Co. In the future, optimization of chemical composition design considering the effect of Co is expected.