

戦略的創造研究推進事業(ALCA)
技術領域(プロジェクト名)「革新技術領域」
課題名「次世代ガスタービン高温部品への適用を
目指した革新的耐熱超合金粉末に関する研究」

終了報告書

研究開発期間 平成28年11月～平成31年3月

研究開発代表者：泉 岳志
(三菱日立パワーシステムズ株式会社、
ターボマシナリー本部AM技術推進室
主席技師)

○報告書要約（和文）

研究開発代表研究者：三菱日立パワーシステムズ株式会社 主席技師 泉 岳志
研究開発課題名：次世代ガスタービン高温部品への適用を目指した革新的耐熱超合金粉末に関する研究

1.研究開発の目的

今後、再生可能エネルギーの導入促進により負荷追従性に優れたガスタービンの需要が増加することから、その高効率化が低炭素化社会の実現に重要となる。そこで AM 造形を適用したガスタービン高温部品による高効率化が試みられている。しかし、既存合金を用いた AM 造形材は現行の精密鑄造材と同等の特性を得られず、実用化が困難な状況である。

本研究では、AM 造形技術により製造される先進冷却構造タービン高温部品への適用が可能な、革新的耐熱超合金に関する研究を行い、精密鑄造材以上の強度を有する AM 造形材の開発を可能とし、将来のガスタービン高効率化に寄与する。

2.研究開発の概要

(1)内容:

AM 造形では粉末に含まれる酸素、窒素等のコンタミの影響による造形材のクリープ強度の低下が問題であり、本研究では、コンタミ耐性に優れた革新的耐熱超合金に関する研究を行う。具体的には、Ni 基超合金の析出強化相である γ' 相に不可欠な Al および Ti が酸化、窒化しやすいことから、 γ' 相を安定化する新規元素を探索する。新たな合金系では、合金設計に必要な相平衡に関する情報が無いことから、MHPS が小型アトマイザーと小型 AM 造形装置用いた粉末の試作および評価を行い、試作結果を基に東北大学で第一原理計算等の相平衡解析を実施し、それらを組合せ合金設計を行う。加えて母相のコンタミ許容量を高める合金系の探索、高いクリープ強度が得られる組織制御についても検討する。

(2)成果:

粉末試作・評価と第一原理計算等の相平衡解析を組み合わせることで、MHPS では既存 Ni 基超合金の Al を候補元素で置換した Al フリー材の粉末試作、造形に成功した。一方、コンタミが AM 材に与える影響を検討するため、東北大学では AM 材中における酸化物の観察手法に注力した。その結果、既存 Ni 基超合金の AM 造形物中では鋭角的な Al リッチ酸化物と丸みを帯びた Ni リッチな酸化物が観察され、Al リッチ酸化物が AM 材特有の粒成長挙動や機械的特性の劣化に影響を与えている可能性が示唆された。これらの結果 Al リッチな酸化物量を減少させるという合金設計の指針の妥当性が確認できた。

また、コンタミである酸素・窒素固容量が大きい合金系として、NiAl 系合金に着目し、MHPS で AM 材の特性を評価した。その結果、NiAl 系合金では Al 量を 13wt%程度含有するにも関わらず、高いクリープ延性が得られ、合金設計の指針が得られた。ただし、本検討で用いた AM 材はクリープ強度が低く試験時間も短いことから、組織制御および成分改良による高強度化と長時間試験による検証が必要となった。

以上から、目標とする AM 材用の革新的耐熱超合金粉末開発に繋がる基礎設計にあたり、有害な酸化物を形成する元素（Al など）の添加量の最小化や無害化、酸素固容量の大きい合金系の利用、強度と延性を両立させる組織制御が重要であることが見出された。

(3)今後の展開:

今後は得られた成果から、Al フリー材等についてガスタービン高温部品の適用に必要な強度特性等を継続して検討していく。

○Report summary (English)

Principal investigator: Mitsubishi Hitachi Power Systems, Ltd. Engineering Manager,
Takeshi Izumi

R & D title: Research on Innovative Heat-Resistant Superalloy Powder for Application
to High-temperature Components of Next-Generation Gas Turbines

1. Purpose of R & D

Demand for gas turbines with excellent load following performance will increase due to the promotion of the introduction of renewable energy. Therefore, it will be important to improve the efficiency of gas turbines in order to realize a low-carbon society. In order to improve the efficiency of gas turbine, application of Additive Manufacturing (AM) parts for high temperature parts are being tried. However, the AM material using the existing alloy does not have the same characteristics as the current precision casting material, and the practical application is difficult.

In this research, an innovative heat-resistant superalloy that can be applied to high-temperature components manufactured by AM was studied. This will enable the development of AM materials with strength higher than that of precision casting materials and will contribute to future gas turbine efficiency improvements.

2. Outline of R & D

(1) Contents:

Due to the influence of contamination such as oxygen and nitrogen contained in the powder, AM parts often shows insufficient creep strength. In this research, innovative heat-resistant superalloy with excellent contamination resistance was studied. Specifically, since Al and Ti, which are indispensable to the γ' phase that is a precipitation hardening phase of Ni-base superalloy, are easily oxidized and nitrided, new elements that stabilize the γ' phase are searched. In the new alloy system, since there is no information on the phase equilibrium necessary for the alloy design, MHPS prototyped and evaluated the powder using a small atomizer and a small AM molding device, and based on the results of the trial manufacture, phase equilibrium analysis such as the first principle calculation is carried out at Tohoku University. In addition, the search for an alloy system to increase the permissible amount of contamination in the matrix and the structure control to obtain high creep strength are also discussed.

(2) Achievements:

By combining the trial manufacture and evaluation of the powder with phase equilibrium analysis such as the first principle calculation, MHPS succeeded in the trial manufacture of the Al free material in which Al was replaced by the candidate element. On the other hand, in order to examine the effect of contamination on AM materials, Tohoku University focused on the observation method of oxides in AM materials. As a result, sharp Al-rich oxides and rounded Ni-rich oxides were observed in AM structures of existing Ni-base superalloys, suggesting that Al-rich oxides may affect grain growth behavior and mechanical properties of AM materials. These results confirm the validity of the guideline of alloy design to reduce Al-rich oxide content.

In addition, an alloy system with a large oxygen and nitrogen solubility limits, which is a contamination, NiAl-based alloy was focused, and the characteristics of AM materials were evaluated by MHPS. As a result, high creep ductility was obtained in NiAl system alloy despite containing about 13 wt% of Al.

From the above, it was found that minimization and detoxification of harmful oxide-forming elements (Al, etc.), utilization of an alloy system with a large amount of oxygen solubility, and structural control to achieve both strength and ductility were important in the basic design leading to the development of an innovative heat-resistant superalloy powder for the target AM material.

(3) Future developments:

Based on the results obtained, we will continue to study the mechanical properties required for the application of high temperature gas turbine components to Al-free materials.