

補助事業番号 2017M-096
補助事業名 平成29年度 耐熱性Nbシリサイド基コーティングの開発に関する
調査研究補助事業
補助事業者名 東北大学・准教授・関戸 信彰

1 研究の概要

次世代耐熱材料の候補の一つであるNbシリサイド基合金に付与するコーティング材の開発を目指した。NbSi₂にCrを添加した合金の相平衡と耐酸化性を調査し、新規コーティング材としての適応可能性を検討した。

2 研究の目的と背景

地球温暖化は、化石燃料の大量消費により大気中の二酸化炭素(CO₂)濃度が増大することで発生すると考えられている。日本におけるCO₂総排出量の約40%が発電分野由来であるので、発電システムの高効率化は持続可能な社会を構築に不可欠である。比較的豊富な資源である石炭は、現在においても重要なエネルギー源であるが、単位熱量当たりの発生CO₂量が多いことが問題である。そこで、石炭を燃料とする発電システムを高効率化して、CO₂排出量を最小限に留めながら電力エネルギーを安定供給すること求められている。

近年、石炭をガス化してタービンを回し、その廃熱で蒸気タービンを動かすことで、画期的高効率化を図る石炭ガス化複合発電に期待が集まっている。ガスタービンなどの熱機関は、タービン入口温度が高温になるほど効率が向上する。すなわち、ガスの燃焼温度を高温にするほど効率が高まることを意味するが、それを実現するためにはエンジン部材がその高温に耐えうる素材でなければならない。現在タービン部の主要な部品にはNi基超合金が使われている。もしNi基超合金を凌ぐ耐熱性を有する新規の耐熱材料が開発され、それに代替することができれば、タービンエンジンの燃焼温度を上げることが可能となり、ひいてはエンジン効率の改善、CO₂排出量低減が可能となる。

次世代耐熱材料の候補の一つにNbシリサイド基合金が挙げられる。Nbシリサイド基合金は、延性なNb相とNbシリサイド相からなる多相組織を有しており、高温強度と室温靱性に優れるものの、高温では材料が酸素と反応(酸化)して脆化しやすいことが問題であった。そこで本事業では、Nbシリサイド基合金を被覆して酸素を遮断する新たなコーティング材を開発することを目指した。

3 研究内容

耐熱性Nbシリサイド基コーティングの開発に関する調査研究

(<http://www.material.tohoku.ac.jp/~uhtm/sekido.html>)

本研究で用いた実験試料は、高純度溶解原料を溶解した鋳塊を粉碎したのち、SPSで焼結

することで作製した。試料を熱処理した後、SEM 観察、XRD 測定、EPMA 測定を行い合金組織と相平衡を調査した。また、熱処理後の試料を一辺 2 mm の立方体に切り出し、900℃から1200℃での酸化挙動を調査した。

まず、合金の相平衡について調査した。 NbSi_2 と CrSi_2 はともに C40 型の結晶構造を有するが二相分離傾向にあり、連続固溶体を形成しないことを見出した。それを元に本事業では NbSi_2 - CrSi_2 擬二元系状態図を決定した。

続いて合金の耐酸化性を評価した。図 1 に NbSi_2 の酸化挙動におよぼす Cr 添加の影響を示す。 NbSi_2 単体では耐酸化性（酸化反応に対する抵抗）が不十分であり、合金が酸素と反応して粉体化しているものの、Cr を含む合金は、酸化がほとんど進行しないことを見いだした。また、Cr 添加量が多すぎると Cr の揮発により耐酸化性が低減する。Cr 添加量が 8 % 程度（図中の $\text{Nb}_{0.75}\text{Cr}_{0.25}\text{Si}_2$ ）で最も重量変化が小さく、耐酸化性に優れることを見いだした。酸化後の試料断面を観察した結果、この優れた耐酸化性は、 Cr_2O_3 、 CrSiO_4 などの酸化物が表面に形成し、酸素が内部に侵入することを阻害することに起因することが分かった。

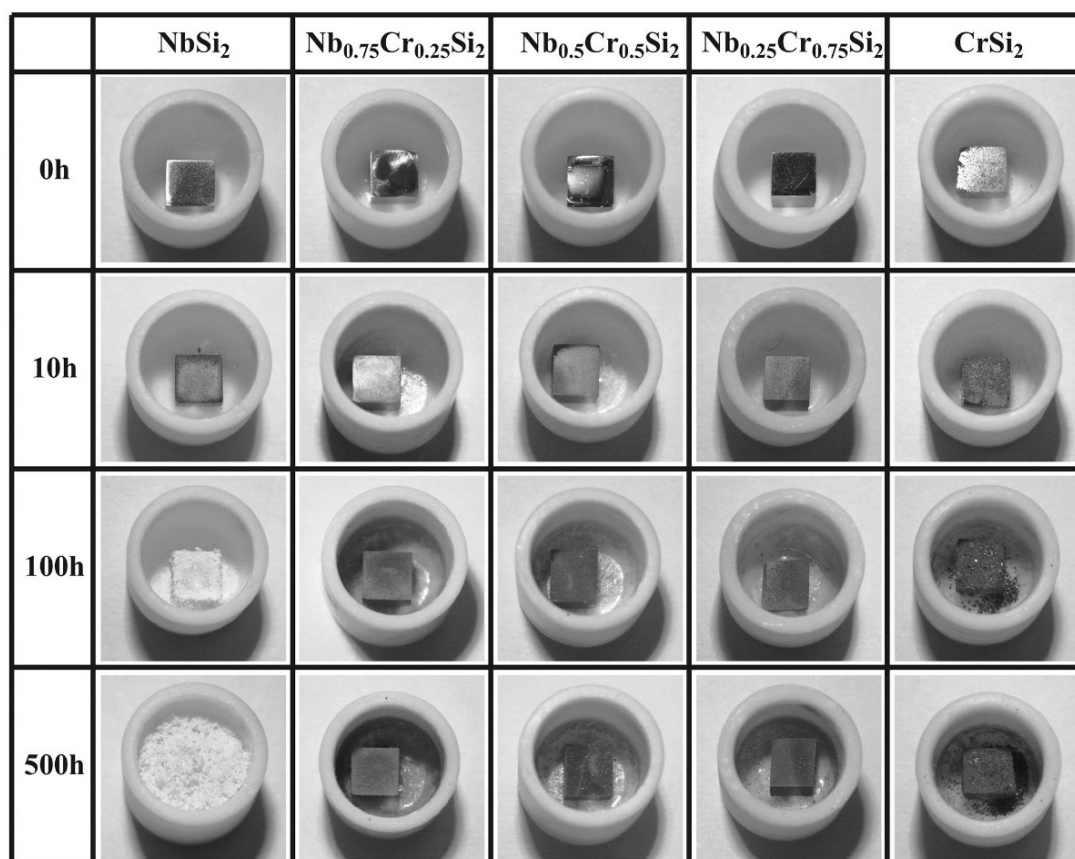


図 1 : 1000℃大気中の酸化試験後のサンプル。

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

本事業で開発した合金が航空機用のジェットエンジンやガスタービンなどに実用されれば、それらの効率が向上し、CO₂ 排出量の削減や省資源化につながると期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

コーティング層と基材が長時間高温に晒されると、両者の元素が固相拡散してコーティング層が変質する。コーティング層と基材が熱力学的に平衡していれば、長時間の高温暴露でも組織変化を最小限にできる。本事業では、熱力学的平衡状態の重要知見の一つである NbSi₂-CrSi₂ 擬二元系状態図を決定したことが成果の一つである。また、一般的に Cr 酸化物は高温で揮発するため 1000℃を超える温度域では耐酸化性が低下するが多いが、本研究では 1200℃においても十分な耐酸化性が確保され、その理由は Cr₂O₃ の他に CrSiO₄ など複数の酸化物が表面に形成するためであることを見いだした。この成果は Nb や Cr を多量に含有する試料の高温構造材料への利用に重要な知見である。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

該当無し

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

該当無し

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

該当無し

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 東北大学大学院工学研究科知能デバイス材料学専攻 (トウホクダイガクダイガクイン コウガクケンキュウカ チノウデバイスザイリョウガクセンコウ)

住 所： 〒980-8579

仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-02

担 当 者： 准教授 関戸 信彰 (セキドノブアキ)

E-mail : nobuaki.sekido.b7@tohoku.ac.jp

U R L : <http://www.material.tohoku.ac.jp/~uhtm/sekido/funds.html>