

高強度・加工性に優れた超耐熱合金の開発

SATテクノロジー・ショーケース2025

■ はじめに

近年、地球温暖化対策から、輸送機器や発電機の高効率化や低燃費化が求められている。特に、航空機やプラント発電機などに使用されるガスタービン構造部材の高温化が重要である。しかしながら、既存の合金では耐熱温度が頭打ちのため、新しい材料の適用が期待されている。その候補材料として、新しい概念に基づいたハイレントロピー合金(HEA: High Entropy alloys)に関する研究が金属材料科学分野で盛んに行われている。HEAとは5種類以上の金属元素の組み合わせからなり、特定の溶媒を持たない多成分系合金である。多くの金属元素が混ざり合うことで生まれるカクテル効果により特異な性質が現れることが報告されている。例えば、一般的な合金では温度を低下させた場合には脆化するが、HEAでは強度・延性が向上した報告がある。また、1200℃以上の高温域では一般的な金属では強度が大きく低下するのに対して、HEAではセラミックスのように強度を保持することが出来る。しかしながら、これまで報告されているHEAは高強度で延性を兼ね備えた合金は開発されておらず、実用化に向けて大きな課題となっている。

本研究では、強度に優れるZr-Nb-Hf系について延性が期待される金属元素を添加した6元系HEAの組織形成、微小試験片を用いた力学特性評価を行い、新しい合金を開発することを目指している。

■ ハイレントロピー合金について

ハイレントロピー合金(HEA)は5種類以上の金属元素をそれぞれ高濃度で混合させて合金化した固溶体金属として定義されている。HEAは混合エントロピー ΔS_{mix} を基準に次の式(1)で定義される。

$$\Delta S_{mix} = -R \sum_{i=1}^n x_i \ln x_i \quad \dots (1)$$

ΔS_{mix} : 混合エントロピー R: 気体定数 x_i : 成分iのモル分率
式(1)において ΔS_{mix} が1.5Rを超えるものをHEAとしている。

現在、ハイレントロピー合金はNb-Mo-Ta-W系、Ti-Zr-Nb-Hf系などの主に体心立方構造(BCC)からなるもの、Cr-Fe-Co-Ni系などの主に面心立方構造(FCC)からなるものの2系統に分類される。前者は1300℃を超える温度域でも高強度を保持するが延性に劣るために加工に難がある。後者は延性に優れる一方高温強度に劣る。強度と加工性のバランスの取れた合金の開発が課題である。

■ 研究内容

本研究では各金属元素を秤量し、アーク溶解炉にてインゴットに加工したのちマイクロサイズの引張試験片を作成した。また、組織観察としてSEM, EBSD, EDSそしてXRDを用いた解析を行った。

微小引張試験では、収束イオンビームシステム(FIB)を用いて図1に示す試験片平行部長さ30ミクロン、幅10ミクロンの引張試験片形状に作成し、産総研にて開発した微小引張試験機を用いて引張試験を行った。図2には微小引張試験によって得られた降伏応力と伸びを图中にプロットした。また図中にはこれまで報告されているHEAsについてデータをまとめた結果も示す。これらの結果から、本研究にて開発したHEAは高強度で延性を兼ね備えた合金であることがわかる。

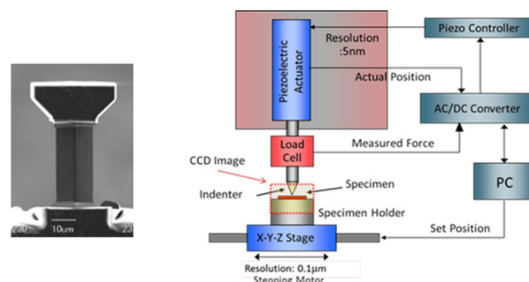


図1 作製した微小引張試験片と微小引張試験機

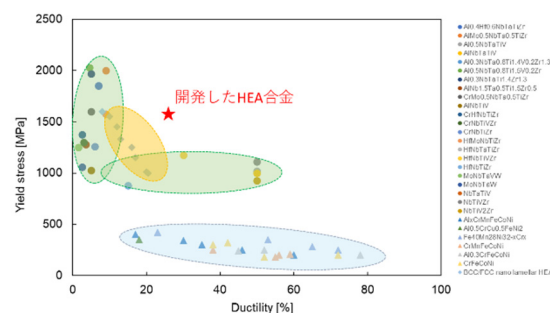


図2 開発したHEA合金と先行研究の比較⁽¹⁾

■ 参考文献

- (1) Senkov, O.N., Gorsse, S., and Miracle, D.B., *Acta Materialia*, Vol. 175 (2019), pp. 394-405.

代表発表者 原田 祥久¹(はらだ よしひさ)
西村 元太^{1,2}(にしむら げんた)
所 属 1: 国立研究開発法人産業技術総合研究所
製造技術研究部門
2: 筑波大学大学院システム情報工学研究群
構造エネルギー工学学位プログラム
問合せ先 〒305-8564 茨城県つくば市並木 1-2-1
TEL: 050-5322-6321
harada.y@aist.go.jp

■ キーワード: (1) 微小引張試験
(2) ハイレントロピー合金
■ 共同研究者: 廣瀬伸吾、松崎邦男、
石井かおる、夏井裕史
産業技術総合研究所