

1. 評価対象研究課題

- (1) 研究課題名：超高強度ヘテロナノ組織金属の特異な変形挙動のメカニズム解明
- (2) 研究代表者：豊橋技術科学大学 三浦 博己
- (3) 研究期間：令和3年度～令和7年度（予定）

2. 中間評価の実施概要

日時：令和5年10月12日

場所：TKP 秋葉原カンファレンスセンター

評価委員：未来工学研究所 理事長、上席研究員／東京大学 名誉教授

平澤 洽（委員長）

横浜国立大学 名誉教授

上野 誠也

東京工業大学 教授

佐藤 千明

宇宙航空研究開発機構 航空技術部門 特任担当役

嶋 英志

大阪大学 大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻 教授

中野 貴由

公共投資ジャーナル社 論説主幹

吉葉 正行

（委員長以外は五十音順・敬称略）

3. 研究の進捗状況

研究の概要

金属材料の力学特性の飛躍的向上を目的として、金属の全く新しい組織形態であるヘテロナノ組織の機械的性質の発現機構を明らかにするとともに、その支配因子を解明し、得られた知見を基に、ヘテロナノ組織化による超高強度金属材料の実用化を見据えた最適加工プロセスや材料設計の指針について検討する。

進捗状況

計画した項目（ヘテロナノ組織材の製造・大型化、静的・動的機械的性質の調査、シミュレーションによる実験結果の検証と予測等）は、全て順調に進んでいる。試料の大型化に関する研究では、実用に耐えうるサイズまでの大型化にも目処をつけているほか、シミュレーション結果を援用しながら計画には無かった「温間・高温変形試験」や「衝撃試験」へと研究の範囲を大きく広げて、ヘテロナノ金属の変形メカニズムの解明に挑んでいる。これらは、ひずみ速度上昇に伴う試験片の温度上昇による変形機構の変化を捉えるためのものである。幾つかの研究では新たな研究を付加

的に開始する必要が生じ、対応中。

主な実施項目に対する進捗は以下の通り。

(1) ヘテロナノ組織材の作製 (担当：豊橋技術科学大学)

大型材の作製に取り組み、純 Ti 大型材の MDF 加工と強圧延を行い、大型板材を作製することができた。同様に、SUS316LN 鋼についても、ヘテロナノ組織 SUS316LN ステンレス鋼大型材を作製した。

(2) ヘテロナノ組織発達過程の調査 (担当：豊橋技術科学大学)

種々の条件で作製したヘテロナノ純 Ti 大型板材と製造プロセスの異なるヘテロナノ SUS316LN 鋼大型板材の微視組織発達過程の調査を開始した。

(3) ヘテロナノ組織の静的力学特性の調査 (担当：豊橋技術科学大学)

作製したヘテロナノ純 Ti とヘテロナノ SUS316LN 鋼の大型材を用いることで、従来の小型試料では困難だった様々なひずみ速度での室温・温間での静的引張試験が可能となり、一部試験を開始した。

(4) 放射光を用いた破壊機構の解明 (担当：豊橋技術科学大学)

中間評価以降に実施予定。

(5) 最適プロセス条件の探索 (担当：豊橋技術科学大学)

小型サイズのヘテロナノ純 Ti について、MDF 条件 (パス間ひずみ、累積ひずみ、MDF の初期ひずみ速度、温度) を様々に変えて、結晶粒微細化、特性向上、生産性等に最適な加工条件を検討した。この実験結果を踏まえて、中型材と大型材の作製が可能となった。

(6) 各種力学条件 (温度・ひずみ速度) 下での力学特性の調査 (担当：金沢大学)

清浄ヘテロナノ組織 SUS316L 鋼、純 Ti とともに、低温において極めて優れた強度-延性バランスを示すことを明らかにした。室温と比較すると、両試料ともに強度と延性が同時に増加した。機械的特性のひずみ速度依存性を表す m 値については、室温と大きな相違は認められなかった。従って、ヘテロナノ組織 SUS316L 鋼および純 Ti は低温脆性を示すこと無く、低温下においても十分な延性を保持でき、良好な衝撃吸収エネルギーを有することが期待される。

(7) 変形中の動的挙動の調査 (担当：金沢大学)

中間評価以降に実施予定。

(8) 微視組織と力学特性関連性の調査 (担当：金沢大学)

清浄ヘテロナノ SUS316L 鋼、純 Ti の微視組織観察を行い、両試料中の組織学因子 (結晶粒径、格子欠陥密度、構成組織の体積分率等) を定量化した。さらに、低温下での変形前後の微視組織観察により、変形中の組織の動的変化挙動を捉えることが出来た。小型ヘテロナノ組織 SUS316L については「変形誘起マルテンサイト変態」が生じ、小型ヘテロナノ組織純 Ti については「変形双晶」の形成が生じることを明らかにした。さらに、このような動的挙動が機械的特性に強く影響することも見出した。

(9) 粒界を起点とした塑性現象の解析 (担当：金沢大学)

実験で観察されたヘテロナノ純Tiの集合組織に基づいた粒界をモデル化し、様々な方向に対する変形解析を分子動力学計算により実施し、粒界を起点として起動する変形モードが粒界構造と負荷方向に強く影響を受けることを確認した。また、実験で確認されていない底面すべりの起動が確認され、これが起動可能な変形モードの1つであることを確認した。

(10) 変形双晶形成と空間束縛の解析 (担当：金沢大学)

変形双晶の形成、成長の粒径依存性を解明するためにこれらを表現可能な原子モデルの構築に取り組み、その有効性を確認した。16個の正形状の結晶粒から構成される多結晶体モデルを用いて、変形双晶厚さの粒径依存性や変形双晶の形成や伝播に対する粒界方位差依存性が表現可能なことを明らかにした。

(11) 変形双晶と格子欠陥の相互作用の検討 (担当：金沢大学)

中間評価以降に実施予定。

(12) ヘテロナノ組織に基づく超高強度金属材料の設計・製造の指導原理の確立 (担当：豊橋技術科学大学)

中間評価以降に実施予定。

4. 中間評価の評点

A 進捗は順調であり、研究計画に沿って進めてよい。

5. 総合コメント

当初の計画以上に多くの発見がされており、新たな研究領域の端緒を拓く可能性のある、十分な成果が得られている。

この研究課題における主目的を明確化し、研究計画をロードマップ化して整理し、今後の研究を進めていただきたい。

学術的な進展のみならず応用への発展性を考慮し、得られた知見の体系化に取り組んでいただきたい。

6. 主な個別コメント

- 独自の材料に対して新たな知見を得ており、当初の目的はほぼ達成している。
- 目標以上の成果と、想定外の現象が見出されており、今後の成果が期待できる。
- 様々な興味深い現象を見出していることから、従来の転位論を超えた新機構を見出していきたい。
- 最終目標を先んじて実現されている点は評価できる。色々な新しい発見もあり発展性も豊かであると思うが、研究が展開したまま終わらないように、進展を踏まえた新たな指針を持って進めてほしい。
- 超高強度ヘテロナノ組織金属の学術と応用の両面から、特別解を求めるのではなく一般解を求めるような研究開発を進めていただきたい。
- 積層欠陥エネルギーを一つの評価軸にして、体系化を進めていただきたい。
- 目標設定をより具体化して、メカニズム解明と実用に向けたステップを定めて

研究を進めていただきたい。

- 当初予定されていなかった成果と新たな研究課題が表面化しているが、うまくマネジメントしていただきたい。