

産学共創基礎基盤研究プログラム 平成 30 年度中間評価結果

1. 研究課題名：ナノクラスタリング・ナノ析出の学理に基づく鉄鋼材料の表面硬度分布制御と摩擦摩耗特性向上の指導原理確立

2. 研究代表者：宮本 吾郎（東北大学 金属材料研究所 准教授）

3. 研究概要

窒素 (N) -置換型添加元素 (s) 間の相互作用を実験・理論両面から解明し、ナノクラスタリング・ナノ析出の学理を構築するとともに、フェライト低合金鋼の窒化におけるナノクラスタリング制御に応用することで高い表面硬度と厚い硬化層を同時に付与し、優れた摩擦摩耗特性を実現する方法を提案・実証することを目標にしている。理論グループ (N-s の多体相互作用を取り入れた熱力学モデル構築)、基礎実験グループ (N-s 相互作用の実験的測定)、応用実験グループ (窒化处理への応用) が有機的に連携し、成果をあげている。

4. 中間評価結果

4-1. 研究の進捗状況及び研究成果の現状

異種元素を添加した三元合金の窒化处理、硬度分布測定から、二元系では析出強化の生じない Fe-Al 系に V を微量添加することで著しい表面硬さの増大と硬化厚さとの両立を見出し、ナノ析出組織との関係を明らかにするなど、計画を前倒しで達成している。V や Ti による AlN の析出誘起現象は学術的に重要であるとともに、産業界から多くの要望が寄せられたことを受け、その強化機構の解明を新規テーマとして加えてすでに開始している。

また、N-s 相互作用に関する実験と第一原理計算による評価は順調に進んでおり、多体相互作用を陽に取り込んだ精緻な熱力学モデルを構築するとともに、ナノクラスター形成に二相分離の関与が示唆されるなど、学術的に興味深い基礎的知見を見出している。種々の置換型元素に対する系統的な実験から得られた二体間相互作用のエネルギー値が、多体間相互作用を考慮した第一原理計算により説明できている。Al と Si については、実験（斥力型）と理論解析（引力型）に乖離があるが、今後予定されているひずみ効果やクラスターサイズ依存性が明確になることで、解決するものと期待される。また、AlN の析出を誘起する Ti や V の影響を評価するため、30 年度から共同研究グループとして上杉グループを新たに加え、多体相互作用理論計算の研究体制強化を図っている。

研究代表者は実験と理論の密接な連携を実現し、新規グループの参加による研究体制の強化を図るとともに、産学共創の場、サイトビジットでのコメントや要望を積極的に取り込み、研究計画に反映するなど、柔軟で効果的な研究運営で成果をあげている。

4-2. 今後の研究に向けて

N-s の多体相互作用に基づくナノクラスタリング・ナノ析出の学理創出と鉄鋼材料の表面窒化処理による摩擦摩耗特性向上の指導原理確立へ向けて、既述のように多くの新知見を見出し、計画を上回る進捗である。

とくに、V や Ti による AlN の析出誘起現象は学術的に重要であるとともに、産業界から多くの要望が寄せられたことを受け、その強化機構の解明を新規テーマとして加えた点は高く評価できる。今後は、Fe-s1-s2 三元系合金の窒化挙動と摩擦・摩耗特性を含めた力学特性の基礎研究に注力していただきたい。

理論と実験の各グループの結果の整合性を検証し、各グループの相乗効果を図ることにより、ナノクラスター形成と多体間相互作用の関係及びナノクラスターと力学特性との相関や強化機構の解明を目指していただきたい。

本研究で目指す格子間型-置換型添加元素間相互作用に基づく微細構造制御の応用先として、粒界破壊抑制のみならず、粒界や異相界面への溶質偏析を利用した再結晶制御や変態制御への展開も大いに期待される。

なお、貴重な成果が数多く得られているので、予定されている鉄と鋼特集号をはじめ積極的な論文発表、特許出願にも期待したい。

4-3. 総合評価及び研究継続の可否

総合評価 S、研究継続 可

窒化表面処理に関して、N-s の相互作用に基づくこれまでにない深い理解と学理を得つつある優れた研究である。置換型合金元素の複合添加鋼の表面窒化による著しい硬化挙動の発見、ナノクラスターやナノ析出物の関与に関する知見、多体間相互作用を取り入れた熱力学解析に基づくナノクラスター形成に対する二相分離関与の示唆など、学術的にも、工業的にも興味深い基礎的知見を見出しており、当初の期待を上回る成果が得られつつある。

実験と理論の密接な連携、新規グループの参加による研究体制強化、産学共創の場、サイトビジットでのコメントや要望の研究計画への積極的な反映など、研究代表者のリーダーシップによる柔軟で効果的な研究運営で成果をあげている点も高く評価できる。また、企業との共同研究に発展している点も特筆される。

研究を継続することにより、ナノクラスターと力学特性との相関や強化機構の解明を図り、表面窒化処理に関する学理と工業的な実学に対する真の指導原理の提案を期待する。

以上