

「発展的研究計画スタート支援」(2022 年度分) 報告書

○ 氏名、所属ユニット : 能登 裕之、超高流速協奏材料ユニット
研究テーマ : 変態超塑性を応用した革新的成形法の創生

1. 研究の目的・意義

低放射化フェライト鋼は、核融合炉環境に耐えうる優れた耐熱性と耐放射線特性を兼ね備えたブランケット用先進材料である。しかしその一方で、その高い機械的特性が起因し、そのブランケット化に向けた段階において「難加工性」が懸念されている。本課題では、この問題を解決するため、これまでの加工法とは一線を画する「変態超塑性」を利用した革新的な加工技術を提案した。この提案は核融合工学分野だけではなく、様々な材料工学分野への波及を期待しており、新しい材料加工学を切り開く可能性を秘めているといえる。また本研究は、「①引張(先行研究:2022年度以前)」→「②圧縮試験(本課題前半:2023年度)」→「③複合変形試験(本課題後半:2024年度)」によって進行することを目的としており、本課題は、②③応用段階といえる。

2. これまでの研究成果および進捗状況、今後の研究の展望

変態超塑性を理解し、複合変形という応用段階に至るためには、実際に用いる RAFM 鋼 (JLF-1 鋼) の変態超塑性前後の組織観察が重要である。そのため本テーマをより学術的に深めるため、変態超塑性前後のナノ組織(特に母相中に存在する強化粒子)を透過型電子顕微鏡にて観察した。その結果、変形前(JLF-1 製造後の母材)においては、過去の先行研究通り、M23C6 粒子(113nm 程度)とそれよりも小さいサイズの Mx 粒子(29nm 程度)がラス境界に認められた。その一方で、変形後(熱サイクルと一定荷重を負荷し変態超塑性を示した変形領域)においては、M23C6 炭化物はほとんど見られず、若干の粗大化した Mx 粒子(42nm 程度)が観察された。またその一方でサイクル処理を行わない等温保持試験でも同様に、M23C6 を伴わない Mx のみの組織が得られた。この結果より、M23C6 消失はサイクル熱処理および変態超塑性発現に影響しないことが示された。その原因として、変形試験中が大気環境に暴露され続けたこと影響していると考察した。大気中においては、表面の酸化が進み、JLF-1 鋼内部の炭素で結合し、最終的に脱炭の効果につながったため M23C6 が焼失したと考えられる。一方で MX に関しては、そのような脱炭のみならず TSP 変形の影響も受けないことが明らかになった。つまりこれらの結果は、将来的な TSP 成形をする上で、変形中の酸化影響を抑制する必要があることを示唆した。また上記の成果は、昨年度参加した第 21 回核融合炉材料国際会議(ICFRM-21)および第 29 回国際原子力機構主催の核融合エネルギー会議 2023' I A E A - F E C 2 0 2 3 "にて質疑応答の中よりいただいたコメントをもとに解析した考察であり、非常に大きい発表成果であったと考えている。また、その成果は、上記学会プロシーディングスまたは、関連ジャーナルへ投稿を予定している。

3. 支援を受けた金額及び主な用途

3-1 支援を受けた金額は 600 万円であり、当初すべて金属技研株式会社による高温圧縮試験用耐熱治具を検討していたが、技術的に困難であることが判明し、使用用途 2 方面に分けた。

3-2 主な用途

A) 富士電波工業株式会社 (300 万) : 変態超塑性モードが圧縮変形に及ぼす影響を調査するための役務費用とした。(全 24 回試験) 2023 年 8 月 31 日までに終了。

B) 金属技研株式会社 (300 万) : 変態超塑性を産業的な応用に発展させるため、等方加圧による複合変形試験のための役務費用とした。(全 7 回試験) 2024 年 2 月 29 日までに終了。

4. 客観的成果

4. 1 共著を含む投稿論文、著書

(著者名、論文名、出版社、accepted date)

・ IAEA-FEC2023 プロシーディングス論文 Nuclear Fusion へ投稿予定

4. 2 国際・国内学会等での発表

(発表者、タイトル、会議名、招待講演・口頭・ポスターの区分)

・ 21st International Conference on Fusion Reactor Material (ICFRM-21), 22-27 October 2023, "Large deformation processing of Reduced Activation Ferritic/Martensitic steels using transformation super plasticity" poster

・ 29th IAEA Fusion Energy Conference – 2023 (FEC 2023), 16-21 October 2023, "Application of transformation super plasticity for reduced activation ferritic / martensitic steel" poster

・ 本鉄鋼協会北海道支部ノースフォーラム主催令和 5 年度 第 2 回 北の耐熱合金セミナー (招待講演) 2023.12.14(木)

・ The 15th China-Japan Symposium on Materials for Advanced Energy Systems and Fission and Fusion Engineering (September 4-6, 2024)

4. 3 科研費や他の外部資金への応募・獲得結果 (直接経費の配分額) 及び今年度の応募予定 (科研費は年度、種目、不採択の場合は評価値)

・ 民間共同研究 (金属技研株式会社) : 低放射化フェライト鋼におけるサイクル熱処理が変形応力に及び変形率に与える影響に関する研究 (~令和 6 年 3 月の予定であったが、令和 6 年 8 月~に変更予定)

・ 科学研究費基盤研究(B)「相変態を応用した結晶構造改変型新強化法の創生」不採択 (評価値 : ①研究課題の学術的重要性 2.67, ②研究方法の妥当性 2.5, ③研究遂行能力及び研究環境の適切性 3.0)

・ 科学研究費挑戦的研究 (萌芽)「相変態超塑性圧縮を応用した高純度 SiC の創生」不採択 (評価値 : 現在準備中)

以上