

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：63902

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K03585

研究課題名(和文)フェライト鋼における変態超塑性を応用したSPF技術研究

研究課題名(英文)Study of SPF technique applied transformation super plasticity on ferritic steel

研究代表者

能登 裕之(Noto, Hiroyuki)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教

研究者番号：50733739

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：低放射化フェライト(RAFM)鋼は、一般的な鉄鋼材料と比較し、伸びや高降伏強度という観点で難加工性が指摘されている。本研究では、その解決策として変態超塑性を応用した革新的なRAFM鋼の加工法を提案した。特に、本課題では変態超塑性における熱サイクルが等方加圧による複合変形に与える影響について調査し、その結果より“熱サイクル速度”の重要性が示唆された。加えて、変態超塑性前後における強化粒子の分解挙動も調査された。これらの成果は、将来的に相変態材料を対象とした金属加工学および分散・析出強化という観点での金属組織学の発展に寄与できると期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、超塑性成形を専門とする企業と連携し研究を行うことにより、かなり簡易な手法によりSPF技術と熱サイクルを組み合わせた試験(複合変形のための内圧試験体の作成と試験方法)が可能であることが示された。このような成果により、本課題終了後に更なる発展が期待され、産学連携といった社会的意義を持つと考えている。また、変態超塑性後の組織を観察することにより、強化粒子の変化も観察された。このような結果は材料学的にも大きな意義を持つと考えている。

研究成果の概要(英文)：Reduced activation ferritic-martensitic (RAFMs) steels have a critical issue of poor workability (low elongation and high yield strength). As an innovative means of processing RAFMs, we have focused on “Transformation Super plasticity (SP)” in this study. In this theme, the effect of thermal cyclic heat treatments on the complex deformation by isostatic press was researched, implying the importance of “rate of thermal cycles”. In addition, the microstructural observations in view of “the strengthening particles” was also before and after Transformation Super plasticity. These results would contribute to the advanced metallurgical technology in target of transformation materials and the advanced metallography in mean of precipitation strengthening in the future.

研究分野：金属加工学

キーワード：変態超塑性 低放射化フェライト鋼

1. 研究開始当初の背景

低放射化フェライト鋼は、優れた耐熱性と耐放射線特性を持つ核融合炉ブランケット用先進材料であるが、その機械的特性により、非常に硬く、「難加工性」が懸念されている。本課題では、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。(図1)この革新的提案は核融合工学分野だけではなく、様々な先進材料の加工に苦心する工学分野への波及を狙ったものである。

2. 研究の目的

次世代エネルギー源として期待される核融合炉は、これまでにない過酷な環境が想定されており、それに耐える先進材料が研究されてきた。その一つが「低放射化フェライト鋼」である。この材料は非常に耐熱性に富み、高い耐放射線性能を有する一方で、その特性が起因し、高温下でも高い降伏強度を示すことが知られており、いわゆる、「難加工性」が懸念されている。本申請では、「変態超塑性」を応用したこれまでの加工法とはまったく異なったアプローチによる革新的な加工技術を提案した。この革新的提案は核融合工学分野だけではなく、様々な先進材料の加工に苦心する工学分野への波及を狙ったものである。本申請研究では、この革新的成形技術が基礎から応用へ初めて踏み込むために必要な「等方加圧による複合変形」に着目した。

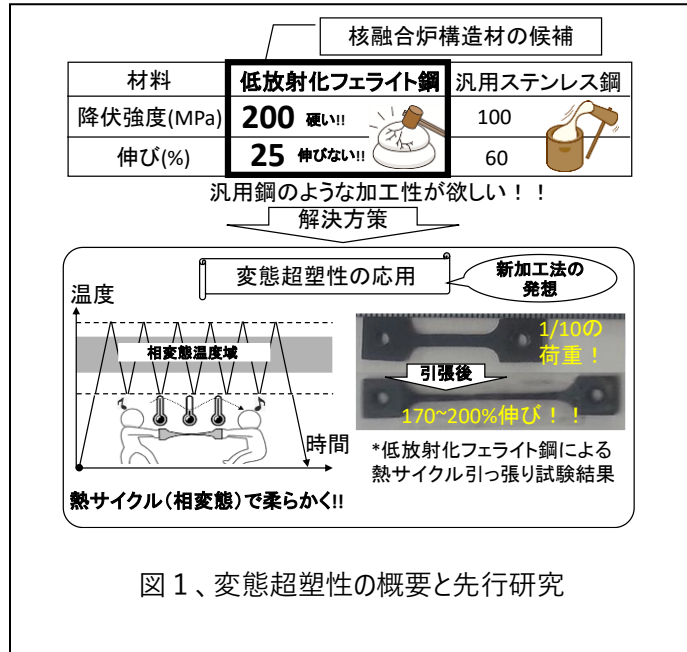


図1、変態超塑性の概要と先行研究

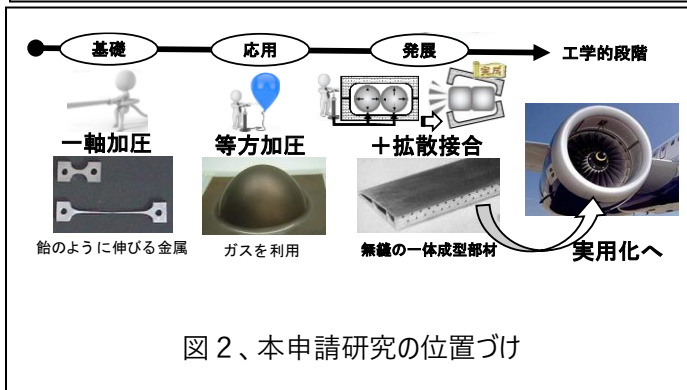


図2、本申請研究の位置づけ

3. 研究の方法

本研究において着目すべきは、一般的な「微細粒超塑性」とは異なる「変態超塑性」を実践的に加工するという点である。微細粒超塑性は一般的に航空宇宙分野ですでに適用されている一方で、変態超塑性の加工事例は少ない。そこで一連の研究では、引張試験→等方加圧複合変形(圧縮変形含む)→接合という過程でステップアップすることを想定しており、図2中では、応用段階であると考えている。本研究では、このガス圧を利用した、等方加圧複合変形をより簡易的に行うため、図3に示すような、変態超塑性を示す材料で構築された円筒管を作成し、熱サイクル温度で規定値の圧力になるよう初期充填圧力を調整した

4. 研究成果

①-(1) 内圧試験体による熱サイクル試験: 図3に示すように相変態を示す温度帯(S45C鋼の場合には、830/630度)を横断する試験を繰り返した。その結果、サイクル熱処理を真空熱処理炉を用いて11回行った内圧試験体は、同じ時間830度停滞させた内圧試験体と比較し、若干、変形の優位性を示した。これは、サイクル熱処理は等方加圧による複合変形を促進した結果につながった可能性を示唆している。

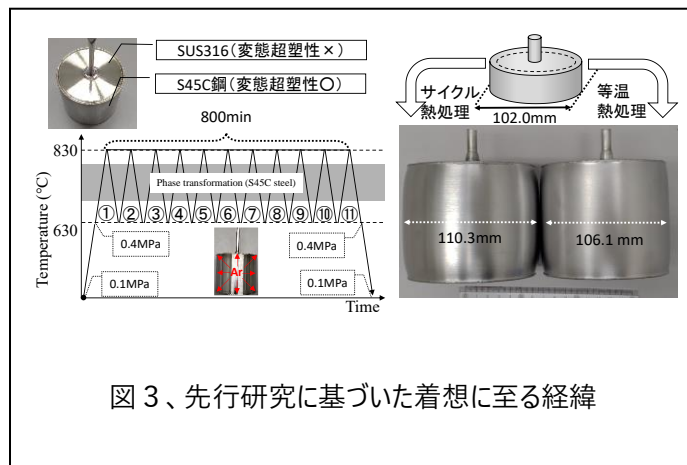


図3、先行研究に基づいた着想に至る経緯

本試験はS45C鋼という一般鋼を使用した結果であり、現在はさらに発展させ、R A F M鋼に最も近い市販材料であるT91鋼による内圧試験体の作成を開始している(図4)。その一方で、本結果からも理想としている程の巨視的な変形には至らなかった。これらの結果と先行研究を比較すると、熱サイクル時の温度変動速度(急速な昇温・冷却速度)に違いがあった。つまりサイクル熱処理により巨視的な変形を誘起させるためには、“サイクル速度”が重要であることが示唆された。

②-(2) 変態超塑性前後の組織観察:

上記のような内圧試験のほか、学術的な展開を視野に入れ、変態超塑性を示した低放射フェライト鋼(JLF-1)の引張試験における透過型電子顕微鏡を用いたナノ組織観察を行った(図5)。この観察において、最も着目したのが、JLF-1内で強化の役割を担う

粒子(M₂₃C₆、M_x)の変化である。観察の結果、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M_x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M_x粒子(42nm程度)が観察された。また変形後のラス境界には、スリップステップと呼ばれる変形帯が確認できた。この変態超塑性中(熱サイクル中)に凍結された組織であることを考慮すると、高温クリープ変形の連続とされる変態超塑性において、特に結晶粒内の異相(この場合はラス境界)で連続変形が起こったと考えられる。



(a)S45C 一般鋼の内圧試験体



(b)T91 鋼による内圧試験体

図4、等方加圧試験に用いた内圧試験体

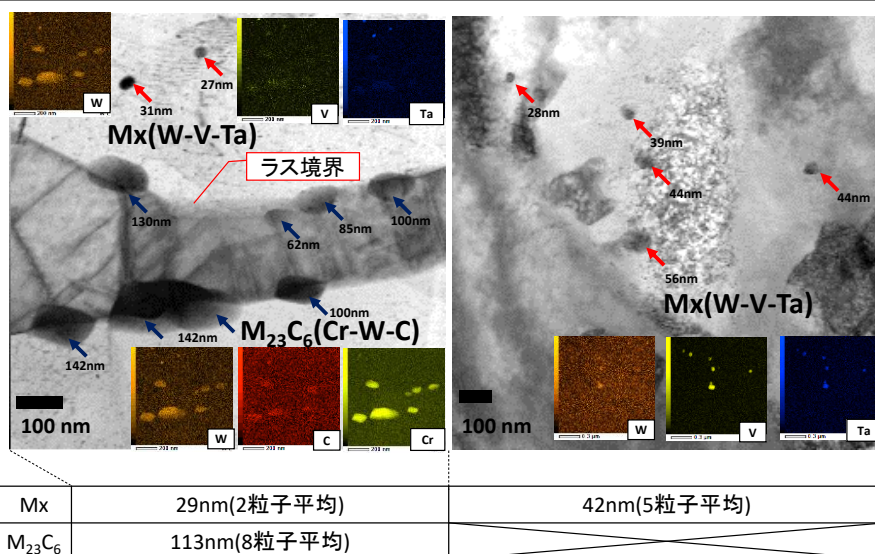


図5、変形前後の組織

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------