



Title	高Cr含有Ni-Cr-Al合金の粒界反応型析出に伴うラメラ組織形成過程と変形挙動に関する研究
Author(s)	小柳, 禎彦
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/76542
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (小 柳 禎 彦)

論文題名 高Cr含有Ni-Cr-Al合金の粒界反応型析出に伴うラメラ組織形成過程と変形挙動に関する研究

論文内容の要旨

高Cr含有Ni-Cr-Al合金であるNi-38Cr-3.8Al合金は、粒界反応型析出により数10~100 nmの微細なラメラ組織を形成し、従来のNi基合金よりはるかに高い2 GPaを超える引張強度を達成することが知られている。しかし、粒界反応型析出に伴うラメラ組織形成過程や数10~100 nmと微細な層間隔のラメラ組織の変形挙動については十分明らかになっていない。さらに、高Cr含有Ni-Cr-Al合金は耐高温腐食特性に優れるため、耐熱材料として実用化されているが、高温特性については明らかになっておらず、微細ラメラ組織と高温強度の関係は明らかにされていない。そこで、Ni-38Cr-3.8Al合金を対象とし、以下3点を目的として本研究を行った。

- (1) ラメラ組織の形成過程および主要元素であるCr量の影響を調査し、ラメラ組織の成長挙動および形態に及ぼす因子を明らかにする。
- (2) 層間隔が数10~100 nmのラメラ組織の変形挙動を調査し、強化機構との関係を明らかにする。
- (3) ラメラ組織の高温での安定性に注目し、クリープ特性を評価することで微細ラメラ組織と高温強度との関係を明らかにする。

第1章は序論であり、背景として、Ni-38Cr-3.8Al合金で生じる粒界反応型析出の特徴について述べて、さらに本合金の機械的特性や組織形態が従来のNi基合金とは明らかに異なることを説明することで、異なる強化メカニズムの可能性について紹介するとともに、本研究の目的について述べた。

第2章では、Ni-38Cr-3.8Al合金のラメラ組織形成メカニズムについて、Cr量の影響とともに述べた。本合金のラメラ組織の成長速度および形態は、 γ 相中のCrの過飽和度が大きく影響し、数%のCr量の変化でラメラ組織の成長速度および層間隔が大きく影響を受けることを明らかにした。また、ラメラ組織は異なるラメラ方位をもつ微細なラメラコロニを連続的に形成しながら成長する。これは、ラメラセルの成長境界ではラメラ組織の析出/未析出部で γ 相の格子定数が大きく異なるために格子ミスフィットが大きくなり、格子ミスフィットによるひずみを軽減するようにラメラセルは方位を変化させながら成長するためであることを提案した。

第3章では、Ni-38Cr-3.8Al合金の機械的特性に及ぼすラメラ組織の影響について述べた。ラメラ組織の硬さと強度は層間隔とHall-Petchの関係に従うことを確認し、本質的に2 GPaを超える強度は微細なラメラ組織によることを明らかにした。さらに、固溶化処理温度を変化させて初期 γ 相粒径を微細化することで、延性が向上することを明らかにした。これは、初期 γ 相粒界には微細な球状 α -Cr相が存在し、同部の周囲にはラメラ組織が形成されないため、変形が可能なためと提案した。一方、高温では硬さは高いものの、引張強度は試験中に初期 γ 相粒界に球状 α -Cr相が多く形成するため著しく低下した。また、初期 γ 相粒径が小さい場合、高温ではさらに強度が低下するが延性が非常に大きいことを確認し、初期 γ 相粒界が高温での変形挙動に大きく影響することを明らかにした。

第4章では、Ni-38Cr-3.8Al合金の室温での強化メカニズムについて述べた。また、本合金はラメラ組織中に Ni_3Al (γ')相が析出しているため、 γ 相による強化有無についても検討した。ラメラ組織中の γ 相および α -Cr相は非常に幅が小さいため、Hall-Petchの法則によりラメラ組織の強度が向上していることを確認した。一方、 γ 相による明瞭な強化挙動は認められないため、本合金の主な強化メカニズムは、微細なラメラ組織構造に起因することを明らかにした。

第5章では、Ni-38Cr-3.8Al合金の高温での変形挙動について述べた。まず、ラメラ組織は700°Cを超えると崩壊が始まり、800°Cでは急激に崩壊が進行することを確認した。また、クリープ変形機構の解明から、Ni-38Cr-3.8Al合金のクリープ変形は純NiやNi-Cr二元型合金と同様に γ 相中のNiの自己拡散によると示唆された。そこで、クリープ変形後の試験片調査を行い、試験中に初期 γ 相粒界およびラメラセル境界のラメラ組織が崩壊し、崩壊部には γ 、 γ' および α -Cr相の等軸組織が形成することを確認した。さらに、クリープ変形後の転位密度はラメラ組織が崩壊した部位の γ 相中で最も大きく、一方で、ラメラ組織中の転位密度は小さいことを確認した。以上より、Ni-38Cr-3.8Al合金の高温での変形挙動はラメラ組織の安定性が支配的であることを明らかにした。

第6章では、本研究で得られた成果を総括した。本研究により、Ni-38Cr-3.8Al合金のラメラ組織形成挙動にはCrの過飽和度が大きく影響することを明らかにした。また、従来のNi基合金よりはるかに高い強度を達成する強化メカニズムは、数10~100 nmと小さな層間隔のラメラ組織による強化が主であると解明された。また、微細なラメラ組織を有する材料および複数の強化機構が生じる可能性のある材料の強化メカニズムを解明する手法として、本研究で行った中性子回折実験が有効であることを証明した。さらに、高温での変形挙動を明らかにしたことで、高温での特性向上に向けた材料学的課題が明確となった。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (小 柳 禎 彦)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	安田 弘行
	副 査	教授	荒木 秀樹
	副 査	教授	小泉 雄一郎
論文審査の結果の要旨			
<p>本論文は、高濃度の Cr を含有する Ni-Cr-Al 合金の粒界反応型析出に伴うラメラ組織形成過程と変形挙動に関する研究であり、以下の 6 章から構成されている。</p> <p>第 1 章は序論であり、Ni-Cr-Al 合金の粒界反応型析出と変形挙動に関する過去の知見について述べるとともに、本研究の目的と意義について述べている。</p> <p>第 2 章では、Ni-Cr-Al 合金の粒界反応型析出に伴う微細ラメラ組織形成過程について、Cr 量の影響に注目することで解明している。とりわけ、γ母相とα-Cr 相からなるラメラ組織の成長速度および層間隔がγ母相中の Cr の過飽和度に強く依存することを明らかにしている。さらに、時効温度が低下すると、γ母相中のγ'相の析出量が増加し、Cr の過飽和度が増加することで、層間隔が微細化することを確認している。また、粒界反応型析出に伴うひずみを低減するために、ラメラ組織が方向を変えながら成長することを明らかにしている。</p> <p>第 3 章では、Ni-Cr-Al 合金の機械的特性に及ぼすラメラ組織の影響を検討している。ラメラ組織の硬度と層間隔との間に Hall-Petch の関係が成立することを明らかにするとともに、特に層間隔が 20 nm 以下の場合、引張強度が 2 GPa 以上になることを見出している。さらに、固溶化処理温度を低下させることで初期γ相粒界に球状α-Cr 相を析出させると、初期γ相粒径が微細化することで延性が向上することを明らかにしている。</p> <p>第 4 章では、室温で引張試験中の Ni-Cr-Al 合金についてパルス中性子その場回折実験を行うことで、同合金の変形挙動に及ぼすγ母相、α-Cr 相、γ'析出相の役割を解明している。特に、γ母相 ならびにγ'析出相が塑性変形を開始しても、層間隔のより微細なα-Cr 相が弾性変形を継続することで、加工硬化挙動に寄与することを明らかにしている。さらに、γ母相、α-Cr 相の相応力と各相の層間隔の間にも Hall-Petch の関係が成立することを明らかにしている。一方、γ母相中のγ'相による析出強化は、ラメラ組織に由来する微細化強化に比べて、強度への寄与は小さいことを明らかにしている。</p> <p>第 5 章では、Ni-Cr-Al 合金のラメラ組織の高温安定性とクリープ変形挙動について検討している。まず、ラメラ組織の崩壊は 700°C を超えると始まり、800°C では急激に進行することを確認している。さらに、クリープ変形時には、初期γ相粒界およびラメラセル境界付近のラメラ組織が優先的に崩壊することでクリープ破断に繋がることを明らかにしている。</p> <p>第 6 章では、本研究で得られた成果を総括している。</p> <p>以上のように、本論文は Ni-Cr-Al 合金を対象として、粒界反応型析出に伴う微細なラメラ組織形成過程の支配因子を解明するとともに、力学特性に及ぼすラメラ組織の影響を明らかにしており、材料工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。</p>			