

審査の結果の要旨

氏名 出村 雅彦

Ni₃Al は温度の上昇とともに強度が増大するという、高温材料に有利な性質をもつために多くの研究がなされてきたが、単結晶育成が困難であるため Ni₃Al の力学的特性の本質は十分に明らかにされていなかった。また、粒界脆性に起因する加工性の制約が実用化のための障害となっていた。本論文は、2 元系化学量論組成単結晶および双結晶を用いることによって、この材料の塑性変形の機構を明らかにするとともに、加工性改善による新たな用途開発を目指した研究結果をまとめたもので、6 章よりなる。

第 1 章は序論であり、Ni₃Al の塑性変形に関する基礎研究および用途開発についての従来の研究結果をまとめ、本研究の位置づけを述べている。

第 2 章は、浮遊帯域溶融法 (FZ) 法で育成した 2 元系化学量論組成単結晶を用いて変形機構を調べた結果である。2 元系化学量論組成の合金では (1) Schmid 則が成立し、(2) 変形応力が歪み速度に依存しないことを見出している。従来の 3 元系合金を用いた研究では Schmid 則の不成立やわずかな歪み速度依存性が報告されており、これらを根拠としてこれまで変形機構が議論されてきた。しかし本研究によって、従来この材料の特徴と考えられてきた性質が第 3 元素等の影響を受けた外因的なものであることが初めて明らかとなった。また、変形応力の逆温度依存性の原因である Kear-Wiltsdorf (KW) 不動化機構には(010)面せん断応力や転位芯構造が関与しないこと、変形が非熱活性化過程によって律速されていることを導いている。この上で、KW 不動化に対抗して転位が増殖する過程を変形律速とする新しいモデルを提案している。新たに提案したモデルによって変形応力に関する実験結果を定量的に記述できることを述べている。さらに、逆温度依存性の発現機構を議論する上で重要となる KW 不動化機構については、その駆動力を 126 mJ/m² と見積もっている。この値は透過電子顕微鏡観察などから求めた逆位相境界エネルギーの値と整合するものであり、新たに提案したモデルによって本材料の最も顕著な特徴である逆温度依存性の発現機構が矛盾なく説明できることを示している。

第 3 章は FZ 材をスキンプラス圧延一再結晶して作製した 2 元系化学量論組成双結晶を用いて粒界破壊特性を調べた結果である。Ni₃Al は粒界脆性を示すことが知られているが、全ての粒界が弱いわけではないことを突き止めている。破壊様式は粒界性格に依存し、 $\Sigma 1$, $\Sigma 3$, $\Sigma 9$ 粒界は容易には破壊し難いものに対して、 $\Sigma 5$, $\Sigma 7$, $\Sigma 13a$, ランダム粒界などは容易に粒界破壊することを見出している。破壊応力の粒界最小回転角依存性から、 $\Sigma 1$, $\Sigma 3$, $\Sigma 9$ 粒界の粒界結合力がバルク単結晶と同程度に高く、これに比べると $\Sigma 5$, $\Sigma 7$, $\Sigma 13a$,

ランダム粒界の粒界結合力は小さいことを明らかにしている。この結果は、 Ni_3Al 多結晶の加工性向上には粒界性格分布の制御が重要であることを示すものであり、従来に無い全く新たな知見である。

第4章は冷間圧延による箔の作製を試みた結果である。FZ法および精密鋳造法で一方向凝固した Ni_3Al は圧下率99%まで冷間圧延できることを突き止め、厚さ $23\mu\text{m}$ の箔の作製に成功している。このような薄箔の作製は、従来のボロン添加などによる他の手法では実現できなかったものである。以上の優れた変形能は、一方向凝固材が $\Sigma 1$ 、 $\Sigma 3$ 、 $\Sigma 9$ 粒界といった結合力の高い粒界のみで構成されているためであると結論している。また冷間圧延箔は強い $\{220\}$ 集合組織を形成し、セル化などの転位の再配列や双晶変形はみられないことを突き止め、 $\{111\}$ 面すべりによって圧延変形したと結論している。

第5章は作製した箔の機械的性質を調べた結果である。冷間圧延箔はビッカース硬度が $560\sim 650\text{HV}$ 、引張破壊応力も $1.0\sim 2.0\text{GPa}$ と著しく加工硬化していることを明らかにしている。この加工硬化は転位増殖過程律速の塑性変形機構に起因することを示している。また冷間圧延箔は曲げ延性があり、ハニカム構造などの形状へ加工できることを実証している。さらに、 $1273\sim 1573\text{K}$ で再結晶した箔が $3\sim 15\%$ の引張延性を有し、粒界脆化が問題とならないことを明らかにしている。再結晶箔では $\Sigma 1$ や $\Sigma 3$ 粒界の割合が高いことを示し、粒界性格分布の制御が、この材料の延性改善に極めて有効であると結論づけている。

第6章は、本論文の総括である。

以上を要するに、本論文は Ni_3Al の塑性変形に関する基礎的知見を与えるとともに、新たな用途開発への可能性を開くものであって、マテリアル工学の進歩に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認められる。