

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 増田 紘士

超塑性を支配する変形機構の古典理論は、1960～1970年代の時点で既に提唱されてきたものの、実験によるこれらの理論モデルの追証が進まないまま今日にまで至ってきた。増田紘士は、現代の観察技法を用いて、超塑性変形中の微視的な変形挙動を直接観察することによって、古典的な理論モデルを再評価するとともに、それらに新たな描像を書き足した。

本研究の前半では、一方向に伸長した異方的な結晶粒組織を有する ODS フェライト鋼を、超塑性変形のモデル材料として利用して「二次元的粒界すべり」を発現させ、実験的アーティファクトである **Floating grain** の影響を抑制した条件における微視組織評価を行うことで、粒界すべりに付随する転位緩和と連続動的再結晶、拡散緩和の直接観察を、初めて行った。本研究の後半では、代表的な実用超塑性合金である **Al-Mg-Mn** 合金を用いて、変形および動的組織変化のメカニズムを再評価することで、連続動的再結晶および異方的変形誘起粒成長に関する新たな描像を得た。

第2章では、一方向に伸長した結晶粒組織を有する ODS フェライト鋼を作製するとともに、結晶粒の伸長方向と垂直な単軸引張変形を与えることで、「二次元的粒界すべり」が生じることを検証し、さらに緩和機構がもつひずみ速度依存性を調査した。

第3章では、前章で確認された「二次元的粒界すべり」に加え、せん断試験によって粒界すべりの方向を制御し、変形前後の同一視野を定点観測することによって、粒界すべりと転位緩和の相互作用をより詳細に評価した。その結果、代表的な古典理論である **Gifkins** モデル(1976) および **Ball-Hutchison** モデル(1969)、そして **Langdon** モデル(1994) を再評価することかに成功した。すなわち、**Region II/III** では、粒界すべりに伴って、粒界近傍の「マントル」領域における転位すべりが応力緩和を担っていることが示された。**Region III** では、マントル転位緩和に加えて、すべった粒界の先端を起点に結晶粒の中心部「コア」へと伝播する転位すべりが応力緩和を伴うことが示された。また、粒界すべりを緩和した転位が、結晶粒内で動的回復をして新たな粒界を生む「連続動的

再結晶」の初期過程を捉えることができた。

第4章では、前章と同じく、二次元的粒界すべりとせん断試験によって粒界すべりを制御し、変形前後の同一視野の定点観測によって、**Region II**における拡散緩和機構を評価した。その結果、代表的な古典理論である **Ashby–Verrall** モデル(1973)、**Lee/Speingarn–Nix** モデル(1970/1976) を再評価することに成功した。すなわち、結晶粒の移動に伴う内部応力の揺らぎに応じて、顕著な体積移動が確認された。これは、内部応力揺らぎに伴う空孔濃度勾配を駆動力とした、空孔拡散モデルで説明できる。

第5章では、第3章で示した、二次元モデル材料における粒界すべりを緩和する転位運動と連続動的再結晶に関する理解を、実用超塑性合金へ展開した。超塑性 **Al–Mg–Mn** 合金における **Region III** での変形組織を観察し、第3章で観察された二次元組織とのアナロジーによって、ミクロな変形機構および組織変化機構を逆問題的に解釈した。その結果、連続動的再結晶による下部組織形成機構は、変形初期は「修正 **Gifkins** モデル」型、変形中期以降は「修正 **Ball–Hutchison** モデル」型によりそれぞれ上手く説明できた。

第6章では、典型的な準単相型超塑性合金である **Al–Mg–Mn** 合金で異方的変形誘起粒成長を観察し、そのメカニズムを理解した。すなわち、粒界すべりに伴い、隣接結晶粒同士が引張方向へ連なると同時に、回転・合体することによって異方的な粒成長を生じているという全く新たな描像が示唆された。

以上のように、増田紘士は、現代の観察技法を用いて超塑性変形中の粒界すべりに付随する転位緩和と連続動的再結晶、拡散緩和を直接観察することによって、長年実証されないままであった古典的な理論モデルを再評価するとともに、それらに新たな描像を書き足した。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。