

高圧巨大ひずみ加工による超高強度および超塑性アルミニウム合金の開発に関する研究

増田, 高大

<https://hdl.handle.net/2324/1959112>

出版情報：九州大学, 2018, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3）

氏 名 : 増田 高大

論 文 名 : 高圧巨大ひずみ加工による超高強度および超塑性アルミニウム合金の
開発に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

超ジュラルミンと呼ばれる A2024 合金は代表的な時効硬化型アルミニウム合金であり、材料強化機構として固溶強化と析出強化の二つを活用することで高強度化が図られている。一方で一般的なアルミニウム合金の結晶粒径は数十 μm 程度と粗大であり、結晶粒微細化による強化量は小さい。材料強化の観点から考えると、より多くの強化機構を効果的に利用できればさらなる高強度が期待できる。さらには、A2024 合金のような高温で二相状態となる合金では、結晶粒の微細化によって超塑性の発現も期待できる。このように超微細粒材料では機械的特性が飛躍的に改善される。そこで結晶粒をサブミクロンレベルに超微細化できる手法として巨大ひずみ加工がある。本研究では高圧ねじり (High-Pressure Torsion) 加工および高圧スライド (High-Pressure Sliding) 加工を利用して結晶粒の超微細化を図った。

研究は (1) 材料の超高強度化や (2) 成形性の向上が期待できる超塑性の発現に加え (3) 複合材の作製といった三つの異なる観点から進めた。特に、超高強度化の目標は引張強度 1 GPa とし、アルミニウム合金の超高強度化に至る強化メカニズムの解明にも挑戦し、超高強度化に効果的な強化メカニズムを明らかにした。

第 1 章では、まず、時効硬化型高強度アルミニウム合金について概説するとともに、材料強化法についてまとめ、さらに結晶粒径をナノオーダーまで微細粒化できる巨大ひずみ加工法について概説し、本研究の目的を示した。

第 2 章では、板状の A2024 合金に HPS 加工を適用し、幅 10 mm、長さ 100 mm の導入ひずみ量が均一 (相当ひずみ=13) な板材を作製した。その結果、結晶粒径を 130 nm に超微細化することができ、材料強度は試料全体に亘って 860 MPa 以上へ向上した。その均一性を活かし超微細粒 A2024 合金の異方性を調査したところ、860 MPa の高強度であるにもかかわらず、強度の異方性はわずか 3%程度で非常に小さいことを確認した。さらに、時効処理を施すことで引張強度は 960 MPa に向上し、ピーク時効状態においても超微細粒組織は維持されたままであった。また、高温変形では結晶粒微細化による超塑性の発現も達成でき、最大 430%の破断伸びを確認した。

第 3 章では、HPT 加工を利用して導入ひずみの増加によるさらなる超高強度化を目指した。その結果、HPT 加工を 10 回転 (相当ひずみ=88) 施すことでさらなる高強度化が達成でき、その後の時効処理を併用することで引張強度は 1 GPa に達した。結晶粒は HPT 加工直後で 130 nm に超微細化でき、ピーク時効時においても 160 nm の大角粒界で囲まれた超微細粒組織を維持していた。走査型透過電子顕微鏡 (STEM) 観察および 3 次元アトムプローブ (APT) 分析を用いた微細組織観察より、溶質原子である Cu と Mg の大角粒界や亜粒界への偏析が確認され、その偏析状態は時効に伴ってより顕著になることが分かった。さらに、1 GPa の超高強度に至るメカニズムを解明し

た。その結果、固溶強化、加工強化、結晶粒微細化強化、析出強化のみでは説明できず、固溶強化、クラスター強化、結晶粒微細化強化に対する実験データとともに、亜粒界への Cu と Mg の偏析を取り入れて見積もって見たところ、1 GPa の超高強度を説明することができた。すなわち、亜粒界への Cu と Mg の偏析による亜粒界を含めた結晶粒超微細化強化が重要な強化メカニズムとなった。

第 4 章では、溶質原子の拡散と巨大ひずみ加工の併用により強度と延性に優れる複合材を作製した。アルミニウム中の Cu や Mg の拡散速度は他の溶質原子と比べて速く、拡散現象を利用した複合材の作製が可能である。そこで、A2024 合金と純アルミニウムを層状に重ねて複合化し溶質原子の拡散現象を利用することで、円盤状試料上下部を A2024 合金、中心部を溶質原子濃度の低い Al-2.5wt.%Cu -1.3wt.%Mg 合金とすることができ、同一試料内で強度分布をもつ複合材にすることができた。その複合材に HPT 加工を施すことで、強度は A2024 合金単体を加工した際よりも低下するものの、700 MPa 以上の高強度を維持したまま延性を改善することができた。さらに、複合化した後も A2024 合金および拡散処理した Al のいずれの領域においても時効特性を示し、時効処理の活用による材料強度の制御も可能であることを明らかにした。

第 5 章では丸棒状 A2024 合金に HPS 加工を適用して結晶粒の超微細化を試みた。特に、棒状試料では試料厚さ方向中心部に優先的にひずみは導入されるものの、試料を長軸周りに回転させながら加工することで試料断面全体の均一化に成功した。その結果、HPS 加工を 3 パス行うことで、試料中心部の組織は平均結晶粒径 140 nm の超微細粒組織となり、室温では 830 MPa の引張強度を示した。また、棒状試料においても最大 480%の超塑性が発現し、その変形機構は粒界拡散が支配する粒界すべりであることが示された。

第 6 章では、本研究を総括し、主たる結論を述べた。

以上のように、巨大ひずみ加工の利用で A2024 合金の引張強度は 1 GPa に超高強度化でき、溶質原子の結晶粒界への偏析がアルミニウム合金の超高強度化に効果的であることを明らかにした。さらに、高温変形では超塑性が発現し、溶質原子の濃度分布を有する複合材に HPT 加工を施すことで強度と延性を兼ね備えた材料が開発でき、巨大ひずみ加工が多岐にわたる機械的特性の向上に有効であることが示された。

〔作成要領〕

1. 用紙はA4判上質紙を使用すること。
2. 原則として、文字サイズ10.5ポイントとする。
3. 左右2センチ，上下2.5センチ程度をあげ，ページ数は記入しないこと。
4. 要旨は2,000字程度にまとめること。
(英文の場合は，2ページ以内にまとめること。)
5. 図表・図式等は随意に使用のこと。
6. ワードプロ浄書すること（手書きする場合は楷書体）。
この様式で提出された書類は，「九州大学博士学位論文内容の要旨及び審査結果の要旨」
の原稿として写真印刷するので，鮮明な原稿をクリップ止めで提出すること。