

審査の結果の要旨

氏名 ルアンバラナン タチャイ

環境負荷低減のためのエコマテリアル推進は、1つの社会的要請にまで高まりをみせている。その中で日々の社会的活動を支援する基盤材料は、そのリサイクルを含めた物質循環を確立する必要がある。アルミニウム合金・マグネシウム合金は、軽量材料ゆえに使用時のCO₂排出削減、燃費向上による環境負荷低減、地金生産に要するエネルギーのリサイクルによる大幅低減など、エコマテリアルとして優れた特徴を有しているが、多様な社会的ニーズに応じて種々の構造体あるいは部品などに応用展開する上で、リサイクル材からの高品質化が問題となる。すなわち、アルミニウム合金、マグネシウム合金において、それらの回生材料、省成分材料等を出発原料として、自動車部品などで使用可能な力学的性質を有する部材を成形加工できる環境対応製造プロセスの開発提案という課題である。本論文は、その課題への1つの解決法として、固相リサイクルプロセスを提案し、自動車用部品を想定したアルミニウム合金、マグネシウム合金の力学的特性向上を実証した研究成果を述べたものであり、7章よりなる。

第1章は序論であり、現状の軽量合金、特にアルミニウム合金の利用、リサイクル、物質循環などに関してまとめ、使用済み鉛蓄電池材料からの鉛電極作成を例として固相リサイクルプロセスの特徴を示しながら、本研究の必要性を示している。

第2章では、本研究で提案する固相リサイクルプロセスの詳細を述べている。特に、実験に使用するバルクメカニカルアロイング法（以下、BMAと略す）ならびに冷間鍛造、押し出し成形、温間プレスによる2次成形固化プロセスについて説明している。さらに作製した試料の力学的特性評価方法に言及している。

第3章では、リサイクルチップ材を出発原料とするアルミニウム合金の固相リサイクルについて述べている。特に、自動車摺動部品材として使用されるAl-12mass%Si合金を中心に、固相リサイクルプロセスによる高品質化について検討している。BMAのサイクル数増加により最大Si粒径は単調に減少し、ほぼN=200程度で5 μ mにまで減少することを見出している。このSi粒径の単調減少とともに、微細化したSi粒の均一分散化、硬度の単調増加を確認している。第2相の微細化、均一分散化は、BMAによる固相リサイクルプロセスの特徴の1つである。鍛造、押し出し、温間プレスによる固化、2次成形により、高密度のバルク体を創製し、予備過熱温度、時間を適切に制御することで、BMAで創製した微細均一組織を保持し、高い力学特性を得ている。実際、工業的に作製された溶製材では、最大引張強度が135MPa、伸びが3%であるのに対して、N=200のBMA材で強度400MPa以上、伸び5%以上を得ている。自動車部品では必要に応じて、Si微細化・Si濃度を適宜選択することも求められるが、微細化に対しては予合金粉からの固相リサイクルで1 μ m以下のSi粒径を達成でき、また20mass%Si材も出発チップ材にSi原料粉を秤量、混合したものを原料とすることで、Si濃度制御も可能となる。さらに、リサイクル・アルミニウムに不可避免的に混入するFeに関して、数mass% Fe程度までは強制固溶・微細なAl-Fe金属間化合物析出により、力学的特性を大きく損なうことなく、本プロセスで処理することが可能である。またSiCに代表される強化相の微細均一分散による複合強化も利用できることを示している。

第4章では、マグネシウム合金・リサイクル材を出発材料として、固相リサイクル・プロセスの適用性について論じている。すなわち、ダイキャスト材としてのAZ91合金、展伸材としてのAZ31合金のそれぞれチップ材を出発原料として、BMAによるMg-Al金属間化合物相の微細均一分散化、熱間鍛造・押し出し成形による固化、2次成形により、マグネシウム合金においても、固相リサイクル・プロセスにより、力学特性が大幅に向上することを実証している。

第5章では、BMAにおける消費エネルギー評価の調査について述べている。インプロセスでの機械投入エネルギー履歴の測定、摩擦仕事・散逸エネルギー・機械的エネルギー損失などの評価・測定により、投入エネルギーの約40-50%が固相リサイクルに利用できること、アルミニウム合金とマグネシウム合金との摩擦仕事量の本質的相違など、現象面での本プロセスの評価の結果を示している。

第6章では、本固相リサイクルプロセスで中心となる微細化プロセスに関する力学解析を行っている。汎用非線形解析コード・ANSYSを用いて、BMAにおける反復荷重履歴に伴う応力、ひずみ集中を明らかにし、原料プリフォームが受けるひずみ履歴を求めている。その上でアルミマトリックス中のSi粒が受ける引張り応力分布を解析解との比較なども含めて総合的に検討し、前者で求めたひずみ履歴の初期の段階でSi粒は限界破断応力を超える引張り応力を受けることで破砕することを明らかにしている。

第7章では、本実験結果からの実生産規模への展開に関して述べ、本プロセスの利点と限界、スケールアップ上の課題さらに他の方法との達成し得る力学特性の比較検討を行い、全体を総括している。

要するに、本研究は、チップ状・破砕粒状など種々のモルフォロジーをもつ回生材料、省成分材料をそのまま出発原料とし、微細化・均一分散化・バルク固化というインプロセスでの組織制御を通じて、出発原料をはるかに超える高い力学特性をもつバルク体を創製する新しいプロセスを提案、実証している。その成果は、材料加工学、エコマテリアル学への貢献が著しい。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。