

## 学位論文審査の結果の要旨

報告番号	先端科学技術	号	氏名	ヒョウ コウエン
論文題目	溶湯直接圧延法による軽量 Mg/Al クラッド材の製造			
論文審査委員会	委員 (主査)	D○合	渡利 久規	教授 (機械システム工学専攻)
	委員 (副査)	D○合	山崎 敬則	教授 (機械システム工学専攻)
	委員 (副査)	D○合	柳田 明	教授 (機械システム工学専攻)
	委員 (副査)	D○合	清水 透	特別専任教授 (機械システム工学専攻)
	委員 (副査)		羽賀 敏雄	教授 (大阪工業大学, 機械工学科)

### 研究の背景

近年、地球温暖化に対する環境対策はEUをはじめとして全世界に拡大している。例えば、気候変動枠組条約の締約国会議(COP)では、これまで温暖化の防止策を直接規定した全世界的な取り決めが行われてきた。歴史的に見ると地球の温暖化の原因とされる二酸化炭素の排出量はやメタン、フロンなどの温室効果ガスとともに、産業の発展とともに増え続けてきている。このような状況において、従来、自動車産業界では軽量化によって、二酸化炭素の排出量を削減する努力が行われてきた。しかし、近年では自動車の電動化が進み、電気自動車(Electric Vehicle:EV)の販売を主力とし、ハイブリッド車(Hybrid Vehicle)や、内燃機関のみを持つ自動車(例えば、ガソリン車とディーゼル車)、すなわち内燃自動車(ICE: Internal Combustion Engine)は販売できなくなる方向に急速な舵が切られている。しかしながら、EVが主流となったとしても、これまで続けられてきた軽量化技術はこれまで以上に、今後も重要な役割を果たすものと考えられている。

本研究の背景には、軽量化およびその実用化という全世界的な環境問題が存在している。本論文では、実用金属中で最も軽量かつ比強度、比剛性が高く、衝撃吸収性や電磁遮蔽性、被削性、リサイクル性に優れているマグネシウム(Mg)合金のマルチマテリアル化に貢献するために、アルミニウム合金の積層によるAl/Mgクラッド材を金属溶湯から、一工程で創製する加工プロセスの有効性について検証している。

### 研究の目的

マグネシウム(Mg)は、密度が $1.738\text{kg/m}^3$ であり、アルミニウム(Al)の約 $2/3$ 、鉄(Fe)の $1/4$ であり、実用金属材料中では最軽量である。また、比強度、比剛性が高く、衝撃吸収性や電磁遮蔽性、被削性、リサイクル性に優れており、軽量化効果の最も大きい素材として実用化が期待されてきた。しかしながら、Mg合金は最密六方構造(HCP)であるため、常温におけるすべり系はc軸と直角方向の底面すべりだけであり、常温での塑性加工性は低い。このため、Mg合金の塑性加工は $250^\circ\text{C}$ 以上での温間成形が主流となっている。また、塑性加工用の展伸材の製造工程では、熱間圧延を繰り返すために、これが塑性加工用のMg合金展伸材が高価になる原因のひとつでもある。本報ではMg合金を低コストで製造する横型双ロール法を適用して、一工程で軽量のMg合金に耐食性の高いAl合金を接合するクラッドを製造することを目的としている。

## 研究の内容

第1章においては、Al/Mg クラッド材の製造に関する研究の背景についての概説している。第2章では、横型の双ロールキャスターを用いて、代表的な鋳造用 Mg 合金である AM100 に、純アルミニウム A1050 を接合する実験を行った。第2章では、溶湯直接圧延法によってクラッドが製造可能な条件を明らかにし、クラッド製造が可能なロールギャップの設定方法およびクラッド製造のみかけの圧下率について調査した。クラッド製造が可能であった試験片の接合界面の組織観察および界面周辺部の硬さ試験を行ったところ、見かけの圧下率を 10%、15%、20%と変化させた場合、15%以上の見かけの圧下率を与えて溶湯直接圧延を行うことで、Al/Mg クラッドが製造可能であることを明らかにした。また、圧下率の増加に伴って、接合界面の混合層の厚さは減少し、20%の圧下率の場合は  $68\ \mu\text{m}$  であることを明らかにした。界面付近の硬さ試験の結果からは、最も硬度の大きい箇所は、Al側の接合界面であり、この部分の  $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$  や  $\text{Al}_3\text{Mg}_2$  などの金属間化合物の存在を確認した。クラッドの引張せん断試験の結果から、本法で得られたクラッド材は 40MPa 以上のせん断応力を有することが明らかになった。これらの成果は、[Feng Gengyan, Hisaki Watari, SMayumi, Toshio Haga, Tooru Shimizu, A Novel Direct Cladding of Magnesium and Aluminum Alloys Using a Horizontal Twin Roll Caster, Key Engineering Materials, Vol. 880, pp.17-22\(2021\)](#) に報告されている。

第3章では、クラッドの凝固厚さを推定するための実験定数の算定方法を示し、さらに AZ91/A5052 のクラッド製造実験を行い、ロール周速度とノズルの設定方法の違いがクラッド製造に与える影響について調査している。本章では、ロール周速度 9m/min で AZ91D を上側ロールで、また A5052 を下側ロールで凝固させる方法が最も接合状態が良好であることを示した。また AZ91/A5052 クラッドの界面の SEM 画像と EDS 分析の結果、界面の拡散層は三層構造であり、界面の Mg 側からは  $\alpha\text{-Mg} + \text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$  が分布する共晶組織、中央部は  $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$  が分布する層、さらに界面の Al 側からは  $\text{Al}_3\text{Mg}_2$  が分布する層、であることを明らかにした。第4章では、スクレイパーを用いて、接合界面の凝固の状況を制御するための実験の結果について記している。本章では AZ91/A5052 クラッド製造過程において下側ノズルの自由表面側にスクレイパーを設置し、A5052 の半凝固層の掻き取りが、接合界面に与える効果について明らかにした。すなわち、スクレイパーの設置によって A5052 の拡散層の厚さはスクレイパー無しの場合と比較して3分の1に低減でき、界面の限界引張せん断応力は 8.2Pa から 12.5MPa が得られ 50%以上改善された。以上の成果は、[Gengyan Feng, Watari Hisaki, Haga Toshio, Fabrication of Mg/Al Clad Strips by Direct Cladding from Molten Metals, Metals, Vol. 12\(9\), pp.1408-1420\(2022\)](#), に報告されている。第5章では、本論文を総括し、研究結果に基づいて今後の課題と展望について記している。

以上、本論文において著者が検討して得た結論に記された事柄は、軽量の Mg 合金の実用化する点において極めて有用であると判断できる。本論文の価値は工学的、工業的な観点からも十分に評価できる。よって本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。