

学位論文内容の要旨

報告番号	先端科学技術甲第 177 号	氏名	馮 庚琰
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		

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。

マグネシウム(Mg)は、密度が 1.738kg/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、マグネシウム合金の塑性加工は 250°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。さらに、Mg 合金は非常に活性であり、耐食性も低いため適用範囲が限られていた。このため、近年、Mg 合金表面の耐食性を改善する研究や、Al 合金の積層による Al/Mg クラッド材の研究例が報告されている。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、研究を行った。

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状況および研究背景についての概説している。

第 2 章においては、横型の双ロールキャストを用いて、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。本章では、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、特に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ている。また、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 $68\mu\text{m}$ であることを確認した。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、この部分には $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ や Al_3Mg_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は、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。

第 3 章では、単ロールメルトドラッグにより、クラッド製造プロセスの基本的な現象について調査した。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、クラッド比を求めるための推定式を示した。さらに、本章では 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。本実験結果から、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が良好であると判断した。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ることを明らかにしている。すなわち、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 Al_3Mg_2 が分布する層の三層構造であることが示された。得られた AZ91/A5052 クラッド材の引張せん断試験の結果、本法で得られたクラッド材は界面の金属間化合物の箇所で剥離が発生してしまい、本法では接合界面における凝固層における金属間化合物の晶出を制御することが重要であることが明らかになった。

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を行った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た場合、スクレイパーの設置による A5052 の半凝固層の掻き取り効果がクラッドの接合界面に与える影響について調査している。実験の結果からは、スクレイパーの設置によって A5052 の拡散層の厚さを減少できることが明らかになった。スクレイパーを使用したクラッドの接合試験の結果は、スクレイパーを使用しなかった場合の引張せん断応力 8.2MPa より 50%以上改善され、 12.5MPa が得られた。本実験により接合界面での温度制御にもとづく界面の金属間化合物の制御がクラッド製造に重要な因子であることを明らかにした。

第 5 章においては、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、溶湯直接圧延法による軽量 Mg/Al クラッド材の製造に関して得られた知見は、今後の Mg 合金の実用化に貢献できるものであり、今後の軽量化技術を発展に貢献できるものであると確信する。以上のように、本論文は最終的に機械工学の発展に十分寄与できるものであると考えられる。