

タンデム双ロール法による軽量Mg合金クラッド材料の開発

群馬大学理工学研究院 知能機械製造部門

教授 渡利 久規

(平成 22 年度一般研究開発助成 AF-2010025)

キーワード：双ロールキャストリング，急冷凝固，クラッド材

1. 緒言

地球規模での環境負荷低減には，自動車等の部材の軽量化によってエネルギーの有効活用を促進する技術開発が必要となる．マグネシウム合金は，軽量性・高比強度・高比剛性・高振動吸収性・電磁シールド性など，素材として環境問題を解決できる可能性を有する材料の 1 つである．

しかし，マグネシウム合金は結晶構造が六方最密格子であることから常温における成形性が劣り，塑性加工用の板材が高価であるという問題がある．また，マグネシウム合金のもう一つの問題である耐食性を改善する方法として，表面に耐食性の高い金属を積層させたクラッド材の研究が行われている⁽¹⁾⁽²⁾．塑性加工用の板材を経済的に作製する方法として双ロール法がある．双ロール法によるクラッド材の作製は羽賀らの報告がある．羽賀らは母材に融点の低い合金，表材に融点の高い合金に対して，スクレイパーを使用し Al 合金同士のクラッド材の作製に成功している⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾．本研究では横型タンデム双ロールキャストを用いて，母材に融点の低い Mg 合金，表材に融点の高い Al 薄板材としたクラッド材の作製を試みた．本研究では，成形荷重，作製したクラッド材のクラッド比，微細組織観察，結晶粒径について調査を行い，EPMA による分析を行った．

2. 実験方法および実験条件

2・1 タンデム双ロールキャスト

図 1 に本研究で用いた横型タンデム双ロールキャストの概略図を図 1 に示す．図 2 に 2 段目での接合を目的とした条件，図 3 に 3 段目での接合を目的とした条件をそれぞれ，示す．実験条件を表 1 に示す．各ロールのサイズはそれぞれ直径 300mm，幅 150mm であり，1 段目と 2 段目のロール材質は純銅製，3 段目のロールは鋼製である．本実験では離型剤は使用せず，大気雰囲気中で casting を行った．

図 1 に示すように 1 段目と 2 段目の溶湯プールはサイドダムプレート，上側ノズル，下側ノズルで構成されている．各ノズルは，回転支持機構によりロールや，凝固層へ追従する機構となっている⁽⁶⁾．本装置では 1 段目で母材である Mg 合金の casting を行い，2 段目のロールで表材である Al 合金の casting 及び接合を行い，3 段目のロールは接合および圧延を行うために設置している．

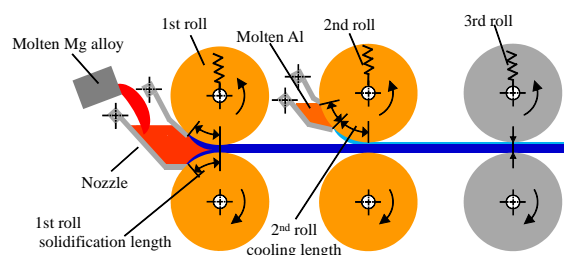


図 1 タンデム双ロールキャスト概略図

2・2 実験条件

表 1 にクラッド材の製造実験の際の実験条件を示す．クラッド作成用の材料としては，母材にマグネシウム合金，母材の表面に接合する表材としてアルミニウム合金を用いて，異種合金クラッド材の作製実験を行っている．

本実験では，1 段目の成形中の荷重をロードセルにより計測した．作製した板材の板厚の測定は，幅方向に両端から 10mm および中央の位置で板厚を， casting 方向に 100mm 間隔で測定した．さらに光学顕微鏡を用いて組織観察を行った．また，接合界面の状態を把握するために EPMA による面分析を行い，材料の機械的性質を確認するために，マイクロビッカース硬さを測定している．

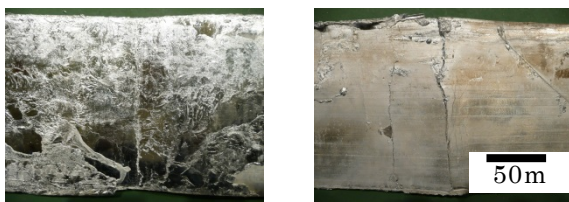
Table 1 Experimental conditions

Experimental No.	①	②	③	④
1st roll Material	AZ121			
1st roll Casting temperature [°C]	610	590	630	610
2nd roll Material	A1050			
2nd roll Casting temperature [°C]	690	700	690	680
1st roll gap [mm]	3			
2nd roll gap [mm]	4	6.5	6.5	7
3rd roll gap [mm]	4	5.5	6.5	30
roll speed [m/min]	16			
1st roll solidification length [mm]	50			
2nd roll solidification length [mm]	50			
2nd roll 2nd-cooling length [mm]	100			

3. 実験結果および考察

3・1 接合状態および内部組織観察

実験条件①の板表面状態を図2に示す。作製した薄板を第2ロールで接合させる試みを行ったところ、AlとMgの金属間化合物が板全面に観察された。これは、板同士の接合時の温度が高すぎたためであると考えられる。実験条件②で作製した薄板の表面上を図3に示す。Al側の表面状態は良好で、Mg側の再融解も見られなかった。実験条件③で作製した薄板の表面状態を図4に示す。実験条件④で作製した薄板の表面状態を図5に示す。実験条件④では、第3ロールをフリーにして材料と上側ロールをできるだけ接触させないようにしている。



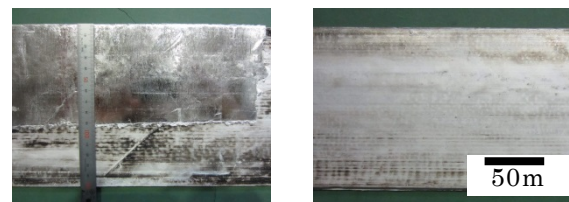
(a) Cladded Al side (b) Melted Mg side
Fig.2 Surface condition of as-cast strip of No.①

この条件ではMg合金とAl合金を接合させることができなかった。実験条件①のように圧下力が大きい条件では、二つの材料間での熱伝達が向上して、その結果として第二ロールの高温のAlが第1ロールで凝固したMg合金を再度融解させてしまうため、スキンプラス程度の軽い圧下によって接合させる方が適していると考察した。

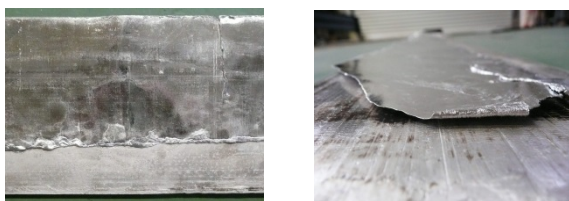
すなわち、異種材料を接合させるためには第2ロールギャップは大きめに設定し、第3のロールに接触する程度のロールギャップに設定すれば良いことを明らかにした。得られたクラッド材の板厚は5.5mmであり、Al層で平均1.1mm、Mg層で平均4.3mmが得られた。本研究ではクラッド比1.1:4.3での作製が可能であった。

実験条件②で作製したクラッド材の結晶組織の観察を行った。鑄造方向幅方向の内部組織を図6に示す。図6では明確な界面が確認できるが、図6の中央部にはAl層とMg界混合層が形成されていると考えられる。

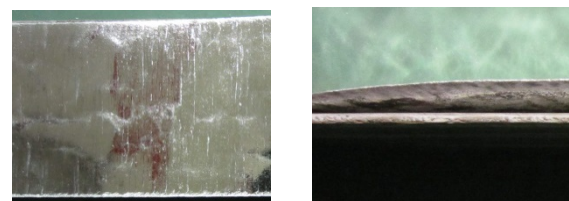
図7にAl層、Mg界面近傍、Mg層中央近傍、Mg層表面近傍の結晶組織をそれぞれ図7に示している。Mg層の平均結晶粒径は、図7(b)の混合層近傍では77μm、図7(c)の中央近傍においては19μm、図7(d)の表面近傍で83μmとなっており、Mg層の中央部の結晶粒が最も微細な組織になっていた。



(a) Cladded Al side (b) Mg side
Fig.3 Surface condition of as-cast strip of No.②



(a) Cladded Al side (b) Separated Al and Mg
Fig.4 Surface condition of as-cast strip of No.③



(a) Cladded Al side (b) Separated Al and Mg
Fig.5 Surface condition of as-cast strip of No.④

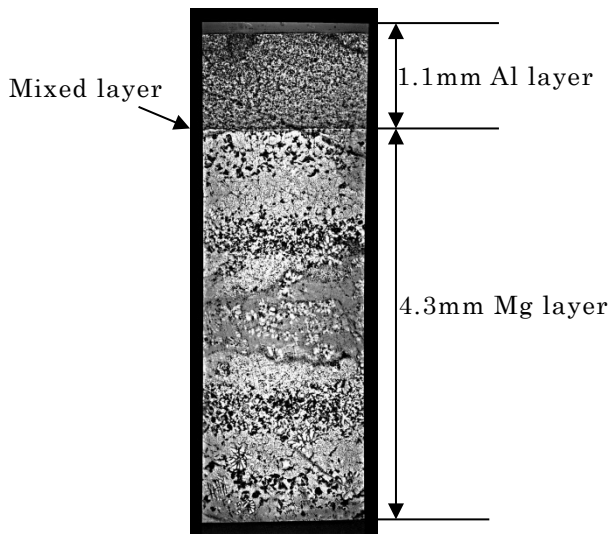


Fig.6 Cross section of as-cast strip

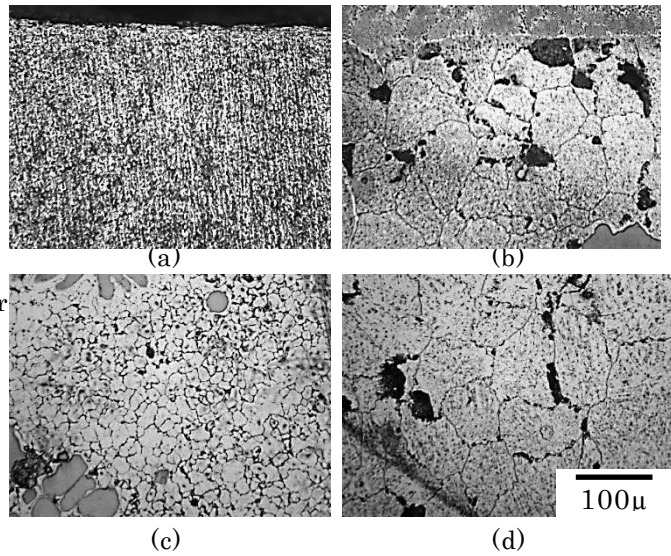


Fig.7 Cross section of as-cast strip of No.②
 (a) Al layer (b) Mg layer of interface region
 (c) Mg layer of center region (d) Mg layer of surface region

3・2 接合状態の EPMA による評価

接合部における混合層の厚さおよび各元素の分布を調査するために、島津製作所製 EPMA-1610 を用いて、接合部の反射電子像観察、面分析、元素マッピングを行った。反射電子像、面分析結果を図 8 に示す。混合層と拡散層の境界を点線で示し、混合層の最小厚さと拡散層を矢印で示す。Al 層に Mg は拡散していない。また、Al と Mg の接合部における混合層厚さは約 70~90 μm であった。マッピング分析の結果から、Al に Mg が固溶した相が 10 μm、Mg に Al が固溶した相が 10 μm であった。

各元素のマッピング分析結果を図 9 にそれぞれ示す。混合層の厚さが一定でなかったのは、第 2 ロールのノズル先端荷重が低く、ノズル先端に断熱材を貼りつけたことによる Al 側の板厚の不均一さに起因すると考えられる。元素マッピングで混合層に Mg が多かったのは、Mg 層を Al 層が融解したためと考えられる。

板厚方向に測定したマイクロビッカース硬さ試験結果を図 10 に示す。混合層の硬さは HV200 以上、Mg 層の硬さは単層で作製した板と同等の硬さである HV80 が得られている。

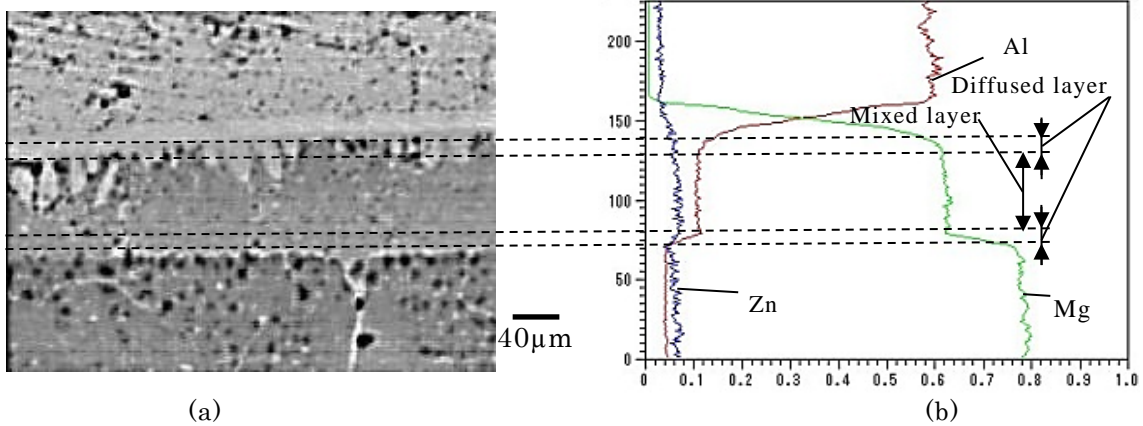


Fig.8 EPMA analysis of No.②
 (a) Backscattered electron image (b) area analysis

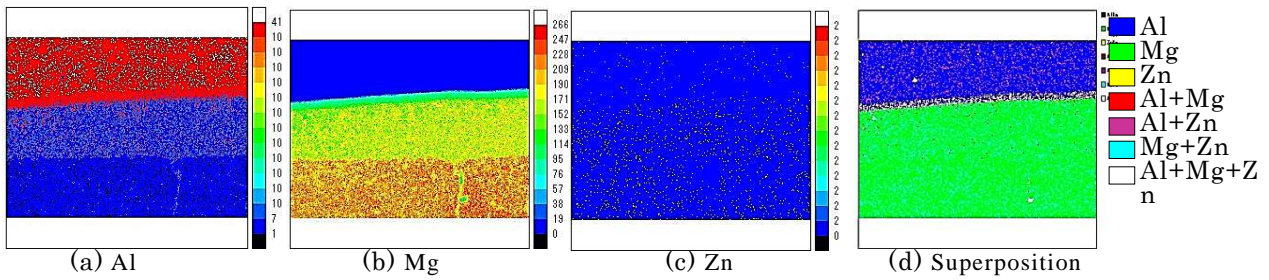


Fig.9 EPMA analysis of No.②

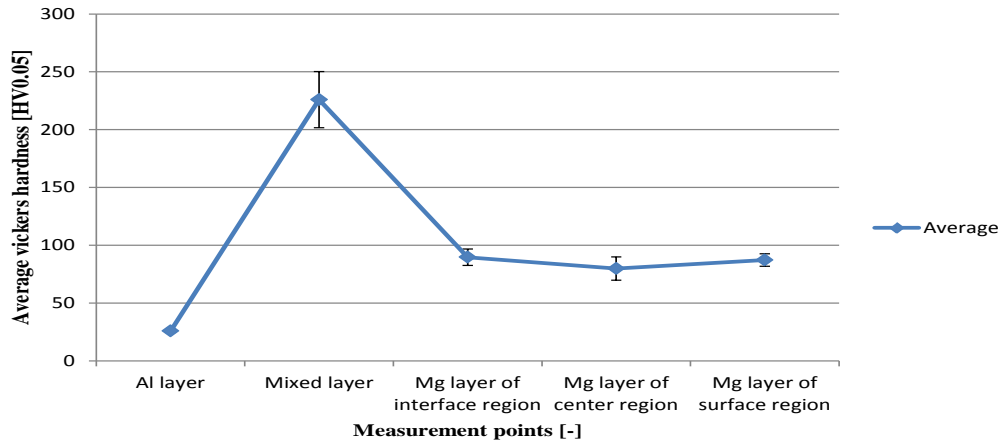


Fig.10 Vickers hardness distribution

4. 結論

横型タンデム双ロールキャスターを用いて、第1ロールにおいてマグネシウム合金薄板材を溶湯から直接作製した後に、第2ロールでAl合金薄板を溶湯から製造し、第3ロールで二つの異なる2種類の合金を積層させる実験を行った。

本研究で用いた横型タンデム双ロールキャスターで、各素材の凝固厚さを予測できればクラッド材の製造が可能であることを確認にした。本実験において得られたクラッド材の板厚は5.5mmであり、Al層で1.1mm、Mg層で4.3mmであった。Mg層の板厚方向に中央近傍では初晶が粒状化していた。AlとMgの接合部における混合層厚さは約70~90 μm であり、マッピング分析の結果から、AlにMgが固溶した相が10 μm 、MgにAlが固溶した相が10 μm の範囲であることを明らかにした。

謝辞

本研究は公益財団法人天田財団（平成22年度一般研究開発助成）を受けて行われたものであり、同財団に厚く謝意を表します。

参考文献

- (1) 齊藤雅寛, 浅川基男, 小林勝, 加藤正仁, 松崎邦男, 小林寧: 第62回塑性加工連合講演会講演論文集, (2011), 307.
- (2) 齊藤雅寛, 浅川基男, 小林勝, 加藤正仁, 松崎邦男: 軽金属学会第120回春季大会講演概要, (2011), 378.
- (3) R. Nakamura, T. Yamabayashi, T. Haga, S. Kumai, H. Watari: Archives of Materials Science and Engineering, Vol.41, No.2 (2010), 112.
- (4) 羽賀俊雄: 日本機械学会2000年度年次大会講演論文集(III), No.00-1 (2000), 379.
- (5) 羽賀俊雄, 高階健太: 日本機械学会講演論文集, No.024-1 (2002), pp. 9-53-9-54.
- (6) 石原拓也, 下條健太, 柘植浩志, 羽賀俊雄, 熊井真司: 軽金属学会第122回春季大会講演概要, 119 (2012), 237.