横型タンデム双ロールキャスターによる Al/Mg クラッド材の製造*

原田 英人^{*1}, 遠藤 正樹^{*2}, 西田 進一^{*1}, 渡利 久規^{*2}, 羽賀 俊雄^{*3}

Fabrication of Al/Mg Clad Material Using a Horizontal Tandem Twin Roll Caster

Hideto HARADA^{*1}, Masaki ENDO, Shinichi NISHIDA,
Hisaki WATARI and Toshio HAGA

^{*1} Graduate School of Engineering, Gunma Univ. Dept. of Production Science and Technology
Hon-cho 29-1, Ota-city, Gunma, 373-0057 Japan

This study was aimed that Fabrication of Al/Mg clad material using a horizontal tandem twin roll caster. Magnesium is the lightest of structural metals combining high mechanical strength and low density. However, magnesium is low corrosion resistance. Aluminum alloys and magnesium alloys were fabricated as an Al/Mg composite using aluminum alloys as protective layers, improvement of the corrosion resistance of the magnesium alloys can be expected. In this study using twin roll casting process and downward melt drag process. And also in-line rolling process was used. A horizontal tandem twin roll caster consists of three kind of twin roll. AZ121 was cast by first twin roll, this is first strip. Downward melt drag process was used for casting of A1050, this is second strip. In case of narrow roll gap, AZ121 was melted by A1050 due to increased heat transfer coefficient. In this study, bonding could be better that cladding of aluminum on third twin roll would rather than cladding of aluminum on second twin roll. Thickness of clad strip was 5.5 mm, aluminum layer was 1.1 mm, magnesium layer was 4.3 mm. cladding ratio was 1.1 : 4.3. Mixed layer was 70-90 μ m in bonding region. Each diffuse layer of Al layer and Mg layer was 10 μ m. Primary crystal size of Mg layer was 77 μ m at mixed layer region, 19 μ m at center region, 83 μ m at surface region.

Key Words : Al/Mg Clad, a Horizontal Tandem Twin Roll Caster, Solidification

1. 結 言

マグネシウム合金は実用合金中、最軽量であり、比強度が高いという特徴がある。このため、ノートパソコンやカメラの筐体等に実用化されている。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⁾。一方、板材を経済的に作製する方法として双ロール法がある。双ロール法は溶湯から直接に薄板を連続鋳造して作製する方法であり、双ロール法によるクラッド材の作製は著者のひとり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ターを用いて、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、ビッカース硬さの測定を行った。

* 原稿受付 2013 年 1 月 21 日

^{*1} 正員, 群馬大学大学院 (〒373-0057 群馬県太田市本町 29-1)

^{*2} 群馬大学大学院 工学研究科

^{*3} 正員, 大阪工業大学 工学部

E-mail: t11802207@jgunma-u.ac.jp

2. 実験装置及び実験条件

本研究で用いた横型タンデム双ロールキャスターの概略図を図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に示すように2 段目の下側ノズルの先端から2 段目のロール間隙までを2 次冷却距離とした。1 段目の成形中の荷重をロードセル(CLG-NB)により測定した。作製した薄板のクラッド比の測定は、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 50mm 間隔で測定した。組織観察は、光学顕微鏡を用いて観察し、EPMA による面分析を行った。また、マイクロビッカース硬さを測定した。

Fig.1 Schematic illustration of a Horizontal tandem twin roll

Fig.2 Schematic illustration of bonding 2nd roll

Fig.3 Schematic illustration of bonding 3rd roll

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

3・1 接合状態および内部組織観察

横型タンデム双ロールキャスターを用いて母材に Mg、表材に Al とした異種合金クラッド材の作製実験を行った。ロードセルにより測定した第 1 双ロールの Mg 単層の成形荷重は 50N/mm であった。実験条件①の板表面状態を図 4 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 5 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 6 に示す。実験条件④で作製した薄板の表面状態を図 7 に示す。実験条件④では、第 3 ロールをフリーにし、上側ロールに触れないようにした際に、Mg 合金と Al 合金が接合している箇所はなかった。実験条件①のように圧下力が大きい条件では熱伝達が向上し、第 1 ロールで凝固した Mg 合金を融解させるため、スキンパス程度の軽い圧下によって接合させる方が適している事を実験により明らかにした。すなわち、第 2 ロールで接合させるより、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る方が好ましいと考えられる。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。

(a)

(b)

Fig.4 Surface condition of as-cast strips, experimental No.①

(a) Cladding Al side (b) Melted Mg side

(a)

(b)

Fig.5 Surface condition of as-cast strips, experimental No.②

(a) Cladding Al side (b) Mg side

(a)

(b)

Fig.6 Surface condition of as-cast strips, experimental No.③

(a) Cladding Al side (b) Separated Al and Mg strips

(a)

(b)

Fig.7 Surface condition of as-cast strips, experimental No.④

(a) Cladding Al side (b) Al and Mg strips

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。 casting 方向に観察した内部組織を図 8 に示す。 図 8 では明確な界面が確認できる。 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 9 に示す。 Mg 層の平均結晶粒径は, 図 9(b)の混合層近傍で $77\mu\text{m}$, 図 9(c)の中央近傍で $19\mu\text{m}$, 図 9(d)の表面近傍で $83\mu\text{m}$ であった。

Fig.8 Cross section of as-cast strip, observed at casting direction

Fig.9 Cross section of as-cast strips, experimental 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 接合部の評価

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 10 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 $50\sim70\mu\text{m}$ 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 $10\mu\text{m}$, Mg に Al が固溶した相が $10\mu\text{m}$ であった。 各元素のマッピング分析結果を図 11 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。 接合強度は, 混合層厚さに依存し, $4\sim9\mu\text{m}$ 程度が最適とされる⁽⁷⁾。 本研究で作製したクラッド材の混合層厚さは $50\sim70\mu\text{m}$ であり, より高い接合強度を得るために, 混合層厚さの制御が必要であると考えられる。

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 12 に示す。 混合層の硬さは 200HV 以上, Mg 層の硬さは単層で作製した板と同等 80HV 前後であった。

Fig.10 EPMA analysis of experimental No.② (a) Backscattered electron image (b) area analysis

Fig.11 EPMA analysis of experimental No.② (a) Al (b) Mg (c) Zn (d) Superposition

Fig.12 Vickers hardness for thickness direction

4. 結 語

横型タンデム双ロールキャスターを用いて、第1ロールでMg合金薄板材を作製し、第2ロールでAl合金薄板を作製し、第3ロールで異なる2つの合金を積層させる工程を行う実験を行った結果、本研究で用いた横型タンデム双ロールキャスターでクラッド材の製造が可能である事を明らかにした。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50~70 μ m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 μ m、MgにAlが固溶した相が10 μ mの範囲である事を明らかにした。

文 献

- (1) 斉藤雅寛, 浅川基男, 小林勝, 加藤正仁, 松崎邦男, 小林寧, "圧延接合によるAZ61合金Alクラッド板の最適作製プロセスの検討(Mg/Alクラッド板の作製及び性質究明 第3報)", 第62回塑性加工連合講演会講演論文集, 334,(2011), pp. 307-308.
- (2) 斉藤雅寛, 浅川基男, 小林勝, 加藤正仁, 松崎邦男, "Mg/Alクラッド板の接合方法の違いが界面に及ぼす影響", 軽金属学会第120回春季大会講演概要, 189 (2011), pp. 377-378.
- (3) R. Nakamura, T. Yamabayashi, T. Haga, S. Kumai, H. Watari., "Roll caster for the three-layer clad-strip", *Archives of Materials Science and Engineering*, Vol.41, No.2 (2010), pp. 112-120.
- (4) 羽賀俊雄, "ロールキャスティング法による複合材料の作製", 日本機械学会 2000 年度年次大会講演論文集(III), No.00-1 (2000), pp. 379-380.
- (5) 羽賀俊雄, 高階健太, "双ロールキャスターによるクラッド材の作製", 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, "縦型双ロールキャスターによるクラッド材の作製", 軽金属学会第122回春季大会講演概要, 119 (2012), pp. 237-238.
- (7) X P ZHANG, M J TAN, T H YANG, H J XU and J T WANG, "Bonding strength of Al/Mg/Al alloy tri-metallic laminates fabricated by hot rolling", *Indian Academy of Sciences*, Vol.34, No.4, (2011), pp. 805-810.