

# 超音波を利用した双ロールストリップキャストによる 微細化マグネシウム合金板材の高速製造

群馬大学大学院工学研究科 生産システム工学専攻  
准教授 渡利 久規

(平成 17 年度研究開発助成 AF-2005024)

**キーワード:** マグネシウム合金, 双ロールキャスト, 超音波, 急冷凝固

## 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。

また、自動車産業界においては、欧州において自動車業界の自主的な協定が結ばれており、自動車 1 キロ走行当たりの二酸化炭素の排出量を 2008 年までに（日本と韓国は 2009 年までに）140 グラム以下に押さえないとしない、いわゆる ACEA 協定がある。しかし、この実現にはさらなる努力が必要といわれており、このため自動車会社各社はアルミ合金やマグネシウム合金の利用に積極的に取り組む動きが見られる。しかし、幅の広い成形性の優れたマグネシウム合金を経済的に製造できない点は、未だに解決すべき課題のひとつであり、近年、マグネシウム合金の双ロールキャスト（TRC）による研究が活発になってきている<sup>1)-5)</sup>。

本研究では、横型方式の双ロールキャストによるマグネシウム合金の製造技術において、超音波を利用して溶湯を振動させ、微細な組織を有する Mg 合金を製造することを試みた。このような実験について報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 横型双ロールキャスト

図 1 に示すような横型双ロールキャストのノズル部分に、超音波振動を与えることで凝固する際の結晶を微細にすることを試みた。ロールキャスト、タンディッシュの諸寸法を表 1 に示す。L<sub>0</sub> はロールと溶湯の接触弧長距離を表している。超音波発生装置は周波数 15kHz、定格 1500W、溶湯とホーン接触部は、φ 10mm の円形状である。

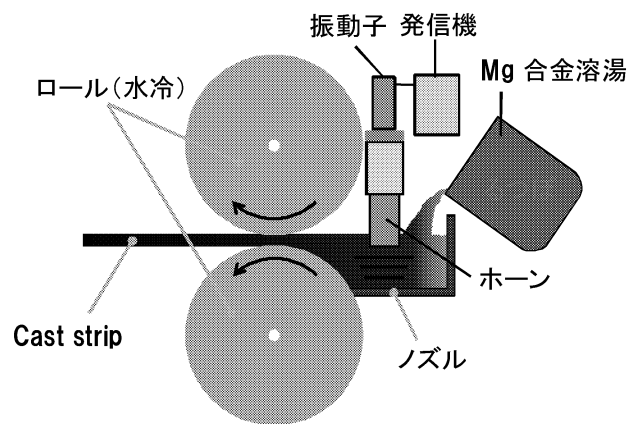


図 1 横型双ロールキャスト概略図

ホーンの取り付け位置は、できるだけロールの近い位置に取り付けることとし（溶湯面より 40 mm 下方の位置）、凝固時の金属溶湯中に超音波振動が伝達されるようにしている。

表 1 横型双ロールキャスト諸寸法

ロール	
材質	純銅
上ロール[mm]	φ 300*150
下ロール[mm]	φ 300*150
ロール周速[m/min]	0-150 (max)
タンディッシュ	
材質	断熱材, 軟鋼
容積[mm <sup>3</sup> ]	7.0*10 <sup>5</sup>

表 2 A Z 31 双ロール鋳造実験条件

注湯温度 [°C]	630
ロール周速 [m/min]	5, 10, 15, 20
ロールクリアランス [mm]	2.0~4.8
ロール接触弧長 Lc [mm]	50

表 3 A Z 61 双ロール鋳造実験条件

注湯温度 [°C]	615
ロール周速 [m/min]	6, 9, 11, 15
ロールクリアランス [mm]	2.2~4.7
ロール接触弧長 Lc [mm]	50

本研究では、AZ31およびAZ61マグネシウム合金に対して、双ロールストリップキャストの試験を行った例を紹介する。この場合の試験条件を表2、表3に示す。本実験では特に、ストリップキャストされた板材の結晶組織の微細化の程度や表面性状、温間圧延に適したロールキャスト材を製造するための製造条件等について考察を行った。

なお、本実験ではSF<sub>6</sub>などのシールドガスは特に使用せずに大気中で溶解を行っている。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 ロール周速と板材の板厚の関係

横型双ロールキャストにより製造したAZ61板材の板厚とロール周速の関係を図2に示す。図2の実線は一次元の凝固理論より予測した、凝固時間から得られる理論板厚さである。各ロール周速におけるロールギャップは、予測板厚さと双ロールキャストの剛性を考慮し、予測した板厚さに対する圧下率を30%と一定にするように設定した。この条件下で実際に得られたキャスト材の板厚さを○印で表している。図2より、ロール周速が大きくなると板厚さは減少していく。また予測板厚さに対して圧下率30%となるようなロールクリアランスの設定をしたところ、実際に得られた圧下率は点線に示すように、予測板厚さに対して35%の圧下率となっていたことがわかる。AZ31の場合も同様な結果が得られている。

#### 3.2 板材の表面性状

図3および図4に、本実験で作製した板材の一例を示している。図3に示すようにシールドガ

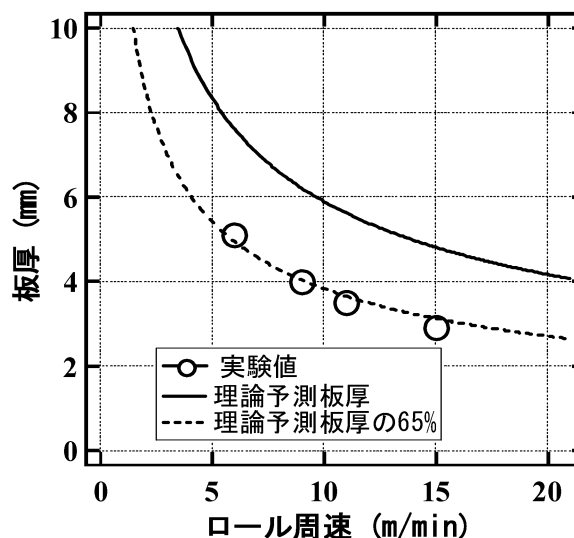


図 2 ロール周速と板厚さの関係

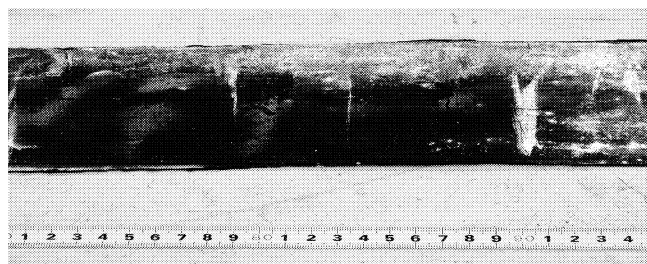


図 3 製造された板材 (AZ31, ロール周速 9m/分)

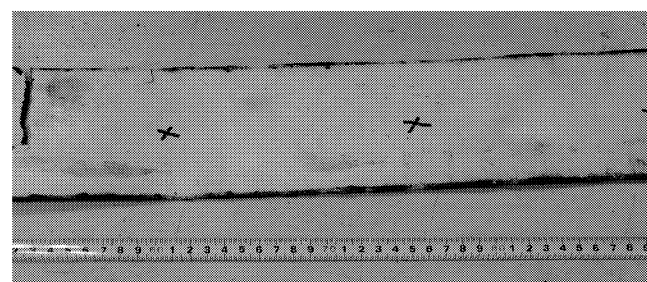


図 4 製造された板材 (AZ61, ロール周速 9m/分)

スをしないう場合、マグネシウムの双ロールキャストにおいては、鋳造後の板材の酸化により板材の一部表面に酸化マグネシウム(MgO)の皮膜が生成される。この酸化皮膜は、板材の機械的性質に直接影響を与えるものではないが、適切なシールドガス(Fluorinated ketone ガスなど)の使用によって回避することができる。

表3の条件の中ではロール周速が15m/分のとき、板材の表面に、板厚方向に向かって深さ100μm程度の微細なクラックが発生している。このような表面の微細なクラックは凝固時の冷却速度に依存しているものと

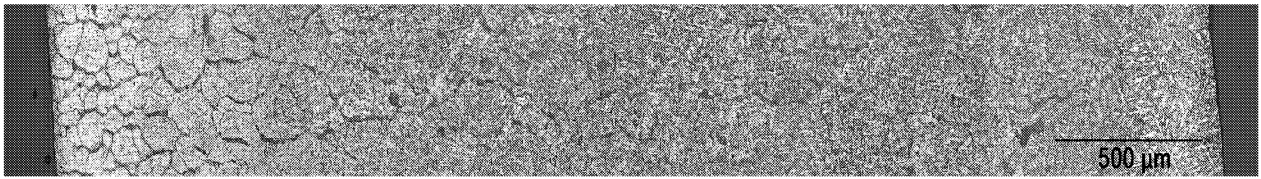


図5 製造された板材 (AZ61, ロール周速 9m/分, 振動なし)

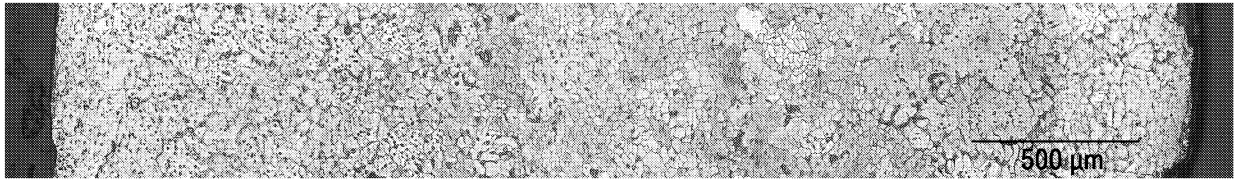


図6 製造された板材 (AZ61, ロール周速 9m/分, 振動付加有り)

考えられるが, 他のロール周速では, 板材表面の微細なクラックは観察されていない。

### 3・2 板材の結晶組織

図5および図6はそれぞれ, ロール周速  $V=9\text{m/分}$  の場合の板材の結晶組織を示している. 図5の場合の結晶粒径はおよそ  $50\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$  で, ロール周速  $V=9\text{m/分}$  の場合には, 厚さの方向全体に等軸晶の組織が分布していて, ロールと溶湯が接触するところの結晶粒径は, 比較的大きく, 内部は半凝固でやや球状化して微細な組織になっている. 一方, 同じ条件で, 超音波振動がある場合には, 結晶粒径が小さくなっていることがわかる. 特にロールと溶湯が接触するところの結晶組織の微細化には超音波振動の効果が大きい. このときのロール表面の結晶組織を拡大してみると, 図7のようになっている, 図7(a)と図7(b)を比較すると, 場所によって結晶組織が  $1/2\sim 1/4$  程度に小さくなっていることが確認できる.

超音波加振の場合に, 板材の内部のすべての結晶が微細になっているのではなく, 溶湯全体に振動を伝達することが困難である. AZ31の場合にも, 図8に示すように超音波によって組織は微細化されているが, 板材内部まで超音波振動が伝わっていないため, 板材全体を微細にすることは困難なようである.

しかしながら, 図7および図8に示すように, ロールに接触する近傍近くの結晶組織を

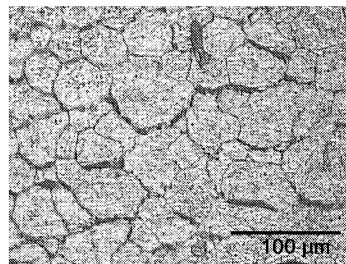


図7(a)超音波加振なしの場合の結晶組織晶 (AZ61, ロール表面)

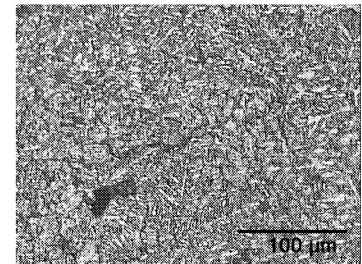


図7(b)超音波加振有りのときの結晶組織晶 (AZ61, ロール表面)

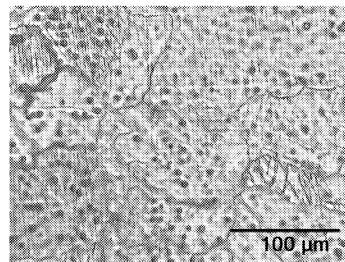


図8(a)超音波加振なしの場合の結晶組織晶 (AZ31, ロール表面)

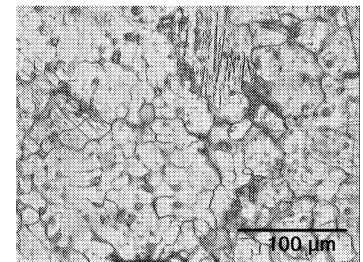


図8(b)超音波加振有りのときの結晶組織晶 (AZ31, ロール表面)

微細にする一定の効果は確認できた.

また, 表面近くの大きな組織と対照的に, 板の中心部において板厚さのおよそ  $5/10$  程度の幅でバンド状の微細な結晶組織が存在している. この微細な結晶粒はおよそ  $10\mu\text{m}$  程度であり, 半凝固状態の組織であると考えられる. しかしながら, 通常の半凝固状態の結晶組織の粒径よりかなり小さい. このように, 微細な結晶のある領域とその外側の大きな結晶組織を有する板材では, 凝固シエルの

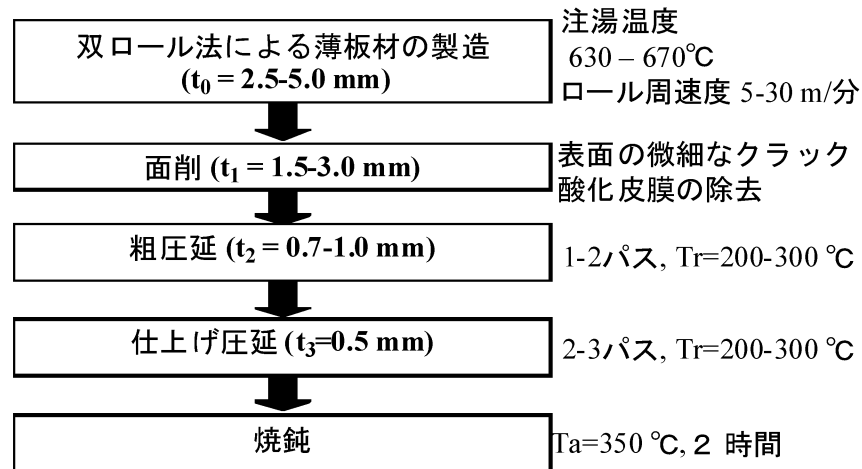


図9 展伸材製造プロセスの一例

強度に差があるため、不適切な圧下を加えたことによってバンドの境界でクラック（板の剥離）が発生するケースもあった。

### 3・3 展伸材の製造プロセス

図9に超音波加振によって得られた、微細な組織を有するMg合金板材を温間圧延して展伸材にする製造プロセスの一例を示している。従来のDCキャストイングよりも圧延工程はかなり軽減されていることがわかる。図5における双ロールストリップキャストイングの後の面削工程については、健全な板材の作成のために必要ではあるが、板表面の微細なクラックの発生さえ回避できれば、酸化皮膜はシールドガスの使用で防げる。いずれにしても面削工程は生産コストを考えると省略したいところである。双ロール法による展伸材の製造プロセスにおいては、表面切削の必要のない双ロール鋳造技術の開発は重要であり、これは解決されるべき現実的な課題であると言える。

## 4. 結論

双ロールキャストイングにおいて、凝固中の溶湯に超音波振動を加えて微細な組織を有するMg合金キャスト材を製造した。これを温間圧延して展伸材を作製すれば得られた板材は、従来の板材よりも微細な組織を有することが期待できる。得られた結論は以下のようになる。

- (1) 凝固中のAZ31およびAZ61に超音波振動を加えることによって結晶組織は微細になる。しかしながら凝固中

の溶湯全体に振動を与えるための振動系の構築が重要であり、今後の課題である。

- (2) 凝固中のAZ31およびAZ61に超音波振動を加えることによって結晶組織はおおよそ1/2~1/4程度は微細になる。今後は、周波数の影響やロール周速の影響や、ホーンの位置の影響などについて調査していく。

謝辞

本研究は天田金属加工機械技術振興財団（平成17年度研究開発助成）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) H. Watari et.al. : Proc. of the 4th International Conference on Industrial Tools 'ICIT2003', (2003), 184-187.
- 2) Rachanee ほか: 平 16 春塑加講論, (2004), 223-224.
- 3) H. Watari et.al. : J. Mater. Process. Technol. 155-156, (2004), 1662-1667.
- 4) 本村ほか: 平 17 春塑加講論, (2005), 317-318
- 5) 松崎ほか: 第 56 回塑加連講論, (2005), 1-2.
- 6) 渋谷ほか: 第 56 回塑加連講論, (2005), 5-6.
- 7) H. Watari et.al. : Key Engineering Mater. Vols. 274-276, (2004), 379-384.
- 8) Watari et.al. : Proc. of the 8<sup>th</sup> ESAFORM Conf. on Material Forming, (2005), 1103-1106.