マグネシウム合金等のリサイクル化の調査研究（第２報）

高野　格*　　田辺　寛*　　須貝　裕之*　　折笠　仁志*

Investigation and Study on Recycle Technique of Magnesium Alloy and other materials.

TAKANO Itaru, TANABE Hiroshi, SUGAI Hiroyuki and ORIKASA Hitoshi

抄　録

マグネシウム合金は、携帯電話やノートパソコン、ＭＤプレーヤーなどの筐体への利用が進んでおり、近い将来、**これらの製品は**マグネシウム合金板を使ったプレス成形品の採用が予想されることから、現段階からプレス成形の**過程で発生するスクラップや端材を対象としたリサイクルを積極的に考えていく必要がある。そこで、本研究では、展伸材を中心としたマグネシウム合金のリサイクルの可能性について検討するため、マグネシウム合金の市中回収品を想定した溶解実験、連続鋳造スラブの製作、リサイクル圧延板の試作とその性能評価を行った。その結果、連続鋳造を行うことによって、欠陥のないスラブが作製可能であり、そのスラブより製作した圧延板もプレス加工を行う上で十分な成形能を有することを確認した。**

１　緒言

近年、携帯電話、ノートパソコンなどの筐体や自動車部品を中心に需要が拡大しているマグネシウム合金は、実用金属の中で最も比重が小さく、比強度、振動減衰性、耐くぼみ性においても優れた特性を有し、さらに、再溶解に要するエネルギーが小さいことから、リサイクル面でも注目を浴びている。現状のマグネシウム合金による製品のほとんどは、ダイカストやチクソモールディングにより製作されているが、後工程で手作業によるパテ埋めや研磨が必要となるために生産性が悪く、また、それらの製法では板厚の薄い成形に対して限界があると言われている。そのため、マグネシウム合金板を使ったプレス成形に対するニーズが高まっており、プレス加工が量産化に発展した場合、大量のブランクの端材やスクラップが発生すると予想されることから、現段階からマグネシウム合金の**スクラップや端材を対象としたリサイクルを積極的に考えていく必要がある。そこで、展伸材を中心としたリサイクルの可能性について検討を行うため、マグネシウム合金の基礎的な溶解・鋳造試験、リサイクル圧延板の試作と評価を行った。**

*研究開発センター

２　実験方法

２．１　実験材料

リサイクルの対象材料としては，マグネシウム合金の展伸材として最も一般的な AZ31B **の圧延板を使用した。表面処理や塗装を全く行っていない材料をバージン材とし、市中回収品を想定した塗装材は、圧延板の片面に塗装を施して供試材として用いている。表１に供試材について示す。**

２．２　溶解・鋳造方法について

昨年度の実験において、金型鋳造スラブを作製し、巣やピンホールなどの鋳造欠陥が発見されたことを受けて、今回の実験では鋳造方法を変更し、連続鋳造法を採用した。図１に連続鋳造法の概要について示す。連続鋳造においては、溶湯を湯だまり（tundish)**から無底水冷鋳型（**mold**）に注入し、鋳型面から凝固殻層を形成させて、殻内に溶湯を**

表１　供試材について

	バージン材	市中回収品を想定した塗装材
材質	AZ31B	AZ31B
板厚	0.6mm	0.6mm
表面処理	無し	無し
塗装	無し	有り（プライマー化粧塗装クリア塗装）
塗装膜厚	－	80μm
リサイクル材と合金インゴットの割合	60%	3%～40%

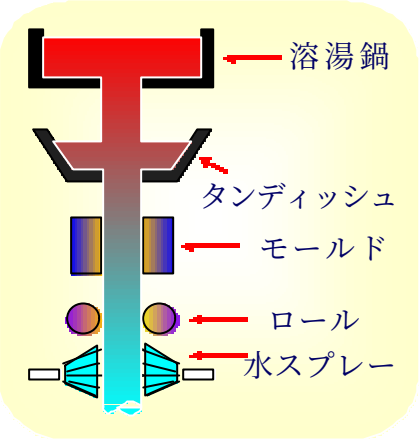

図１　連続鋳造について

図２　連続鋳造機について

注ぎ込み、やがて熱収縮により鋳型面との摩擦が減少するため、ロールによりインゴットを引き下げながら、層状に凝固させる。そして、鋳型下で冷却水スプレー等で完全凝固させる。連続鋳造法の特徴としては、

１．凝固偏析が少ない。

２．組織が均一である。

３．歩留まりが良く、大量生産に向く。

等が上げられる。

図２に今回使用した連続鋳造機の外観を示す。溶解には容量5kg のグラファイト製るつぼを使用し、るつぼは高周波により誘導加熱ができるような構造となっている。また、溶解の雰囲気はアルゴン雰囲気で行っている。図３に鋳造直後の製品を示す。鋳造後の製品寸法は幅 50mm ×高さ 5mm となっている。

２．３　圧延実験方法

金型鋳造スラブの圧延板材へのリサイクル利用に対する検討については、昨年度の研究で可能で

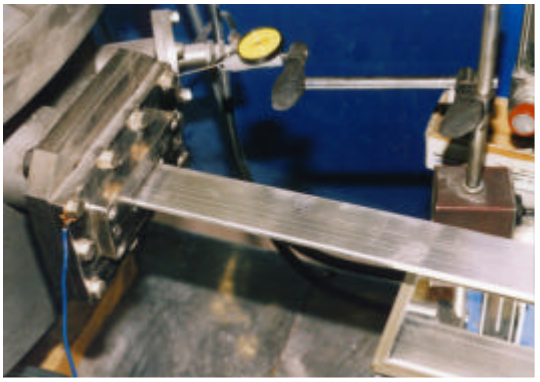

図３　鋳造後の製品

図４　圧延工程の概要

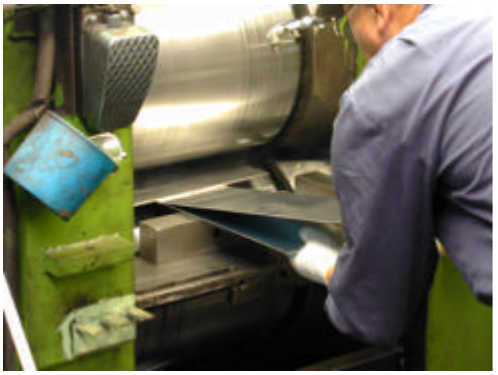

図５　圧延作業

あると判断された。今年度行った連続鋳造スラブに関しても同様に圧延を行い、板の性能評価を行うべく、圧延板の試作を行った。評価用試作板の板厚は 0.8mm とした。スラブ自体の板厚が 5mm と薄いため、圧延は、仕上げ寸法まで加工する二次圧延のみで行っている。圧延機は、2段ロール圧延機を用い、バッチ式電気熱処理炉により1パスごとに加熱して圧延を行った。圧延板の仕上がり寸法は、幅 200mm ×長さ 450mm 程度としている。図４に圧延工程の概要、図５に圧延作業を示す。

２．４　試作スラブの解析・評価方法

リサイクル材を使用して製作したスラブについて、X線透過観察、化学成分分析、金属顕微鏡による組織観察、硬さ試験を実施した。X線透過観察には㈱東芝製X線テレビシステム（EXS-150-4）、成分分析には㈱リガク製 ICP 発光分光分析装置(JOBINYVON JY138 ULTRACE)、硬さ試験には㈱ア

カシ製マイクロビッカース硬さ試験機（MVK-H2）をそれぞれ用いた。ビッカース硬さ試験においては試験荷重を 0.98N としている。

２．５　試作圧延板の解析・評価方法

リサイクル材を溶解して製作したスラブを使い、板厚 0.8mm まで圧延を行った板材について、表面目視検査、金属顕微鏡による組織観察、硬さ試験を行った。また、引張試験及び深絞り成形性試験による加工性の評価を行った。

引張試験は、圧延方向に JIS　Z　2201 による13B号試験片を採取し、精密万能試験機（インストロン社製）によりクロスヘッド速度 5mm/mim の条件で、室温から 225 ℃の温度範囲で行い、引張強さ及び破断伸びを求めた。

深絞り成形性試験は、油圧プレス（容量 200kN）に取り付けたプレス金型（パンチ径 40mm，ダイス穴径 42mm，パンチ先端及びダイス肩の丸味半径 4mm）により円筒深絞り試験を行い、限界絞り比 LDR を求めた。成形条件は、ダイス及びしわ押さえとも 150 ～ 250 ℃の温度範囲で行った。また、パンチ温度は 30 ℃、絞り速度については 約 2.5mm/s、しわ押さえ力は 19.6kN の一定条件で加工を行った。また、潤滑剤については、厚さ 0.05mm のテフロンシートをブランクの両面に使用した。

３　実験結果及び考察

３．１　スラブ試作結果

３．１．１　表面状態およびＸ線透過観察結果

バージン材を用いて試作したスラブ表面の外観写真を図６に示す。スラブ表面にはオシレーションマークと呼ばれる凝固後に材料を送った痕跡が認められる。また、グラファイト製のるつぼから付着してきたと思われる黒色の斑点が各所に観察できたが、外観上、鋳造欠陥は確認できなかった。そこで、Ｘ線透過試験により、内部欠陥の有無を観察したが、明らかな欠陥は確認できなかった。

次に、市中回収品を想定した塗装材の鋳造実験結果について図７に示す。これは、塗装材を20%溶解した後、るつぼ中に凝固した塊を示す。 このように塊には塗装材の主成分であるカーボンが溶湯中に分散して、マグネシウム溶湯と分離せず、

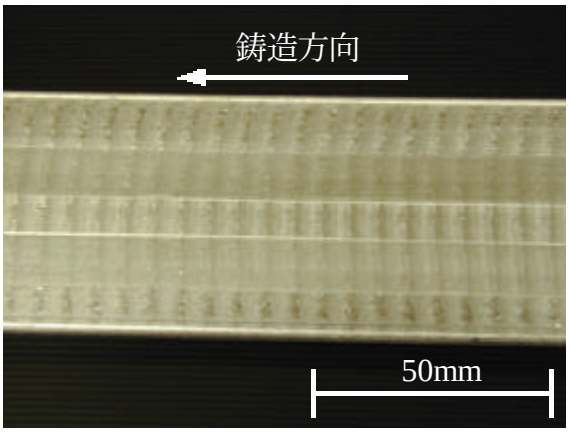

図６　バージン材の外観

図７　塗装材 20%溶解後にるつぼに残った塊

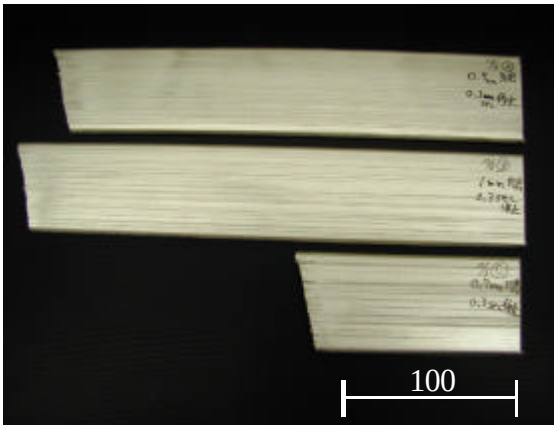

図８　鋳造途中で破断したスラブ

事実上、鋳造は不可能であった。そこで、塗装材の成分をバーナーで燃焼除去した後に、リサイクル材を 3%溶解して、鋳造した例も図８に示すが、連続したスラブは作製できず、途中破断した。このように、市中回収品を想定した塗装材については、塗装材の完全除去と溶湯の十分な精錬が必要と考えられる。

３．１．２　化学成分分析結果

表２にバージン材を使用したスラブから採取し

表２　バージン材スラブの化学成分分析結果

	Al	Zn	Mn	Fe	Si	Cu	Ni	Ca	C	Mg
バージン材	3.04	0.97	0.27	0.006	0.012	0.004	0.002	0.0004	0.0005	Bal.
JIS H 4203 MP1 (AZ31相当)	2.5 ～ 3.5	0.5 ～ 1.5	0.15 以上	0.010 以下	0.10 以下	0.10 以下	0.005 以下	0.04 以下	—	Bal.

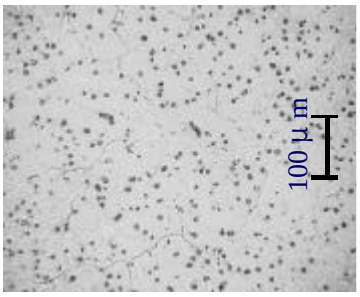

図９　バージン材スラブの金属顕微鏡写真

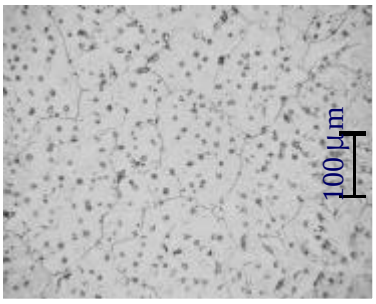

図１０　塗装材スラブの金属顕微鏡写真

たサンプルの化学成分分析結果を示す。表中に JIS H 4203 による MP1（AZ31 相当）の化学成分規定値を併せて示すが、JIS 規格により定められている値を満足している。今回の試作において、AZ31B リサイクル材および AZ31B 合金インゴットを素材に用いることで、他の成分を添加して成分調整を行うことなく、化学成分規格内のリサイクルスラブを製作することが可能だった。

３．１．３　組織観察・硬さ試験結果

図９から図１０に試作したリサイクルスラブの金属顕微鏡による組織観察写真を示す。図９はバージン材、図１０は塗装を燃焼除去した材料によるスラブ（以下塗装材）を示している。両者とも内部組織は、マグネシウム合金特有の典型的な鋳造組織を呈しているが、塗装材スラブの方が $Mg_{17}Al_{12}$ の化合物相が若干多いように見える。バージン材の観察断面には、金型鋳造スラブに観察されたような欠陥は確認できなかったが、塗装材についてはポロシティが若干見受けられた。バージン材のスラブの硬さは、45 ～ 54(Ave.49)HV0.1 であった。

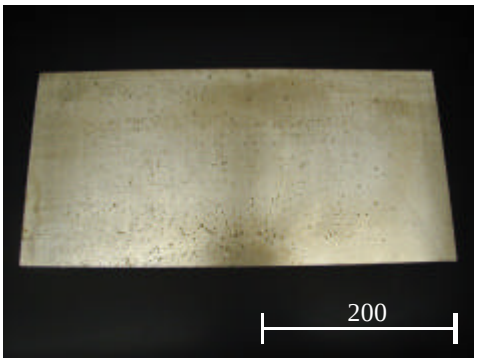

図１１　圧延板の外観

図１２　残留グラファイト

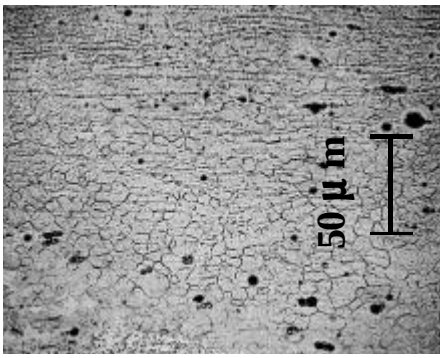

図１３　圧延板の金属顕微鏡写真

３．２　圧延材試作結果

３．２．１　表面および組織観察・硬さ試験結果

図１１に作製した圧延板を示す。圧延板の表面性状としては、グラファイトの付着したままのスラブを圧延したことから、黒色の斑点状に残留グラファイトが認められた（図１２）。これらは、圧延前に予めスラブを面削するか、圧延後にウェットブラスト等の物理的剥離を行えば、除去可能である。

圧延材焼鈍後の金属顕微鏡組織を図１３に示す。結晶粒径 20 μ m 程度の焼鈍組織が得られている。

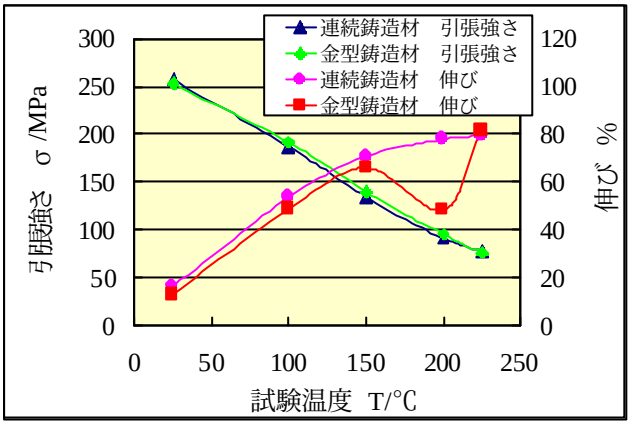

図１４　スラブ別の引張試験結果

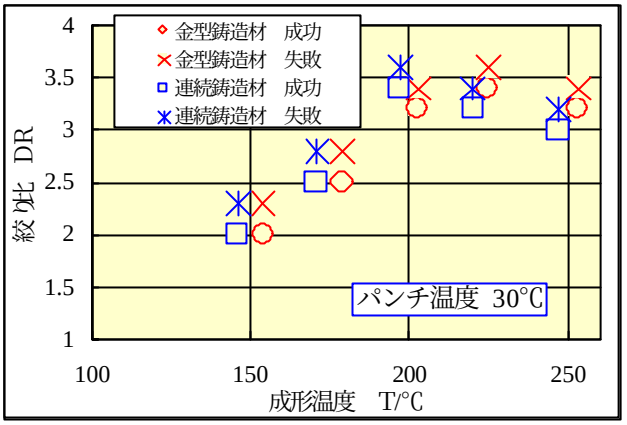

図１５　スラブ別の深絞り成形性試験結果

圧延材の硬さは，53 ～ 62（Ave.57）HV0.1 であった。

３．２．２　引張試験結果

図１４に今回試作した連続鋳造スラブを圧延した板材について、試験温度を変化させた場合の温度と引張強さ及び伸びの関係を示す。比較対象として、昨年度実験した金型鋳造スラブを圧延した材料の試験結果を同グラフ中に併せて示した。連続鋳造スラブの圧延板の引張強さは、試験を行った温度域において、金型鋳造スラブの圧延板とほぼ同じ値を示した。また、破断伸びについては、金型鋳造スラブによる圧延板は、昨年度の実験結果から 150 ℃以上の領域において不安定な傾向が認められたが、連続鋳造によるスラブを圧延した材料については、室温から 225 ℃までの温度域において安定した伸びが得られた。これは、スラブ自体が欠陥のない安定したものになったことが理由として考えられる。

３．２．３　円筒深絞り成形性試験結果

深絞り成形性試験の評価としては、限界絞り比(LDR)で行っており、その結果を図１５に示す。絞り比(DR)とは、素材ブランク径をパンチ直径で割った値で、絞り比が大きいほど絞りやすいと言えるが、図１５によると連続鋳造スラブを使った圧延板の絞り加工性は、成形温度 200 ℃において限界絞り比3.4が得られており、昨年度実験を行った金型鋳造材と同等の成形能を有することが確認された。また、金型鋳造スラブを使った圧延板は、成形温度 225 ℃において最大の限界絞り比が得られていることから、連続鋳造材を使った圧延板は、より低温側から成形可能であることが確認された。

連続鋳造材を使った圧延板は、引張試験で安定した結果が得られており、深絞り成形性については、金型鋳造スラブを使った圧延板と同等の限界絞り比が得られていることから、表面性状に大きく課題を残す金型鋳造スラブによる圧延板とは異なり、プレス加工用圧延板としてのリサイクルに対し十分な可能性があると考える。

４　まとめ

(1)マグネシウム合金のリサイクル材を使った連続鋳造スラブを作製し、リサイクル圧延板の試作を行った。

(2)市中回収品を想定した塗装材の溶解・連続鋳造においてすべての条件で鋳造が不可能だった。

(3)連続鋳造スラブを使用したバージン材の圧延板において、絞り性は限界絞り比で LDR3.4 と非常に良好であった。また、引張試験の結果、金型鋳造材と異なり高温域においても安定した伸びが確認された。

また，今後の課題として以下の項目があげられる。

(1)市中回収品（塗装材）の溶解において、精錬工程を加えた場合、連続鋳造が可能であるかどうか。

(2)塗装を低コストで完全剥離する方法（薬剤，物理的剥離）

参考文献

1)日本マグネシウム協会：第２回マグネシウムプ

レス成形セミナーテキスト，p.1（2001.3.8）
2)石元：2000 マグネシウムマニュアル，日本マグネシウム協会，（2000）
3)新潟県工業技術総合研究所：工業技術研究報告書，p39 ～ p43，No.30，（2001）