マルチパス摩擦撹拌プロセスと圧延によった難燃性マグネシウム合金板の成形性

1. 緒 言

環境負荷低減を目的に輸送用機器を始めと した軽量化が進められている. 軽量化には薄肉 化や軽金属材料への転換が考えられ, 実用金属 中最軽量のマグネシウム合金が注目されてい るが,発火の危険などの問題もある.一方,1 ~2mass%のCa添加によりマグネシウム合金の 発火点を高くし,難燃性を向上させたマグネシ ウム合金が開発され¹⁾,用途開発が進められて いる.しかし,マグネシウム合金は室温での成 形性が著しく乏しい.このような合金では,結 晶粒の微細化を行うことにより,高強度化,成 形性の向上が可能であると考えられる.

著者らは先に結晶粒を微細化技術として知 られている摩擦攪拌プロセス(Friction Stir Processing:FSP)で難燃性マグネシウム合金も 結晶粒が微細化することを報告した²⁾.しかし, FSPによる結晶粒微細化は1パスではその範囲 が限られるため,圧延板にするためには複数回 のFSPを行い微細化領域の拡大が必要である. FSPを複数回行うマルチパス材に関する検討は 少ないのが現状である.

本研究では難燃性マグネシウム合金板を用 いて、マルチパス摩擦攪拌プロセス³⁾(Multi Pass Friction Stir Processing: MP-FSP)を用 い、得られたMP-FSP板を圧延した. 圧延板の機 械的性質および成形性について検討した.

2. 供試材および実験方法

供試材にはAZ31マグネシウム合金に1%Caを添 加した難燃性合金である AZX311マグネシウム合

日大生産工(院)	〇和田	清秀
日大生産工	仲間	大
日大生産工	加藤	数良

金押出板(板厚3mm)を幅50mm,長さ150mm に機械 加工したものを用いた.また,比較材として板 厚3mmのAZ31マグネシウム合金押出板を同一寸 法に機械加工して用いた.**Table 1**に供試材の化 学組成を示す.回転工具には炭素工具鋼(SK105) 製を使用し,ショルダ径20mm,ショルダ角を4°, プローブはM6,長さ2.7mmに機械加工したもの を用いた.MP-FSP条件は先の報告²⁾で結晶粒 が最も微細となった条件(回転数1600rpm,送り 速度3.0mm/s,予熱時間10s)とした.

Fig.1にMP-FSPの概略図を示す.FSPを行うと 組織の流動により回転方向と送り方向が同一 のAS側に欠陥が発生しやすいため,前パスのAS 側を後パスで撹拌させる目的で,2パス目以降

Table 1 Chemical compositions of base metals (mass%).

Materials	AI	Zn	Mn	Si	Fe	Са	Mg
AZ31	3.1	0.85	0.32	0.0089	0.001	0.0039	Bal.
AZX311	3.1	0.73	0.34	0.0236	0.027	1.0	Bal.



Fig.1 Schematic illustration of multi pass friction stir processing.

Mechanical Properties of Flameproof Magnesium Alloy by Multi Pass Friction Stir Processing and Formability of its Rolled Sheet Kiyohide WADA, Dai NAKAMA and Kazuyoshi KATOH



Fig.2 Macrostructure of as MP-FSP specimen.

2mm

はAS側にツールを移動させてFSPを行った.ツ ールの移動量は5mmとした.(1パスごとに約1mm 幅の重なり部が撹拌部で生じる)FSPは5パス行 い、パス間の冷却は空冷とした.

得られた試験片の外観観察,組織観察,移動 方向に対して平行および垂直に採取した JIS14B号試験片による引張試験をいずれも室 温で行った.

圧延板は、得られた MP-FSP 材を FSP の送り 方向と垂直方向に、母材と AZ31を押出方向と 垂直方向に圧下率を10%で熱間圧延(573K)とし、 最終板厚1mmの圧延板を作製した.

得られた試験片の組織観察, 圧延方向と0°, 45°,90°に採取した試験片による引張試験を 室温で行った.また,成形性の評価方法はエリ クセン試験により,試験温度を 300K,473K, 573K とした.

3. 実験結果および考察

3.1マルチパス摩擦撹拌プロセス

図は示さないが,MP-FSPの外観に欠陥はなく, 円弧状の模様に後パスのFSPが上から重なる様 相が観察された.また,裏面ではプローブ径と 同じ幅の撹拌された領域に変色が確認できた.

Fig.2にMP-FSPの横断面巨視的組織を示す. FSPされた領域は欠陥のない撹拌部が連続的に 形成されていた.オニオンリングのAS側は塑性 流動により後パスのオニオンリング上部へ流 動しているのが観察された.

Fig.3に撹拌部の横断面微視的組織を示す. 撹拌部内は動的再結晶により,母材部と比較し て等軸な微細結晶粒を示した.オニオンリング 中央の組織は1パス目(Fig.3(c))と比較して5パ ス目(Fig.3(a))の組織がより等軸な組織となっ



Fig.3 Microstructures of stir zone.



ているのが観察された.また,Fig.3(b)に後パ スのオニオンリングとの境界部の組織を示す. 境界部では撹拌部中央部と同様に等軸な微細 結晶粒を示した.2パス目以降の摩擦熱による 再結晶は認められず,撹拌領域は全体に微細な 組織であった.





Fig.4にチンマー法により測定した板厚中央 部の平均結晶粒径を示す.各撹拌部の結晶粒径 は母材部と比較して微細化でありオニオンリ ング中央部は境界部と比較して結晶粒径は微 細であった.パス数の増加に伴い撹拌部の結晶 粒は若干粗大となる傾向を示した.

Fig.5にMP-FSP材のパス方向と平行および垂 直の方向より採取した試験片の引張試験結果 を示す.MP-FSP材の引張強さは試験片採取方向 の差は小さいが、パス方向に垂直方向が強くな る傾向にあった.いずれも母材の約90%とわず かに低下し.伸びも母材に比較して約50%の値 と低下した.

Fig.6に引張試験破断後外観を示す.送り方向に対して垂直方向の引張試験片の破断はオニオンリングの境界に相当する位置にネッキングが観察され,破断位置はオニオンリング境界部に沿って破断した.また,平行方向試験片は円弧状の模様に沿った破断であった.

3.2マルチパス摩擦撹拌プロセス圧延板
Fig.7にMP-FSP圧延板の巨視的組織を示す.





20µm





Fig. 7(a) に縦断面巨視的組織を示す. 圧延前と 同様に撹拌部が連続的に形成されていた. 各オ ニオンリングのRS側には層状の微細組織が明 瞭に観察されたが, AS側で後パスのオニオンリ ングへ近づくのに伴い粗大な結晶粒が増加し, 層状組織は不明瞭となった. Fig. 7(b)に示す FSP中央部ではFSPの組織²⁾と同様に撹拌方向 に沿った規則的な円弧状の模様が観察された.

Fig.8 に圧延板の横断面微視的組織を示す. いずれの圧延板も大小の結晶粒が混在した不 均一な組織となった. 微視的組織よりチンマー 法で求めた平均結晶粒径は, 圧延前の MP-FSP を 行ったオニオンリング中央部の粒径が 12.1µm, 母材は 17.3µm, AZ31 合金は 16.5µm であった. 圧 延後の平均結晶粒径は MP-FSP が 9.9µm, 母材が 7.6µm, AZ31 合金が 22.4µm であり, AZ31 が粗 大化したのに対し, MP-FSP と母材は圧延前に比 較して微細化した.

Fig.9に圧延板の引張試験結果を示す.いず れの試験片も圧延方向の違いによる引張強さ には明瞭な差は認められなかった. AZX311は 圧延方向に対して45°の伸びが高くなる傾向 を示した.図は示さないが,MP-FSP圧延板の破 断は圧延方向に対して45°と90°はパス間の オニオンリング境界部に沿った位置で破断し た.また,圧延方向に対して0°はFig.7(b)の 円弧状の模様に沿って破断した.

Fig.10に圧延板のエリクセン試験結果を示 す.試験温度の増加に伴いエリクセン値は増大 し,全条件でAZX311合金はAZ31合金より高いエ リクセン値を示した.しかし,MP-FSP圧延板は 母材に比較してエリクセン値は低下し,約90% の値であった.

Fig.11にMP-FSPのエリクセン試験後の破断 部縦断面組織を示す. MP-FSPの破断は全条件 でパス間のオニオンリング境界部に沿って破 断した.このことは、Fig.7(a)で示したオニオ ンリングのRS側とAS側の組織の違いにより、オ ニオンリング境界に沿って破断したと考える.







Fig.11 Fracture appearance of erichsen test specimen. (573K)

4. まとめ

難燃性マグネシウム合金のマルチパス摩擦 撹拌プロセス後圧延した材料は引張強さ,伸び, 成形性ともに処理を行なわないものと比較し て若干低下したが,成形性はAZ31合金と比較し て良好な結果が得られた.

参考文献

- 1) 例えば,秋山茂: Ca添加による難燃性Mg 合金,鋳物,66,(1994),38.
- 2)和田清秀,吉原晃二,加藤数良,村井 勉: 摩擦攪拌プロセスによる難燃性マグネシ ウム合金の結晶粒微細化,軽金属学会第 116回春期大会講演概要,(2009),111.
- 3) 例えば,斎藤尚文,重松一典:摩擦撹拌プ ロセス-金属材料の新しい組織制御技術, 軽金属,57,(2007),492-498.