

アルミ合金粉末の半溶融複合加工 第2報

Complex Mashy-State Processing of Al-Alloy Powder · 2

木内 学*・杉山 澄雄*・山本 隆嗣**
Manabu KIUCHI, Sumio SUGIYAMA and Takashi YAMAMOTO

1. はじめに

粉末冶金法は、従来の溶解鑄造工程では得にくかった合金組成を、急冷金属粉を用いることにより達成できるという点で注目されている。しかし、アルミニウム合金の粉末冶金・粉末成形法は、粒子表面の強固な酸化被膜のために、完全な粒子間の結合を得ることが難しく、一般には粉末の変形度の大きな熱間押し法が成形法として用いられている。ところが、熱間押し法では広幅の板材を成形することが難しいなど、製品の形状に大きな制約を受ける。

筆者らは、半溶融加工法を応用して、急冷凝固粉の特徴を生かしたバルク材、複合材の製造および加工プロセスの開発について一連の研究を行っている。既報¹⁾²⁾ではA 5056等一般的なアルミ合金を用いた複合材の製造を試みた。本研究では、半溶融鍛造および熱間圧延により耐熱アルミ合金として知られる8%Fe-2%Mo/Al合金の板材の製造を試み、諸条件が製品の内部組織および機械的性質に及ぼす影響について調べた。

2. 実験方法および条件

表1に本実験で用いた実験条件を示す。本実験では素材として8%Fe-2%Mo/Al合金のアトマイズ粉を用いている。また半溶融鍛造は、加圧力($p=3.1\text{kgf/mm}^2$ 以上)、加圧保持時間(60 sec)、アルミ合金粉末の固相分率($\phi_c=15\sim 100\%$)で行い、圧延はロール直径250mmの同径2段圧延機を用い、圧延温度(500~600°C)、圧延速度(約0.6m/sec)で行った。

図1に実験手順を示す。まず、アルミ合金粉末を型内にいれ、所定の半溶融温度に加熱、保持した後に半溶融鍛造を行い、80mm×40mm×8~10mmの素材(プリフォーム)を作成した。次にこの素材を熱間圧延により厚さ1~3mmの板材にし、半溶融鍛造温度、半溶融鍛造圧力、圧延温度、圧下率が製品の特性に与える影響な

どを調べた。

3. 実験結果および考察

3.1 圧延条件の決定

本実験では、圧延温度範囲を500~600°Cとしているが、8%Fe-2%Mo/Al合金は高温でも比較的硬く、それ以下の温度での圧延は容易ではない。図2および図3にはこのプロセスを用いて製造した製品例と圧延時の欠陥発生例を示したが、一般に図3(a)のように圧延温度が低い場合には、素材に大きな亀裂を生じ易い。一方、

表1 実験条件

素材粉末	8%Fe-2%Mo/Al アトマイズ粉 (-250mesh)
半溶融鍛造 プレス機械 加圧力 ($p/\text{kgf}\cdot\text{mm}^{-2}$) 加圧保持時間 (t/sec)	油圧最大能力 100ton 3.1~18.3 60
圧延 ロール寸法 圧延速度 (v/sec) 潤滑 圧延機電動機	同径二段 ($\phi 250\times 110\text{mm}$) 0.6 無し VS モーター22 kw

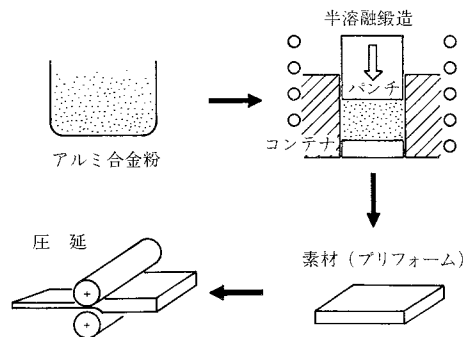


図1 半溶融複合加工プロセス

*東京大学生産技術研究所 第2部

**東洋アルミニウム㈱

圧延温度が高い場合でも 1 パスでの圧下率が低い場合には、図 3 (b) のように素材表面だけがロールに引き込まれる形となり、表面に多数の割れを生じる。これらの欠陥の発生は、素材およびロールの寸法にも依存する問題であるので、そのような見地からも検討する必要があるが、以下の実験では圧延温度を 500~600°C、1 パスごとの圧下率を 10~20% とした。

3.2 半溶融鍛造条件が素材の特性に与える影響

図 4 は 8%Fe-2%Mo/Al 合金粉末の内部組織である。粉末内に析出した鉄の結晶や鍛造組織は、急冷の効果で、共に非常に細かくなっている。図 5 は、この粉末を半溶融鍛造した素材の内部組織である。図 5 (a) は鍛造温度 $T_f=670^\circ\text{C}$ 、鍛造圧力 $p=12.5\text{kgf/mm}^2$ で半溶融鍛造を行ったものであり、液相が粒子間に十分浸透し、

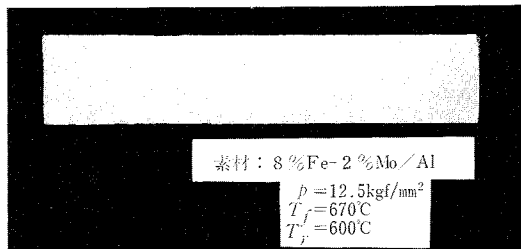
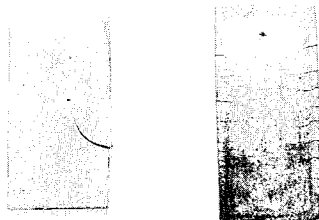


図 2 本プロセスを用いて製造した製品例



(a)

(b)

$p=12.5\text{kgf/mm}^2$
 $T_f=670^\circ\text{C}$
 $T_r=450^\circ\text{C}$
 $r=10\%$

$p=12.5\text{kgf/mm}^2$
 $T_f=670^\circ\text{C}$
 $T_r=600^\circ\text{C}$
 $r=4\%$

図 3 圧延加工時の不良例

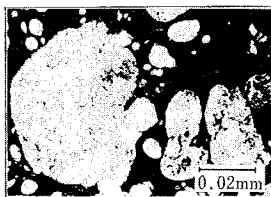


図 4 8 Fe-2 Mo/Al 粉末の内部組織

良好な結合が得られている。図 4 の粉末の内部組織と比較すると液相部分に粗大化した鉄の結晶が見られるが、これは半溶融鍛造に続いて行われる熱間圧延の工程で再び微細化させることが可能である。図 5 (b) のように加圧力が不足するもの (鍛造圧力 $p=3.1\text{kgf/mm}^2$) は粒子間に空隙が多く残っている。また、鍛造温度が $T_f=650^\circ\text{C}$ と低いもの (c) についても、同様に空隙が認められる。

3.3 製造条件が製品に与える影響

図 6 は圧延加工の総圧下率が最終製品 (板材) の引張り強さに与える影響を示したものである。なお、ここでの総圧下率とは、素材厚きの総減少率のことである。総圧下率が大きくなるに従って引張り強さも増す傾向を示している。このときの内部組織の変化を示したのが図 7 である。圧下が進むに従って組織が繊維状に伸展している様子が観察される。このように粒子を大きく変形させることにより、粒子間の結合を強化することができる。また、図 7 (c) の様に総圧下率を 80% まで上げれば、鍛造時に素材内に生じた鉄の粗大化した結晶粒も微細化す

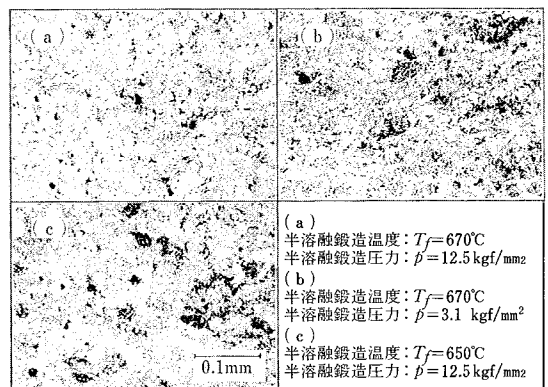


図 5 半溶融鍛造条件が素材の内部組織に与える影響

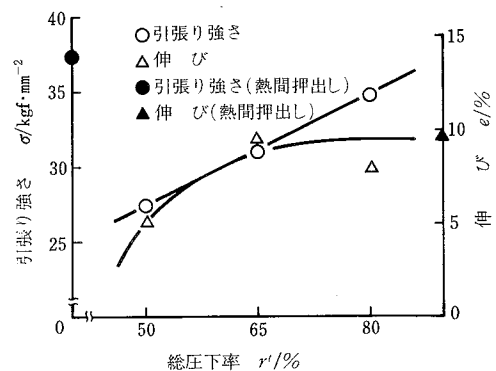


図 6 総圧下率が引張り強さに与える影響

研究速報
 ることができ、図7(d)の熱間押しで製造された製品の内部組織に近いものとなっている。また、図6の●と▲は熱間押しで製造された製品の引張り強さと伸びを示す、本プロセスを用いて製造された板材の特性値をこ

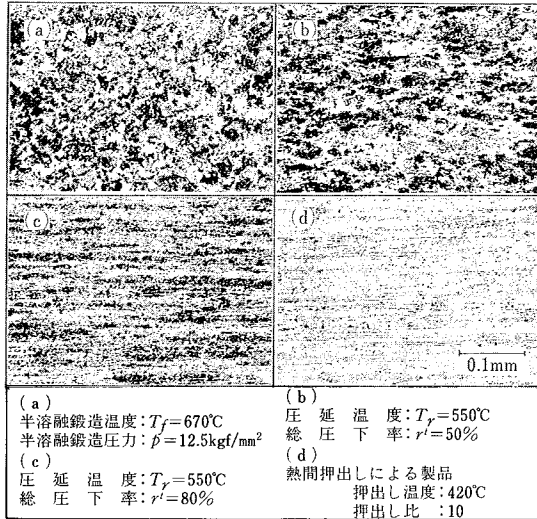


図7 圧延加工度の進行に伴う内部組織の変化

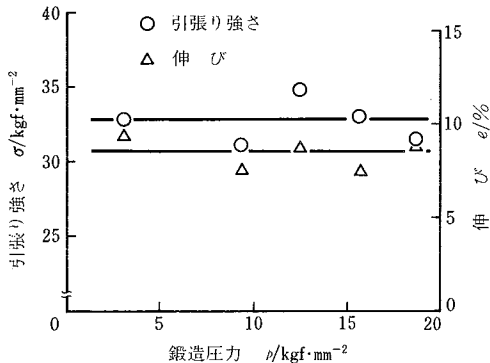


図8 鍛造圧力が引張り強さに与える影響

のデータと比較すると、伸びはほぼ満足できる値を示しているが、引張り強さは、押し比10の熱間押しで得られた製品の約93%の値を示している。

図8は、素材の半溶融鍛造圧力が圧延後の板材の引張り強さに与える影響を示したものである。引張り強さ、伸び共に鍛造圧力によってそれほど大きな影響を受けていない。図5のように、鍛造圧力が低い場合の素材には空隙が残存しており、圧延時に不良品を生じ易い。しかし図8の結果は、いったん圧延が正常に行われれば、素材内に存在した空隙は製品の強度に大きな影響を及ぼさないということを示している。図9は鍛造圧力が異なる場合の最終製品の内部組織である。両者ともに粒子が長く延伸され、十分な結合が得られている様子を観察することができる。次に、半溶融鍛造温度が最終製品の引張り強さに与える影響を図10に示す。鍛造温度が650°C以外の製品はほとんど変わらない強度を有する。これは、650°Cにおいては、液相成分がほとんどなく、鍛造時に粒子表面の酸化被膜による障害が大きく、粒子間の十分な結合が得にくいためである。図11は、それぞれ650°Cおよび670°Cで半溶融鍛造した素材を、圧延した製品の曲げ破断面の様子を示したものである。両者の内部組織は一見変わらないが、650°Cで鍛造された素材を圧延して

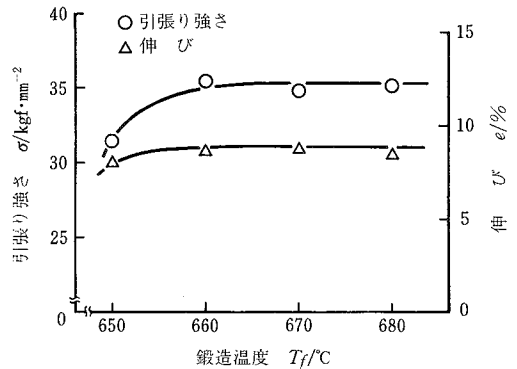


図10 鍛造温度が引張り強さに与える影響

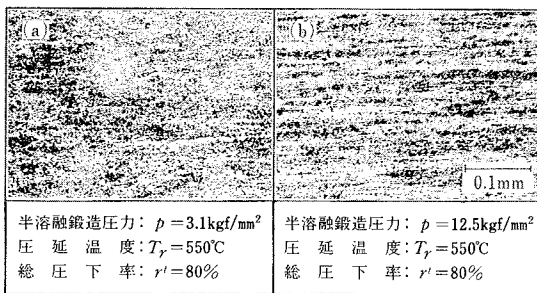


図9 半溶融鍛造圧力が最終製品内部組織に与える影響

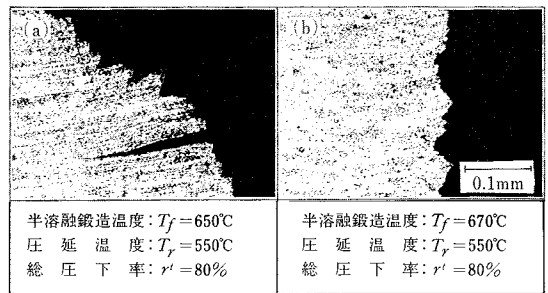


図11 最終製品の曲げ破断面

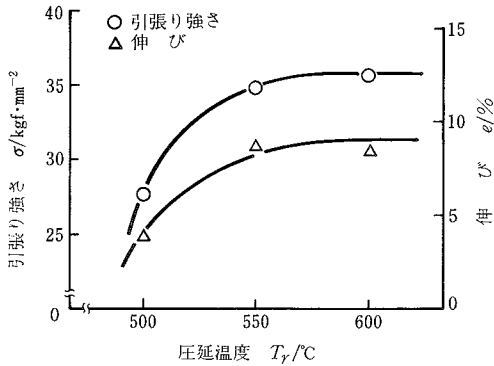


図 12 圧延温度が引張り強さに与える影響

得た製品の破断面では、粒子間界面で剥離するような形で破断あるいはクラックが生じている。これは、鍛造直後の段階でアルミ合金粒子の酸化被膜がそのまま残留し、圧延後も粒子間の結合を阻害しているためと考えられる。図 12 に、圧延温度が最終製品の引張り強さに与える影響を示す。圧延温度は素材内の合金粒子の変形に大きく関係し、温度が低ければ圧延の際に不良品が生じ易いばかりでなく、製品の引張り強さも大きく低下する。図 13 にはそれぞれ 500°C および 600°C で圧延を行った製品の内部組織を示すが、(a) は (b) に比較して粒子の変形の度合いが小さくなっている。つまりこのことは、低温での (500°C 前後) 圧延の場合は、圧延が進行しても粒子は少しづつしか伸展されず、粒子間界面のすべりが主体となって変形が進むことを示しており、そのために十分な強度を持つ製品が得にくいものと考えられる。

4. ま と め

半溶融加工法の応用に関する研究の一環として、8% Fe-2% Mo/Al 合金のアトマイズ粉末を原料として半溶融鍛造および熱間圧延を複合的に適用することにより板材の製造を行い、各製造条件の最終製品におよぼす影響を調べた結果、次のようなことが判明した。

- (1) 鍛造温度は、650°C 以上 (いわゆる半溶融状態) とすることが望ましく、650°C 以下で鍛造された素材では、圧延後も合金粒子間の十分な結合が得られない。

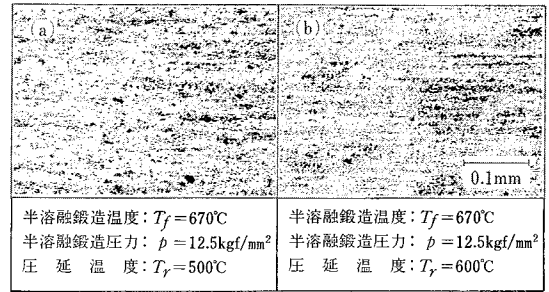


図 13 圧延温度が最終製品内部組織に与える影響

- (2) 半溶融鍛造により得られる素材の圧延条件としては、圧延温度: 550°C 以上、圧下率/1パス: 10%以上とすることが好ましい。
- (3) 半溶融鍛造圧力は素材の内部構造に大きな影響を与えるが、圧延された最終製品の引張り強さには大きな影響をおよぼさない。
- (4) 得られる板材の十分な機械的特性を確保するためには、圧延工程での総圧下率を 65%以上とすることが望ましい。

本実験で素材としてとりあげた 8% Fe-2% Mo/Al 合金の大きな特徴は、その耐熱性にあるといえる。そこで、今後は高温での特性について調査を続けるとともに耐熱性複合板材の開発を進めたい。

なお、本研究で示した半溶融鍛造・熱間圧延複合加工法は、以下の条件でアルミ合金粉末から健全な板材を製造する場合にも、応用可能であると考えられる。すなわち、素材 (原料) としては、アルミニウムに 2 から 30% の Fe, 0 ~ 5% の Mo, その他に, Cr, Ni, Mg, Si, Ti, Zr, Mn, V などを含む合金粉, その際の加工条件としては、半溶融鍛造圧力: 3 ~ 50 kgf/mm², 同鍛造温度: 半溶融温度域, 熱間圧延温度: 400 ~ 600°C, 1パスごとの圧下率: 5 ~ 40%, 総圧下率: 50%以上、さらに熱間圧延後水冷のような急速冷却、等の組み合わせが考えられる。

(1986年11月13日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内・杉山・遠藤・楢崎: 昭 57 春塑加講論, (1982), 423
- 2) 木内・杉山・富岡・山本: 昭 61 春塑加講論, (1986), 430