

アルミ合金粉末の半熔融複合加工 第1報

Complex Mashy-State Processing of Al-Alloy Powder

木 内 学*・杉 山 澄 雄*・富 岡 美 好**
 Manabu KIUCHI, Sumio SUGIYAMA and Miyoshi TOMIOKA

1. はじめに

一般に各種鋳物や展伸材料は、溶解鋳造工程を経て製造（以降溶製材と呼ぶ）されており、粗大な結晶粒や晶出物を含む鋳塊から出発するため、合金設計上種々の制約を受けている。これに対して溶湯を急冷して得た粉末は、粗大な晶出物の生成なしに大量の合金元素を添加することができるので、微細な析出物を合金内に大量に作る事が可能であり、この析出物は、再結晶粒の微細化および分散強化相としても有効であることなどから、本研究では、筆者らが開発を進めている半熔融加工法を応用し、粉末半熔融鍛造と冷間、熱間圧延により、アルミ合金板の製造を試み、内部組織、機械的特性などについて調べた。また、粉末より作成した製品と市販の溶製材との比較を通して、本プロセスの可能性を探った。

2. 実験方法および条件

本実験では、表1に示すように、A 2014, A 5056, A 7075, A 2014+〈12%Si〉の四種類の噴霧粉を素材として用いた。半熔融鍛造は、加圧力(20 kgf/mm²)、加圧保持時間(60 sec)、アルミ粉末の固相分率($\phi_c=50\%$)を標準条件として行い、圧延はロール直径250 mm 同径二段の圧延機を用い、60 r.p.m.の一定スピードで行った。

図1には、実験手順を示してあるが、まずアルミ粉末を型内に入れ、所定の半熔融温度に加熱、保持した後、半熔融鍛造を行い、80 mm×40 mm×8~10 mmのビレットを作成した。次にこのビレットを、中間焼鈍をまじえながら、圧延により厚さ1 mm~3.5 mmの製品とし、半熔融鍛造温度、ロール圧下率が製品に与える影響等について調べた。また、アルミ合金粉末にアルミナ粉を機械的に混合し、同様なプロセスで粒子強化複合材料の製造も試みた。

3. 実験結果および考察

3.1 製品の内部組織

*東京大学生産技術研究所 第2部
 **松本精機(株)

図2は、本実験に使用したアルミ合金粉末である。鋳造組織であるが急冷されているため微細な結晶粒が観察できる。図3は、A 5056 合金粉末を各種条件で半熔融または熱間鍛造したビレットの内部組織を示したものである。固相分率 ϕ_c が50%となる半熔融温度で、鍛造加工したビレットは、アルミ粒子間に液相成分が十分浸透し、良好な結合状態になっているが、 $\phi_c=70\%$ のビレットで

表1 実験条件

素材粉末	A 2014 噴霧粉(# 250, # 350) A 5056 " (# 100) A 7075 " (# 250) A 2014+〈12%Si〉(# 250)
強化粒子	アルミナ粉(# 400, # 1500)
半熔融鍛造	
プレス機械	油圧最大能力 100 ton
固相分率 ($\phi_c/\%$)	50~100
加圧力 ($p/\text{kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$)	20
加圧保持時間 (t/sec)	60
圧延	
ロール寸法	同径二段($\phi 250 \times 110 \text{ mm}$)
ロール回転数 (r.p.m)	60
潤滑	無
圧延機電動機	VS モータ 22 kw

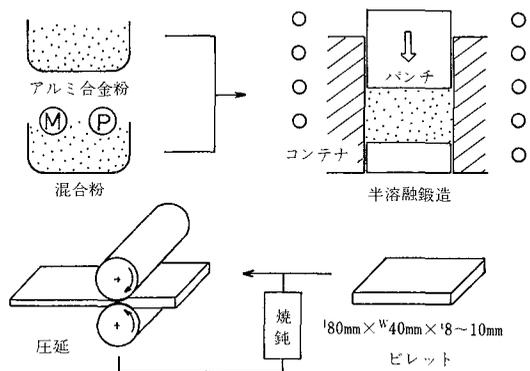


図1 半熔融複合加工プロセス

研 究 速 報

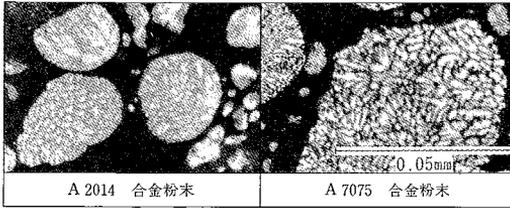


図 2 アルミ合金粉末の内部組織

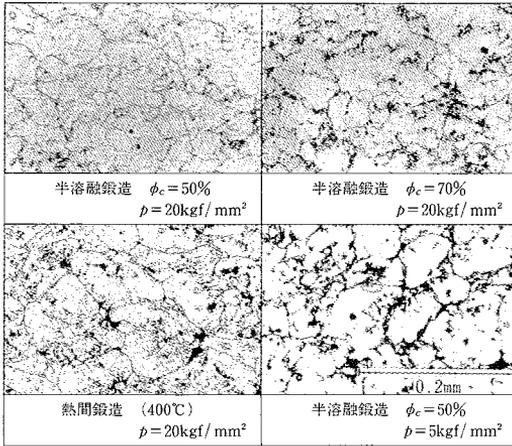


図 3 ビレットの内部組織

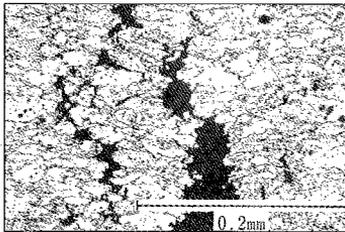


図 4 圧延による欠陥

は、液相成分が若干不足しているようすがわかる。また 400°C で熱間鍛造したビレットは、粒子間に空隙が残っており、圧延を行った際に、空隙の扁平化による密度上昇と同時に、素材内部が極度の不均一変形を受け、亀裂、破断等の欠陥が生じやすくなった。また、加圧力が不足しても空隙が残ることになり、密度上昇が十分行われず、同様な結果となった。その破断部のようすを図 4 に示す。結合が不完全な粒界から亀裂が生じていることがわかる。したがって以下では、固相分率 (50%)、加圧力 (20 kgf/mm²) で半溶融鍛造したビレットを用いてアルミ合金板の製造を試みた。ただし、A 2014 + <12%Si>合金粉末の場合には、Si の影響で液相の流動性が向上したため、A 2014 合金粉の 605°C ($\phi_c = 50\%$) に対して 585°C で半溶融鍛造を行った。

図 5 は、圧延加工度の進行に伴う内部組織の変化を示したものであるが、総圧下率の増加に伴い素材粉末が展伸され、繊維状の加工組織を生じているようすが観察される。なお、ここでの総圧下率とは、ビレットの厚さの総減少率を意味する。

図 6 は、A 2014 + <12%Si>合金粉末と、この粉末より製造した製品の内部組織を示したものである。素材粉末に比べ、製品では Si 結晶粒が若干成長してはいるが、均一かつ微細に分散しているようすがわかる。したがって熱膨張係数が小さく硬いなどの Si の特性を十分引き出すためには、本プロセスは有効な手段であると思われる。

図 7 は、本実験で粉末より製造した A 2014 合金板と市販の溶製材の内部組織を比較したものである。焼鈍 (400°C, 30 min) を行うことにより、どちらも圧延後の加工組織から再結晶組織へと変わっているが、加工履歴の違いにより、市販の溶製材のほうが大きな再結晶粒となっている。

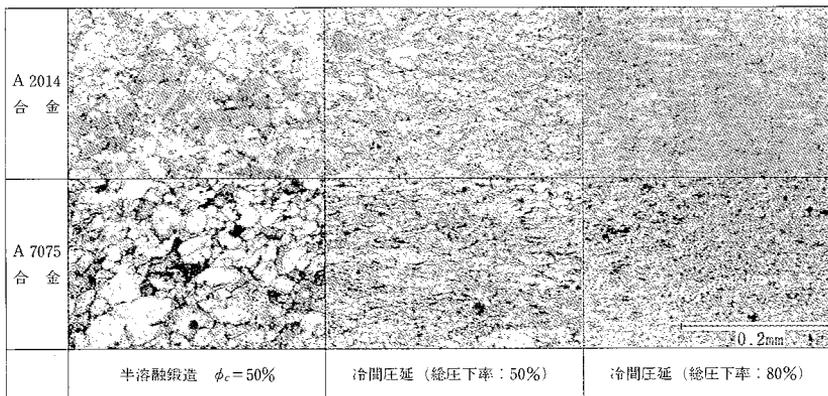


図 5 圧延加工度の進行に伴う内部組織の変化

研 究 速 報

3.2 製品の機械的性質

図8は、総圧下率に対する製品の硬さ変化を示したものである。各合金とも総圧下率が大きくなるに従い、硬さも上昇する傾向を示している。また、図9に示したように、引張り強さについても同様な関係にあることがわかる。これは、圧延での大きな塑性変形により、粉末表面の酸化物によるネットワークが徐々に破壊され、粉末間の接合強さが増すためであると思われる。

図10には、単位断面積当りの引張り荷重 σ -変位 S 曲線を示す。A 2014 の半溶融鍛造後のピレットは σ - S 曲

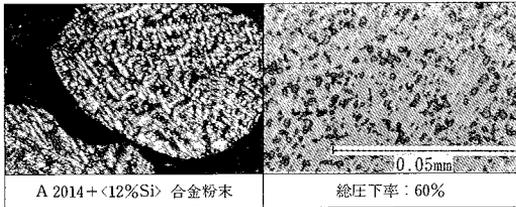


図6 A 2014+(12%Si)合金粉末と製品の内部組織

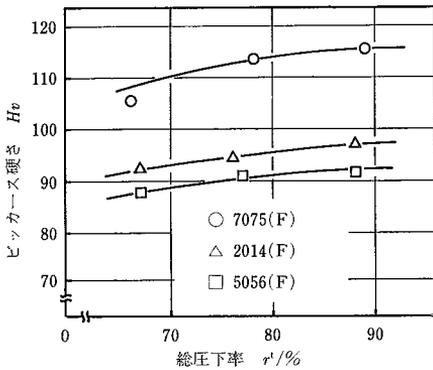


図8 圧下率に対する硬さ変化

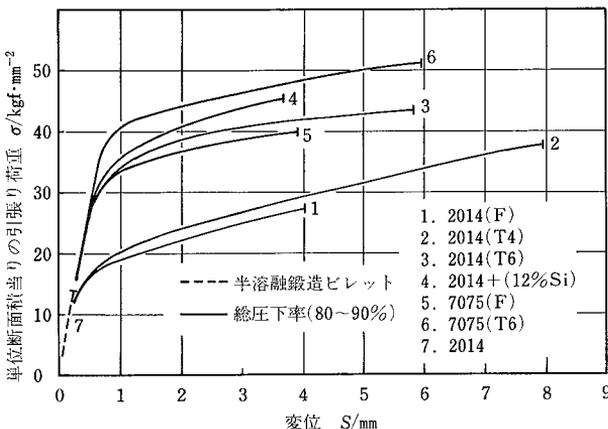


図10 単位断面積当りの引張り荷重 σ -変位 S 曲線

線の立ち上がり途中で破断しているが、圧延後の F 材では、伸び、強さ共に増加している。また、T4, T6 処理を行うことにより、加工組織の回復および時効硬化が進行し、さらに改善されていることがわかる。なお、A 2014+(12%Si)の製品では、伸びは若干劣るものの、引張り強さは、増している。A 7075 についても F 材に比べ T6 調質の製品のほうが、伸び、強さ共に優れていることがわかる。

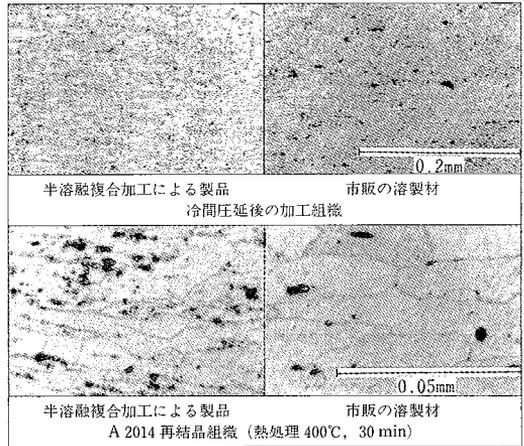


図7 半溶融加工を経た製品と市販の溶製材との比較

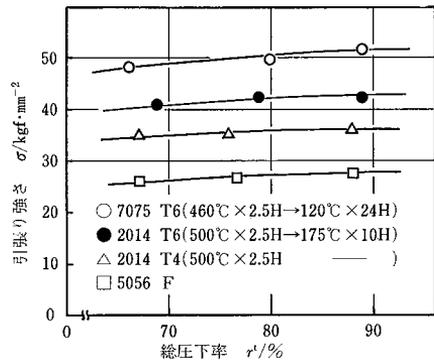


図9 圧下率に対する引張り強さの変化

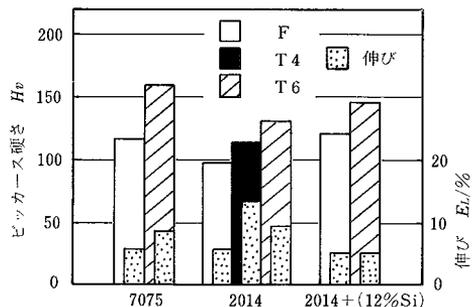


図11 熱処理による伸びと硬さの変化

研 究 速 報

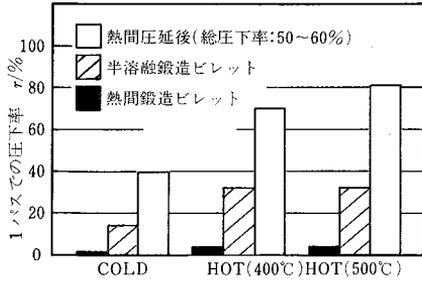


図 12 ピレットの圧延加工性

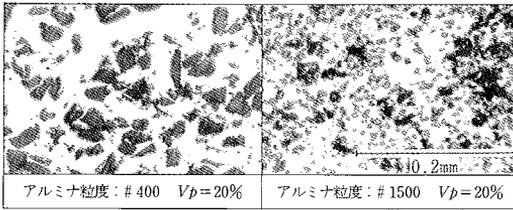


図 14 粒子強化複合材料の内部組織

図 11 は、熱処理による伸びと硬さの変化を示したものである。A 2014, A 7075 共に、T4, T6 処理を行うことにより、市販の溶製材の同調質のものとほぼ等しい硬さとなっている。また Si を多量に添加することにより、さらに硬さが増している。伸びは、各調質材とも溶製材の 70% 程度の値であった。

図 12 は圧延におけるピレットの加工性を示したものであり、1パスにおける圧下の限界である。熱間鍛造により作成したピレットは、僅か数%の圧下で亀裂を生じるが、半溶融鍛造のものは、焼鈍後の冷間圧延で 15%、熱間圧延では 30% 程度の圧下が可能であった。また、総圧下率で 50~60% 熱間加工したものは、その後の圧延が容易となり冷間で 40%、熱間で 80% 程度の圧下が可能となった。これは、鍛造後の不均質な組織が熱間圧延によって均質緻密なものに改善され、加工しやすい性状の素材になったためと思われる。図 13 は引張り試験片である。

3.3 粒子強化複合材料の製造

半溶融鍛造による粒子強化複合材料の製造については既報¹⁾で述べているが、本プロセスでは、半溶融鍛造後、

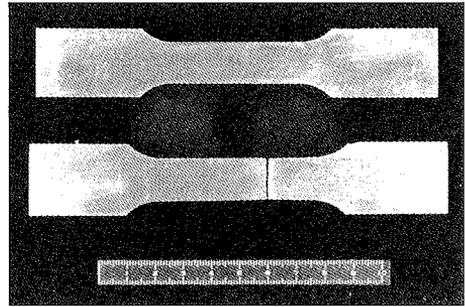


図 13 引張り試験片

さらに圧延を行い、アルミ粒子間の結合力の強化をはかった。# 400 と # 1500 のアルミナ粒で強化した製品の内部組織を図 14 に示す。アルミ合金のマトリックス中にアルミナ粒が均一に分散しているようすがわかる。

4. ま と め

半溶融加工法に関する研究の一環として、アルミニウム粉末の半溶融鍛造と圧延により板材の製造を試みた結果、以下のことがわかった。

- (1) 半溶融鍛造で作成したピレットは、熱間鍛造のものに比べ、その後の圧延加工を容易に行うことができる。
- (2) 本プロセスにより製造した製品は、伸びは若干劣るものの、引張り強さ、硬さにおいては溶製材にはほぼ等しい。
- (3) 微細な Si 結晶等を持つ急凝固粉末の特性を有効に生かすことが可能である。

以上示したように、本プロセスはアルミニウム粉末から板材を製造する際の有効な方法であると考えられる。

(1986年3月25日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内 学・杉山澄雄・遠藤 昇：32 回塑加連講論，(1981)，329。
- 2) 木内 学・杉山澄雄・遠藤 昇・鍛崎尚哉：昭 57 春塑加講論，(1982)，423。