

## 半溶融加工に関する実験的研究 —第7報—

## —粒子強化複合材料の製造および加工に関する検討・1—

Experimental Study on Metal Forming in Mashy State · 7th Report

— Investigation into Production and Working of Particle Reinforced Metal —

木内 学\* · 杉山 澄雄\*

Manabu KIUCHI and Sumio SUGIYAMA

## 1. はじめに

筆者らは、半溶融状態における金属（合金）材料の特性を利用した新しい複合材料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<sup>2),3)</sup>においては、実用アルミ合金のクラッド材（棒・線材）の製造および加工について検討した結果を報告した。本報においては、この半溶融加工法により、粒子強化複合材料（サーメットを含む）の製造および加工を行う新しいプロセスの開発を試み、粒子の体積含有率、押出し温度（固相分率）、押出し比など各種条件因子が加工力、製品性状その他に与える影響について検討した結果を報告する。

## 2. 本プロセスの特徴

本研究で新たに開発した粒子強化複合材料の製造および加工プロセスの特徴は次のとおりである。

(1) 半溶融状態に加熱したマトリックス材（この場合アルミ合金）を機械的に攪拌し、この中に強化粒子（この場合アルミナ）を混入する。半溶融状態で攪拌されたマトリックス材は粘性流体状となり、強化粒子が容易に混入され得ると同時に混入された強化粒子を内部に保持する能力が高いため、溶湯に粒子を混入させる場合に問題となる比重の差によるマトリックス材と強化粒子の分離、という障害を防ぐことができる。

(2) 上記の方法で複合化された材料を、マトリックス材が半溶融状態にある温度域で押出し加工・鍛造加工などを行う。マトリックス材が半溶融状態にあるため、複合材料の変形抵抗は低下し、非常に小さい加工力で加工することが可能であり、また複合材料の変形能が増し、容易に変形流動が起こる。

(3) さらに、本研究により、半溶融状態に加熱したマトリックス材（この場合アルミ合金）を機械的に攪拌しつつ冷却することにより、粉末化できることが見出された。それゆえ、この方法でマトリックス材の粉末を作り、これと強化粒子を混合することも可能であり、さら

に(1)の強化粒子の混入の際に、マトリックス材を冷却しつつ攪拌し強化粒子の混入を行うことにより、全体的な状態を粉末（あるいは粒子）の混合状態に移すこともできる。

本研究で開発した製造・加工プロセスの概要を図1に示す。

## 3. 実験方法および条件

粒子強化複合材料の半溶融押出し加工には、既報と同様油圧式100 tonの横型押出し試験機を使用した。ビレットは、半溶融状態に加熱したA-7075を攪拌しつつアルミナの粉末とよく混合し、一度冷却した後に内径φ40 mmの金型に入れ、冷間で約1.6 kg/mm<sup>2</sup>の圧力をかけて突き固めたものを用いた。なおA-7075を、半溶融状態に加熱して、攪拌しつつ冷却して作成した粉末とアルミナの粉末とを混合して作成したビレットも用いた。押出し実験条件の詳細を表1にまとめて示す。次に押出し製品の特性の変化を検討するために、引張り試験、硬度検査および圧縮試験を行った。引張り試験は、押出し比 $\lambda=64$ （φ5 mm）の製品について冷間で、圧縮試験は、カムプラストメータを用い、押出し比 $\lambda=16$ （φ10）の製品について、冷間と熱間で行った。また製品断面のミクロ観察を、顕微鏡を用いて行った。

## 4. 実験結果および考察

4.1 押出し加圧力 $p$ -粒子の体積含有率 $V_p$ の関係

図2は定常押出し時の押出し加圧力 $p$ と、粒子の体積含有率 $V_p$ との関係を、押出し時のビレット（マトリックス材）の固相分率（以下 $\varphi_c$ で示す）をパラメータにして示す。図より $\varphi_c$ が高いほど $V_p$ に対する $p$ の変化は大きくあらわれることが判る。 $\varphi_c$ が高くなると $V_p$ が大となると液相成分が十分でなくなり、アルミナ粒子やマトリックス自身の結晶粒間のすべり、回転に対する拘束が強まるために、 $p$ が大きくなるものと考えられる。 $V_p=0$ の場合のビレットとして、A-7075のムク材と上述の方法により一度粉末化した後に突き固めたものを用いた場合の、 $p$ の違いはほとんどない。いずれの場合も、

\* 東京大学生産技術研究所 第2部

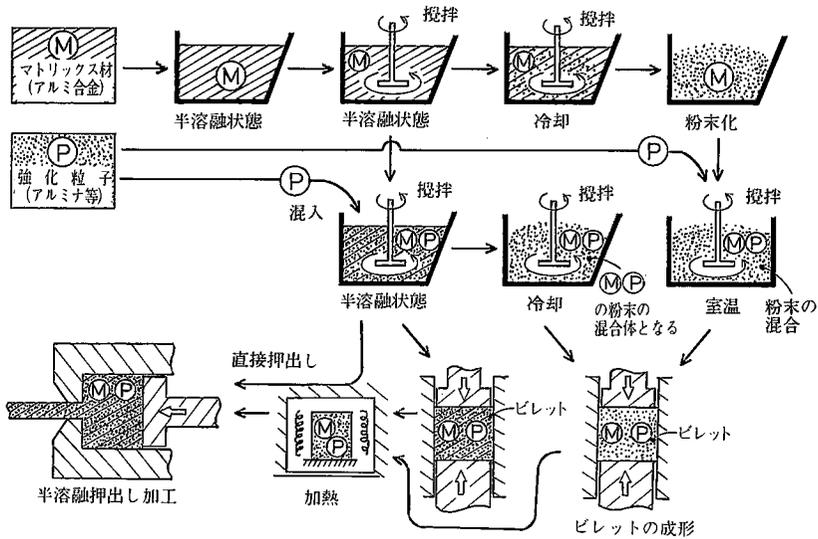


図1 本研究で開発した粒子強化複合材料の半溶融製造・加工プロセス

第1表 押し実験条件一覧表

粒子強化複合材料 マトリックス材	A-7075
強化粒子	アルミナ粉 (-10 $\mu$ , 95%)
粒子の体積含有率 $V_p$	0 ~ 30 (%)
ビレット寸法	(外径) × (長さ) $\phi$ 40 × 約 60 (mm)
押し時のビレットの固相 分率 $\phi_c$	90 ~ 9 (%) 548 ~ 636 (°C)
ダイス寸法	(a), (b)
ダイス径	$\phi$ 10, $\phi$ 5 (mm)
ベアリング長さ	20, 20 (mm)
ダイス角	180°, 180°
押し比	16, 64
ダイス温度条件	予加熱なし方式
ラムスピード	約 38 (mm/min.)

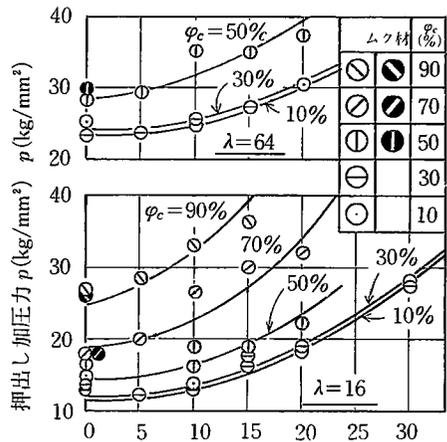


図2

熱間押しに比べ、低加圧力での押しが可能であることが判る。また、 $\phi_c$  を 30% 以下にしても  $p$  の値が低下しないのは、ダイス内で冷却されて実質的に  $\phi_c$  が低下しないためと考えられる。

4.2 製品の機械的特性

図3は、製品の引張り試験の際の引張り荷重  $P$  とストローク  $S$  の関係を示す。押し製品を得る際の実験条件をまとめて図中に示す。図より、 $V_p$  が増すに従って、 $P$  の値が高くなり、同時に伸びが減少して、最高荷重に達する前に途中で破断することが判る。これは  $V_p$  を増すに従って、硬くもろい性質の製品ができてくることを

意味し、このことは、図4の硬度検査の結果からも明らかである。図4は、伸び  $E_l$ 、引張り強さ  $\sigma_B$  (主として破断時の強度) およびビッカース硬度  $H_v$  と、アルミナ粒子の体積含有率  $V_p$  の関係を示す。伸び  $E_l$  に関しては、 $V_p = 0\%$  で 10% あった伸びが  $V_p$  が増えるに従って直線的に減少し、 $V_p = 20\%$  近くでは、ほとんどゼロに近づくことが判る。同じ  $V_p$  に対して  $\phi_c$  が 50% と 30% の場合の製品を比較すると、伸びの差はわずかである。引張り強さ  $\sigma_B$  に関しては、 $V_p$  が 5 ~ 10% の場合に最大値を示す傾向があらわれているが、 $V_p$  が増すに従って伸び  $E_l$  が減少することと関係しており、製品の強度そのものが  $V_p$  に対して極値をもつことを必ずし

研究速報

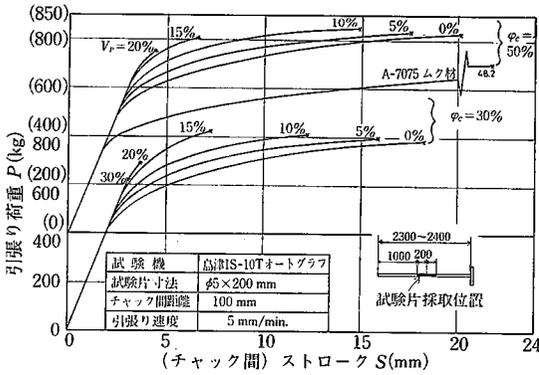


図3 引張り荷重P-ストロークS曲線(2本の試験片の平均値)

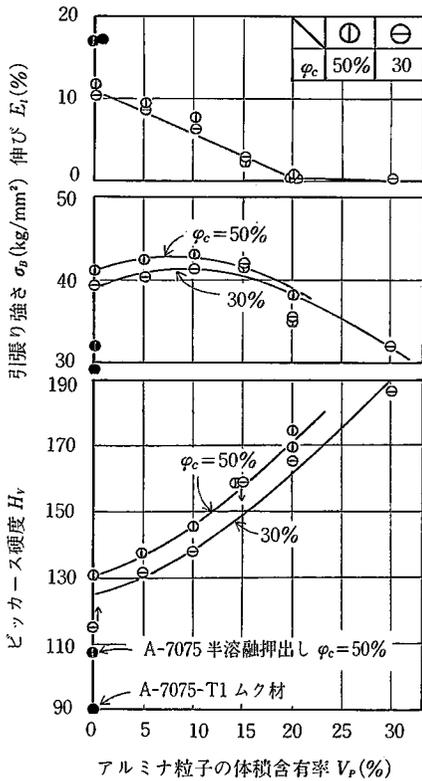


図4 伸び $E_1$ , 引張り強さ $\sigma_B$ および硬度 $H_V$ と粒子の体積含有率 $V_p$ の関係

も意味しない。 $\phi_c$ が50%の場合と30%の場合を比較すると前者の $\sigma_B$ の値がやや高くなっている。硬度 $H_V$ は、マイクロビッカース硬度計による製品横断面の測定点の平均値で示してある。図より、 $V_p$ の増加に対して、 $H_V$ はほぼ直線的に増加することが判る。また同じ

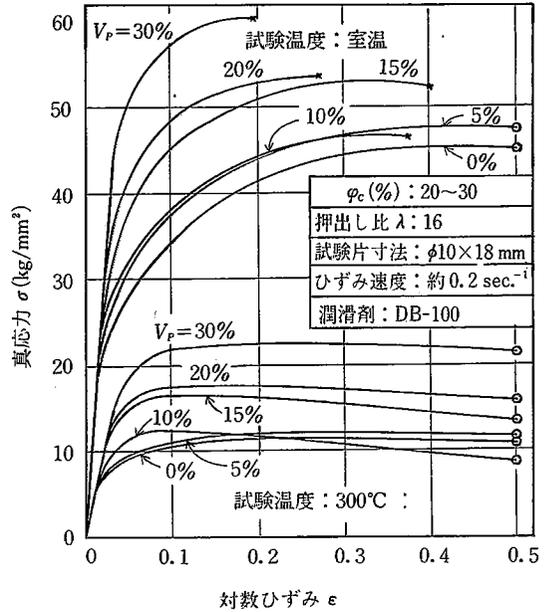


図5 真応力 $\sigma$ -対数ひずみ $\epsilon$ 線図

$V_p$ に対しては、 $\phi_c$ が高い押し製品ほど $H_V$ の値が高いが、これは $\sigma_B$ と $V_p$ の関係と同様である。

図5は、粒子強化複合材料の圧縮試験による真応力 $\sigma$ と対数ひずみ $\epsilon$ の関係の一例を示す。圧縮試験片は、 $\phi_c = 20 \sim 30\%$ 、押し比16で押し出した製品の、先端から300 mmの位置(ほぼ中央部)から採取したもので、図中に示す圧縮条件のもとで試験を行った。試験温度が室温の場合、 $V_p$ が増えるに従って、小さいひずみで試験片の破壊が生じ、 $V_p$ が30%の場合、おおよそ0.2程度のひずみで破壊が起こる。一方試験温度が300℃の場合には、 $V_p = 30\%$ であっても、 $\epsilon = 0.5$ までは破断が起こらないという結果を得ている。

図6は、図5で $\epsilon = 0.1$ における $\sigma$ の値を縦軸に圧縮試験温度を横軸にとって示す。たとえば $V_p = 30\%$ の製品はムク材に比べ各温度に対して約2倍の圧縮変形抵抗を持つことがわかる。

図7は同様に変形抵抗 $\sigma_{0.1}$ の $V_p$ に対する変化を、 $\phi_c = 30\%$ 、50%、70%の場合について示す。同じ $V_p$ を有する製品であっても、 $\phi_c$ が高くなるほど $\sigma_{0.1}$ が増大することが判る。

4.3 ビレットの状況と製品の内部組織

写真1(a)は、2節で述べた方法によって製造したA-7075の粉末(粒径1000~500 $\mu$ )を倍率を変えて観察した結果である。これらの写真より、粒界に発生した液相成分によって、粒子がしだいに細かく分離していく様子が判る。(b)は、粒径250 $\mu$ 以下の粉末の断面形

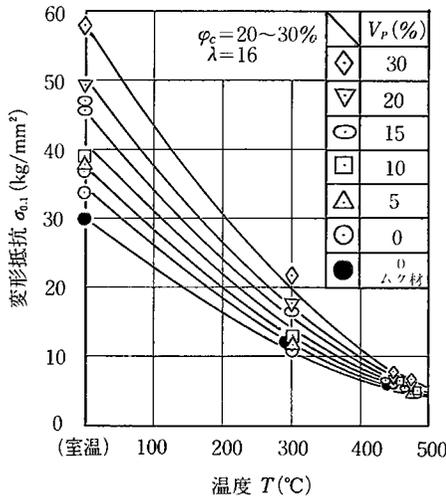


図6 圧縮変形抵抗  $\sigma_{0.1}$  と温度  $T$  の関係

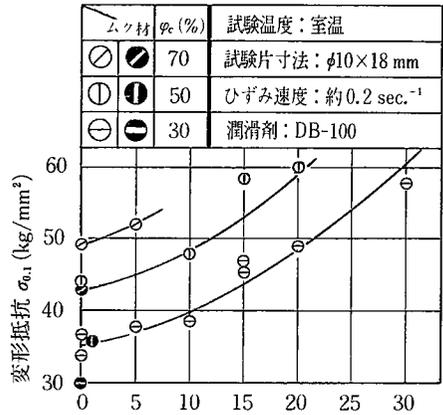


図7

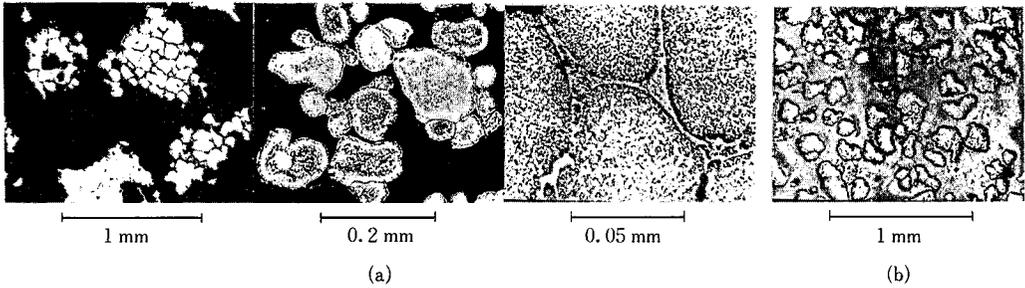


写真1

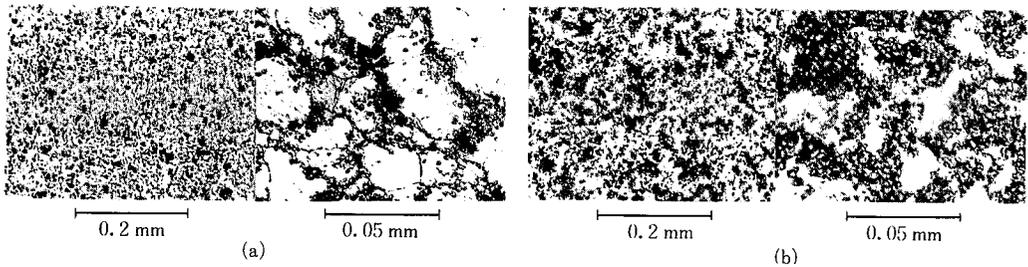


写真2

状を示す。写真2 (a) は、半溶融押し加工製品 ( $\phi_c \approx 30\%$ ,  $\lambda = 64$ ) の横断面の内部組織で、 $V_p = 5\%$  のものを示す。白くみえる部分が、マトリックス材の A-7075 で、黒く点状しているのが、強化粒子のアルミナである。アルミナ粒子は断面内はほぼ均一に分布している。(b) は、 $V_p = 20\%$  で、アルミナ粒子が、部分的に凝集している様子が観察できる。

### 5. まとめ

粒子強化複合材料の製造および加工に、半溶融加工法を応用する新しいプロセスの開発を行い、これをアルミ

合金とアルミナの組合せに適用した結果、性状のよい棒・線状製品を比較的容易に製造ならびに加工することができた。今後アルミ合金の強度向上に本技術の応用が期待できるものと考えられ、検討を進める予定である。

(1980年8月29日受理)

### 参考文献

- 1) 林: 複合材料工学
- 2) 木内・杉山: 第26回塑加連講論, (1979 - 11) 232
- 3) 木内・杉山: 昭55春季塑加講論, (1980 - 5) 481