

半溶融加工に関する実験的研究 —第9報—

—粒子強化複合材料の半溶融鍛造に関する検討・1—

Experimental Study on Metal Forming in Mashy State. 9th Report
— Investigation into Mashy State Forging of Particle Reinforced Metal. 1—

木内 学*・杉山 澄雄*・遠藤 昇**
Manabu KIUCHI・Sumio SUGIYAMA and Noboru ENDO

1. ま え が き

筆者らは、半溶融状態における金属（合金）材料の特性を生か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。前報においては、粒子強化複合材料〈A-5056+アルミナ粉〉の半溶融押出しについて検討した。本報においては、粒子強化複合材料〈A-5056+アルミナ粉〉の半溶融鍛造について、アルミナの体積含有率、型温度、加圧力などが製品性状に与える影響について検討した結果について報告する。

2. 実験方法および条件

本実験の素材である粒子強化複合材料（P. R. M.）の製造プロセスは、すでに第7報¹⁾で報告してある。ここでは、そのプロセスの1つ、すなわち、マトリックス材〈A-5056〉を半溶融状態から攪拌冷却により粉末化（ -500μ ）し、それに市販のアルミナ粉（ -10μ ）を混入する方法を用いた。なお鍛造実験条件の詳細は、表1にまとめて示す。鍛造実験は、その加熱方法により、(A)、(B) 2つの方法を用いた（図1参照）。(A)は、素材（P. R. M.）、コンテナ、型を所定の温度まで同時に加熱し、ポンチと型により圧縮成形する方法である。(B)では、まずコンテナで保温した素材（P. R. M.）を所定の温度まで加熱する。一方、型は別に定めた温度に予加熱しておき、加熱終了後コンテナから型へ移して成形する方法である。

3. 実験結果および考察

本報で扱う粒子強化複合材料（P. R. M.）の半溶融押し後の製品の機械的特性については第7報¹⁾、第8報²⁾で細かく検討した。半溶融鍛造後の製品の機械的特性も、基本的には同一と考えられるので、ここでは製品の性状を外形状ならびに内部組織の観察等を通して検討する。

3.1 マトリックスの固相分率の影響

写真1は、本実験で成形された製品の外観を示す。写

*東京大学生産技術研究所 第2部

**松本精機KK

表1 実験条件一覧表

P. R. M. マトリックス 強化粒子	A-5056 アルミナ #1500
粒子の体積含有率	0~50%
ビレット	P. R. M. 粉末
鍛造時のビレット温度 固相分率	590~626 (°C) 90~50 (%)
コンテナ径 (内径)	$\phi 40$ (mm)
ダイ温度条件	室温~626 (°C)
プレス	100 ton 油圧プレス
加圧力	16~40 (kg/mm ²)
パンチ降下速度	520 (mm/min)
加圧保持時間	1 (min)

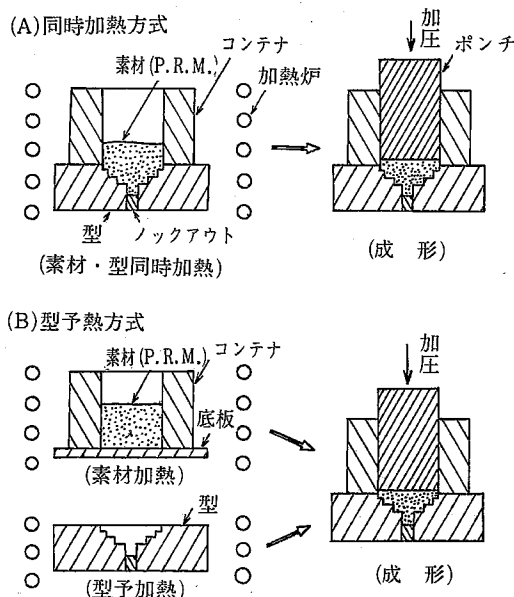


図1 コンテナおよび型の加熱方法

研究速報

真2 (A) は、アルミナ粒子の体積含有率 (V_p) を変化させた場合の製品の外觀写真である。(B) は同製品の内部組織である。この場合の加工条件としては、素材と型は同時加熱、半溶融鍛造時のマトリックスの固相分率 ϕ_c は70%、みかけの平均加圧力 p は17.4kg/mm² である。(A) より、 V_p が30%までは外觀がほぼ完全な製品が得られることがわかる。 V_p が40%と50%の場合には、製品の肩部に欠けが見られるが、これは素材

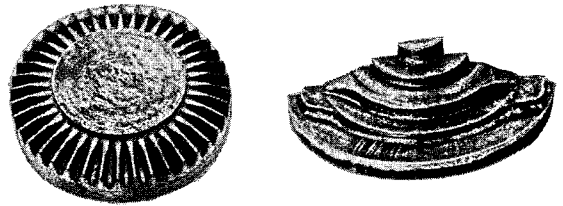


写真1 製品外觀

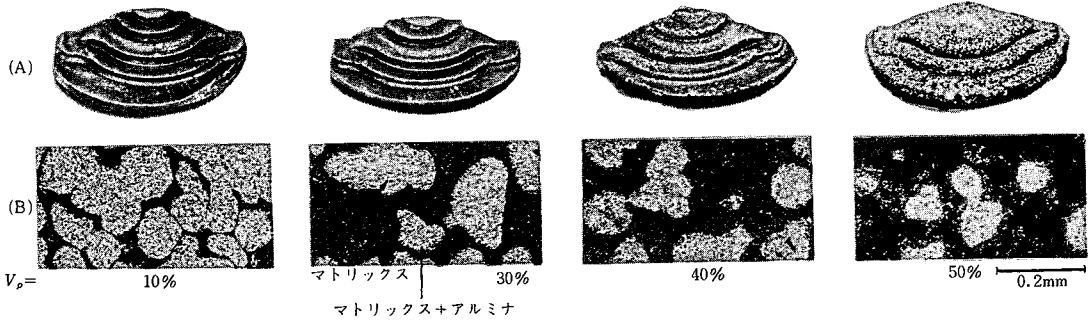


写真2 アルミナ体積含有率 V_p (%) による影響 ($\phi_c = 70\%$)

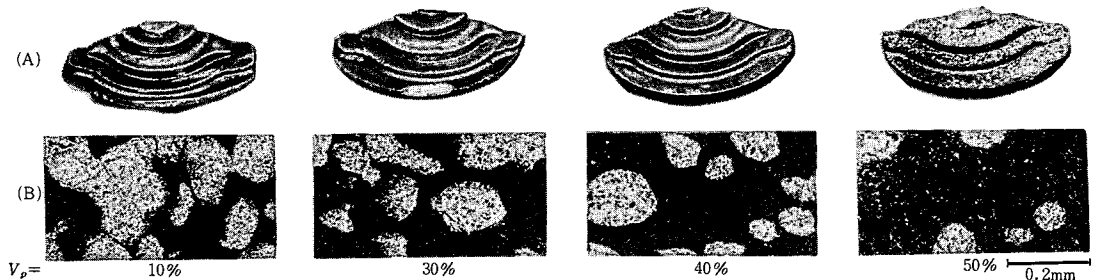


写真3 アルミナ体積含有率 V_p (%) による影響 ($\phi_c = 50\%$)

が型に充填しないのではなく、離型時に発生した欠陥である。固相分率および V_p が高い場合には、液相成分が不足し、アルミナ粒子とマトリックス間の結合が十分行われず、製品内部がもろくなっているため、離型時の衝撃でワレが発生したものと考えられる。(B) より、製品内部のアルミナ粒とマトリックスの結合状況が観察できる。一般に、半溶融状態では、マトリックスの粒界または、粒表層部が溶解し、この液相部がアルミナ粒を包みこんだ状態で加圧成形され凝固するので強化粒子とマトリックスの結合が強固となり、粒子強化型複合材料として所定の強化効果を得易い。しかし、 $\phi_c = 70\%$ 、 $V_p = 40\%$ または、50% の場合のようにマトリックスの液相成分の量に比して強化粒子の量が過多であると、アルミナ粒がマトリックスの溶液中に十分混入できず、写真においてもアルミナ粒のみで分布している様子が観察でき

る。

写真3は、マトリックスの固相分率 $\phi_c = 50\%$ とした場合の V_p の変化による製品の外觀ならびに内部組織の変化を示す。この場合、 $\phi_c = 70\%$ の場合と異なり、 V_p が40%でも外形状の良い製品が得られる。また(B)からもわかるように、写真2(B)に比べてマトリックス粒が小さくなっているが、その分だけマトリックスが溶融し液相成分が浸透したものと考えられる。

3.2 型温度の影響

写真4は、図1(B)の方法で型を素材とは別の所定の温度に予加熱した場合の製品の外觀写真である。ここで、 $V_p = 20\%$ 、 $\phi_c = 70\%$ 、加圧力 $p = 17.4\text{ kg/mm}^2$ である。これよりこの加工条件の場合、型温度が400℃から200℃の範囲では、ほぼ外形状の良好な製品が得られることがわかる。型温度が200℃以下になると健全な製



写真4 型温度による影響 ($V_p = 20\%$, $\phi_c = 70\%$, $p = 17.4 \text{ kg/mm}^2$)

品を得ることはむずかしく型内への素材の未充填あるいは、内部のマトリックスとアルミナ粒との圧着が不十分などの欠陥が生じる。これは鍛造される時点でピレットが型に触れ、急激に冷却され液相成分が不足した状態で成形されることなどにより素材の流動性が低下し、また粒子間の結合力が弱く、もろい製品になってしまうことなどによると考えられる。これらのことから、半熔融鍛造では、型温度が製品性状に与える影響が大きい、一般に健全な製品を得るための型の下限温度は他の加工条件により異なる。

3.3 加圧力の影響

図2は、種々の加圧力と型温度の下で成形を行い、目視による判定により健全な製品を得るための加工条件の限界線を推定した結果である。図中、製品内部の圧着が不十分でかつ、欠落部のあるものは●▲■印、内部の圧着は問題ないが、型に未充填の部分が多少あるものは○▲■印、健全な製品が得られた場合は○△□印で示してある。図中、 $V_p = 0\%$, 20% , 30% の各場合の加工条件の限界線を示す。製品性状に対する型温度の影響は前述のとおりであるが、型温度が低くても加圧力を上げることにより良好な製品を得る場合がある。たとえば、 $V_p = 30\%$ の場合には、型温度が 400°C であっても加圧力が 17.4 kg/mm^2 では良好な製品はできない。しかし、この型温度域で加圧力を 39.5 kg/mm^2 に上げると良好な製品が得られることが予想されるが、工具等の強度が問題となる場合には型温度と加圧力の最適条件で鍛造することが望ましい。加工限界線を見ると、 $V_p = 0\%$ のものから順に右上りになっている。これは、 V_p が大きくなるに従い必要な加工力が大きくなることを意味するが、これは、前報²⁾で示した V_p の増大に伴う変形抵抗の増大と対応している。

3.4 製品の摩耗試験

図3には、得られた製品と前報²⁾で報告した押し出し材の摩耗試験結果を比較して示す。鍛造製品の加工条件は、 $\phi_c = 70\%$, 加圧力 $p = 17.4 \text{ kg/mm}^2$ である。図から明らかなように、 V_p の増加と共に摩耗量は減少する。すなわち、アルミナにより強化され、製品の耐摩耗性が著しく向上していることがわかる。また、押し出し材の場合

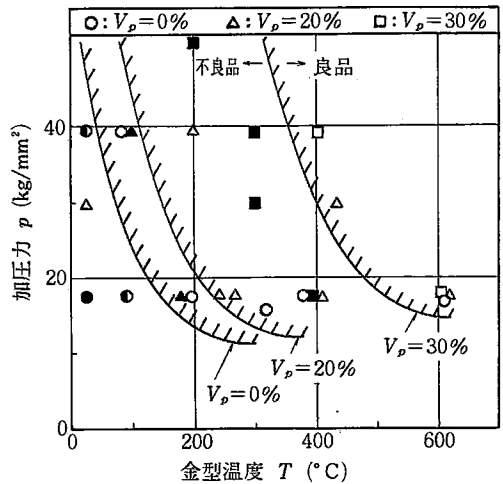


図2 加圧力 p の影響

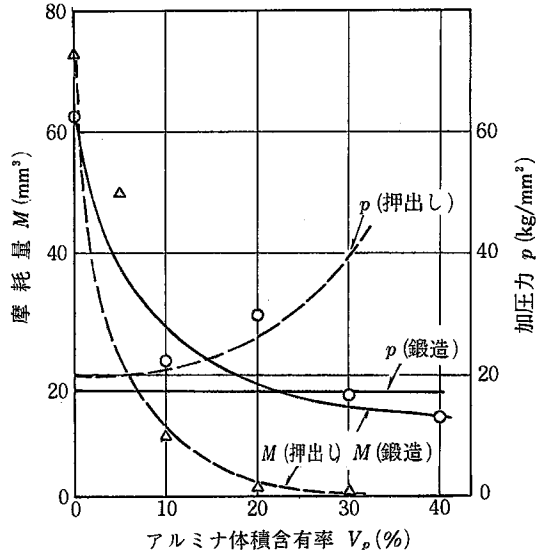


図3 製品の V_p (%) に対する摩耗量と加圧力

には、 V_p の増加と共に加工時の加圧力が增大するため、アルミナによる強化の効果が増し、その結果、鍛造製品に比して摩耗量が少なくなっている。

研究速報

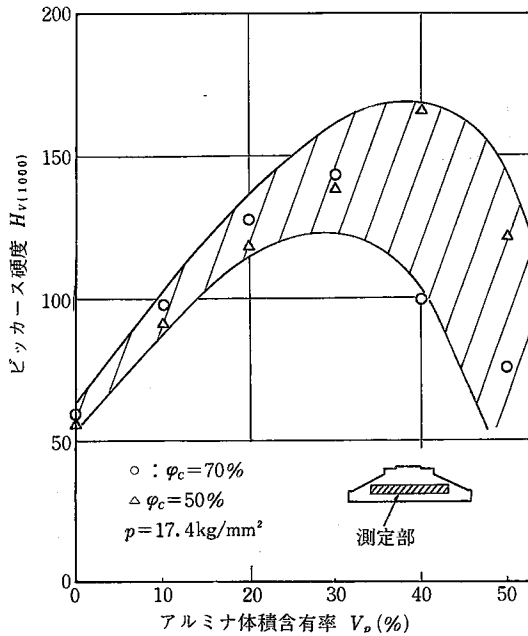


図4 製品の V_p (%) に対する硬度 $H_{V(1000)}$

3.5 製品の硬度

図4は、得られた製品の横断面内8カ所の硬度 $H_{V(1000)}$ の平均値の V_p に対する変化を ϕ_c をパラメータとして示す。この場合、硬度は、 $V_p = 30\% \sim 40\%$ で極大値を示す。これは既述の強化粒子とマトリックス内の液相成分の量とのバランスから、 V_p がこの値までは強化粒子の実効が増すが、それ以上になると強化粒子とマトリックスとの強固な結合が得られなくなることと対応しており、強化粒子の効果そのものに上限があることを意味している訳ではない。

3.6 半溶融鍛造の応用例

写真5は、カサ歯車の半溶融鍛造品である。(A-1)の良好な製品は、 $V_p = 10\%$ 、 $\phi_c = 86\%$ 、加圧力 $p = 18.0 \text{ kg/mm}^2$ 、型は同時加熱の場合である。(A-2)は、 $V_p = 10\%$ 、 $\phi_c = 53\%$ 、 $p = 18.0 \text{ kg/mm}^2$ 、型は 180°C に予加熱した場合の製品である。写真からわかるように、(A-2)は型温度が低いため、強化粒子とマトリックスの圧着が不十分である。(B)は、 $V_p = 10\%$ の良好な製品の歯先および歯底の横断面内の顕微鏡写真であ

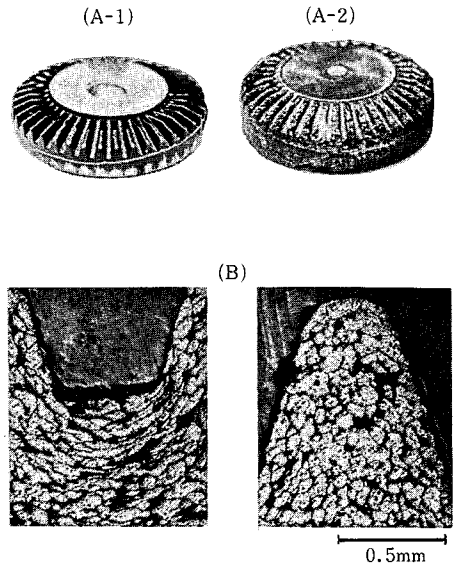


写真5 カサ歯車の外観および内部の顕微鏡写真

る。強化粒子を含む素材が歯先まで充滿し、一部塑性流動も観察できる。

4. あとがき

アルミ合金およびその粒子強化複合材料の半溶融鍛造について検討を行った。本加工法により小さな加圧力で複雑な形状の製品が得られること、また、強化粒子とマトリックス材との十分な結合を得易いことなどが判明した。また、このP. R. M. 製品は、耐摩耗性・耐熱強度などにすぐれているため、これらの特性を利用した機械部品等への応用が考えられ、さらに検討を進める予定である。

(1981年9月2日受理)

参考文献

- 1) 木内, 杉山; 第31回塑性加工連合講演会講論集 213
- 2) 木内, 杉山; 塑性加工春季講演会 (昭和56年) 講論集 436