

半溶融加工に関する実験的研究—第 11 報—
——粒子分散強化型複合材料の半溶融鍛造に関する検討・2——

Experimental Study on Metal Forming in Mashy State · 11 th Report
—Investigation into Mashy State Forging of Particle Reinforced Metal · 2—

木 内 学*・杉 山 澄 雄*・遠 藤 昇**・鋦 崎 尚 哉***
Manabu KIUCHI, Sumio SUGIYAMA, Noboru ENDO and Naoya KUWASAKI

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。既報¹⁾では、粒子分散強化型複合材料〈A-5056+アルミナ粉〉の半溶融鍛造について、加工条件が低加圧力 ($p \leq 20 \text{ kg/mm}^2$)、低体積含有率 ($V_p \leq 30\%$) の範囲にある製品の性状について検討した。本報においては、さらに加圧力および体積含有率の範囲をひろげ、その加工条件が製品性状に与える影響を内部組織の観察および2,3の機械的特性の測定等を通して検討したのでその結果について報告する。

2. 実験方法および条件

粒子分散強化型複合材料 (P. R. M. 製品) の半溶融鍛造実験は、既報¹⁾と同様の方法で行ったので詳細は既報を参照されたい。本実験で用いた主たる方法は、図1に示すようにマトリックス材と強化粒子の複合材料 (P. R. M.) をコンテナに入れ予成形しそれを所定の半溶融温度に加熱し、そのままプレスに移して加工する方法である。実験に使用したマトリックス材および強化粒子であるアルミナの粒度等は表1に示す。

3. 実験結果および考察

3.1 内部組織の金属顕微鏡およびSEMによる観察

図2は、図1の成形方法を用いて得られた製品の外觀を示し、 V_p が50% (左) と60% (右) の製品である。図3は、加圧力 p を変えた場合の製品の縦断面内の組織の相違を示す。マトリックスであるA-5056がそのまま残留した部分 (白い部分) とアルミナ粉がマトリックス中に分散した部分 (黒い部分) との結合状態が観察できる。加圧力 p の増大に伴いマトリックスが変形し偏平化

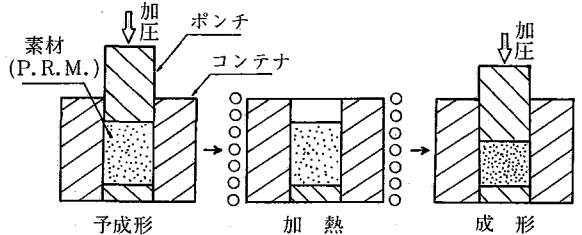


図1 成形方法

表1 実験条件一覧表

P. R. M.	マトリックス	A-5056粉末 #32, #55
	強化粒子	Al ₂ O ₃ 粉末 #1500, #320 #100
粒子の体積含有率 V_p		0~60 (%)
コンテナ径		$\phi 20, \phi 40$ (mm)
鍛造時ピレット温度		615~626 (°C)
マトリックス固相分率 ϕ_c		70~50 (%)
ダイ温度条件		50~680 (°C)
加圧力		27~51 (kg/mm ²)

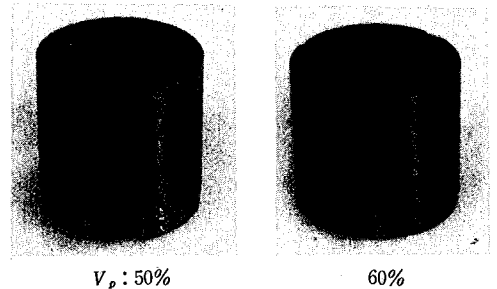


図2 製品外觀

する傾向にある。通常、粒子分散強化型複合材料の半溶融鍛造では、加圧力 p が製品性状に与える影響が大きい。

* 東京大学生産技術研究所 第2部
** 松本精機(株)
*** 三井アルミ(株)

研 究 速 報

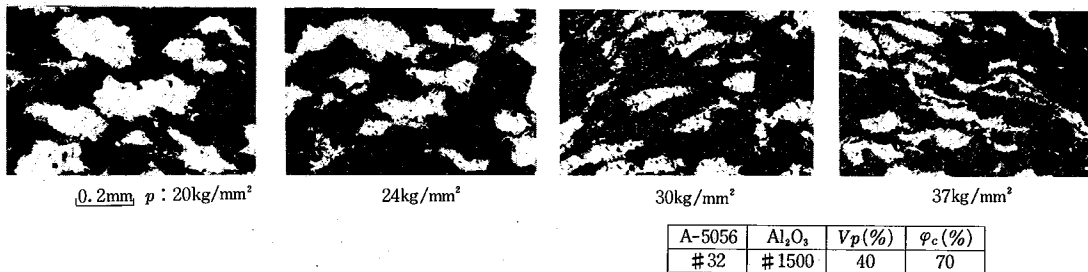


図 3 内部組織にみる加圧力の影響

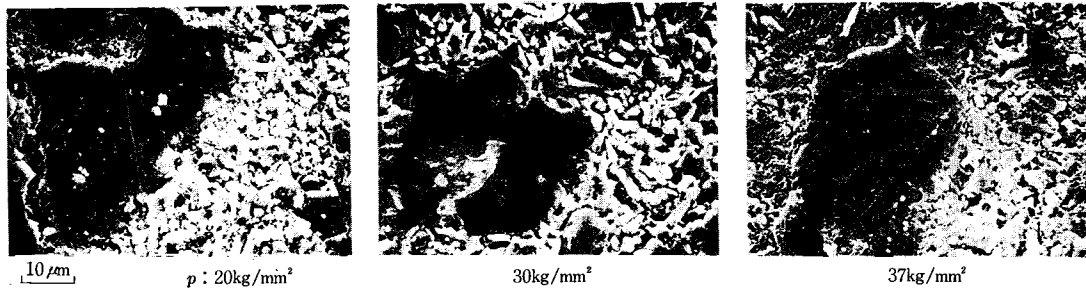


図 4 製品内部の SEM 観察写真

例えば、加圧力 p の増加とともに強化粒子の分散が促進され、併せて残留するマトリックス粒子が変形することにより、強化粒子との結合力が強固となり製品の機械的特性が向上する。図 4 は、上記の製品の内部を SEM で観察した様子を示す。黒く平坦な部分が残留マトリックス粒、その周囲の細かい粒状の部分が強化粒子とマトリックスの混合部であり図 3 の黒い部分と対応している。半熔融鍛造時にマトリックス粒子の外層部が溶解し、この液相成分がアルミナ粒を包み込んだ状態で加圧成形され凝固した様子が観察できる。これらの観察結果より、加圧力 p の増大とともに強化粒子の分散域における粒子の境界が不明瞭となっていることがわかる。これは、加圧力 p の増大により液相化したマトリックスが強化粒子間に浸透する量が多くなるためと考えられる。図 5 は、強化粒子の粒度が #320 の場合の内部マイクロ組織である。ただし、(A) と (B) は倍率を変えた結果である。この場合もマトリックス中へアルミナが分散した部分と残留したマトリックスとが存在し、両者の結合の様子が観察できる。図 3 の場合と様子が異なり、分散した強化粒子が大きく、各粒子間距離が大きくなっているが、このことは、後述する機械的特性の低下の原因になっている。

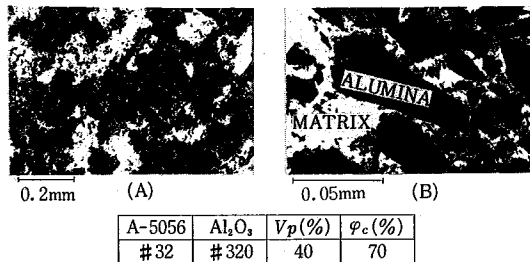


図 5 内部組織

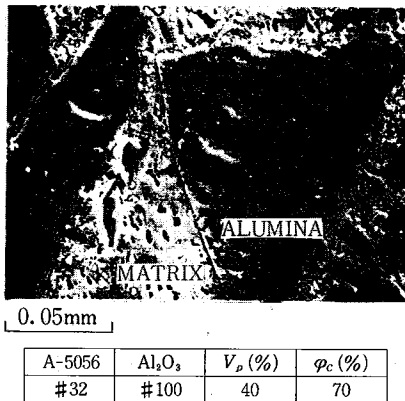


図 6 製品内部の SEM 観察写真

図 6 は、強化粒子の粒度を #100 とした場合の内部組織を SEM で観察した結果である。これも粒子間距離が大きく上記と同様なことが言える。

3.2 粒子分散強化型複合材料 (P. R. M. 製品) の機械的特性

図7は、半溶融鍛造によって製造された円柱状のP.R.M.製品(φ18×18mm)の冷間圧縮試験結果である。ただし、ひずみ速度 $\dot{\epsilon}=0.3\text{sec}^{-1}$ でひずみ $e=0.05$ のときの变形抵抗を半溶融鍛造時の加圧力 p をパラメータとして各 V_p について示す。P.R.M.製品の V_p の増加に伴う变形抵抗の増大は既報^{2),3)}で報告してある。加圧力 p の影響について見ると、加圧力 p の増加に伴い变形抵抗も増大している。これは図3および図4の内部組織からも推察できるように、強加工されることによりマトリックス

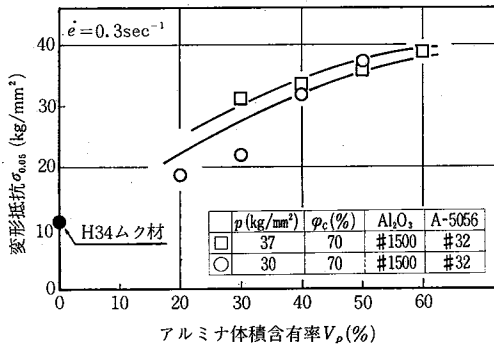


図7 アルミナ体積含有率と变形抵抗の関係

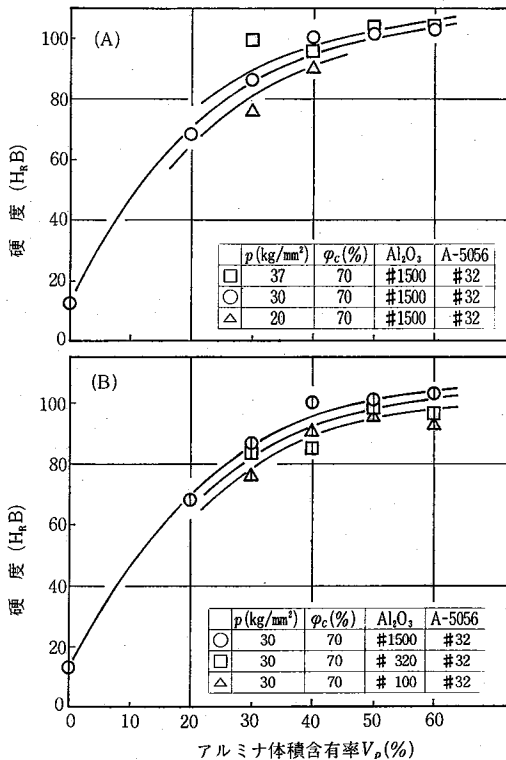


図8 アルミナ体積含有率と硬度的関係

および強化粒子が、その結合度を増すためと考えられる。

図8(A)は、製品の横断面内の硬度(HrB)の V_p による変化を加圧力 p をパラメータとして示す。上記の圧縮試験と同様な傾向がある。 V_p が0%の製品に比べ30%以上では、硬度が大幅に高くなっている。(B)は、強化粒子の粒度をパラメータとした場合の硬度である。この場合、粒度が粗になるに伴い硬度が低下する傾向がみられる。このことは、粒子分散強化型合金が塑性変形する際に要する降伏応力は、分散粒子間距離の逆数に比例するという理論(Orowanの理論⁴⁾)からも説明できる。すなわち、同 V_p であれば小さい粒子ほど分散した際の粒子間距離は小さくなり、その結果、塑性変形する際の变形抵抗あるいは硬度が大きくなることになる。

図9(A)は、既報²⁾で示した摩耗量を、半溶融鍛造時の加圧力 p をパラメータとして、各 V_p の場合につき示す。 V_p の増加にしたがい摩耗量が減少することは既報^{2),3)}で述べたが、加圧力 p についても硬度試験の場合と同様な傾向になる。(B)は、強化粒子については大きな差はみられない。

3.3 半溶融鍛造の応用例

図10は、機械部品の金型を用いて半溶融鍛造により得られた製品の外観である。鍛造条件は写真の下に示す。

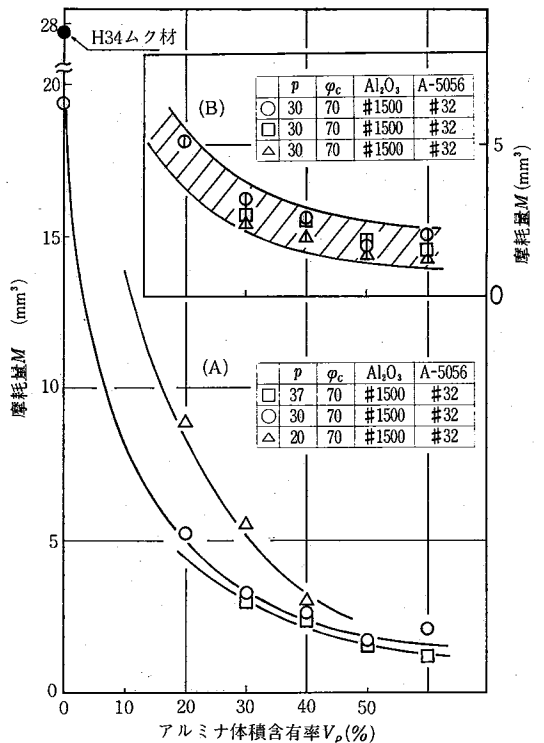


図9 アルミナ体積含有率と摩耗量の関係

研 究 速 報

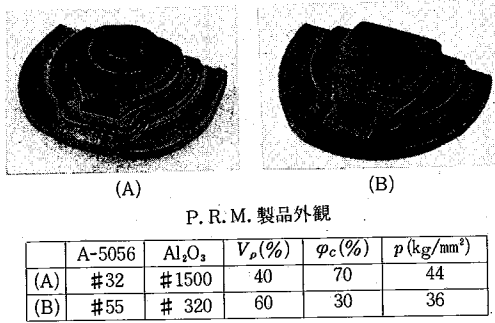


図10 P. R. M.製品外観

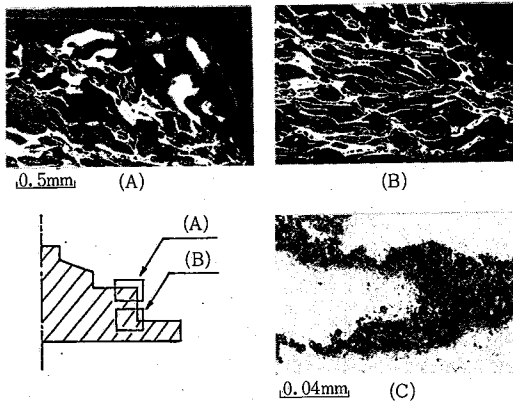
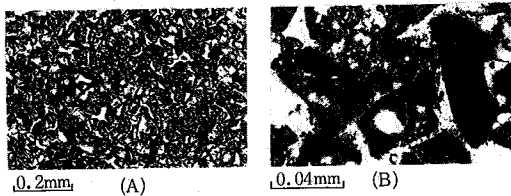


図11 内部組織



A-5056	Al ₂ O ₃	V _p (%)	φ _c (%)
#55	#320	50	50

図12 内部組織

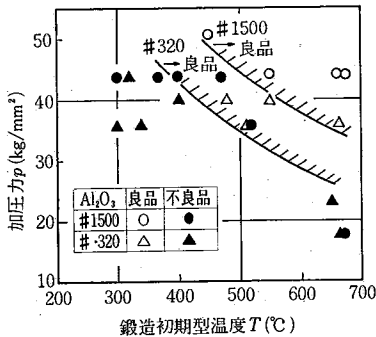


図13 型温度と加圧力の製品に及ぼす影響

図11は、図10(A)の製品の縦断面のマイクロ組織の様子を示す。(A),(B)の場合とともにマトリックスが糸状に変形して製品を構成している様子が観察できる。(C)は、倍率を変えてみた結果であるが、#1500アルミナ粒がマトリックスの液相中に分散し凝固した部分と、残留したマトリックス粒が結合している様子が観察できる。図12は、強化粒子の粒度を#320とした場合の内部マイクロ組織である。マトリックス粒が#55と小さく、しかもφ_c=30%と低いためアルミナの分散性が良好で均一に分散している様子が観察できる。(B)は、倍率を変えたもので強化粒子とマトリックスの結合状態が明瞭である。

図13は、<A-5056(#32)+Al₂O₃(#1500,#320)>, V_p=50%, φ_c=50%の場合の加圧力pと鍛造初期型温度T(表面温度)の各条件のもとで成形し、得られた製品を、目視によりその性状の良否を判定し、良品が得られるための加工条件の範囲を推定した結果であり、強化粒子の粒度をパラメータとして示す。この結果から、#1500の場合の良品が得られる加工限界線が#320の場合のものより右上りである。つまり、#1500の場合、良品を得るには、#320に比してより大きな加圧力pおよびより高い型温度Tを必要とすることを意味する。これは、P. R. M.の製品の半溶融鍛造では、マトリックスの液相成分が強化粒子の表面を包み込んだ状態で加圧成形され凝固するというメカニズムが考えられるが、#1500と#320の場合を比較すると、同一のV_pのもとでは#1500の粒の総表面積が#320のそれに比べて大きいため、マトリックスの液相成分が強化粒子間に十分浸透しその表面をおおうことがむずかしくなり、良好な製品が得にくくなるためと思われる。

4. ま と め

アルミ合金をマトリックスとする粒子分散強化型複合材料の半溶融鍛造について検討を行った。本加工法により良好な高V_p(30%~60%)の複合材料が得られること、また、高V_pならびに高加圧力の成形により製品の機械特性の向上を図り得ることが判明した。とくに耐摩耗性および耐熱強度については、強化粒子の特性を十分生かせる複合材料の開発が可能であると考えられ、さらに検討を進める予定である。(1982年3月27日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内, 杉山, 遠藤: 第32回塑加連講論集(1981-11) 329
- 2) 木内, 杉山: 第31回塑加連講論集(1980-11) 223
- 3) 木内, 杉山: 昭56春季塑加講論集(1981-5) 575
- 4) 林 毅: 複合材料工学 537