

半溶融加工に関する実験的研究 —第8報— —粒子強化複合材料の製造および加工に関する検討・2—

Experimental Study on Metal Forming in Mashy State・8th Report
— Investigation into Production and Working of Particle Reinforced Metal・2 —

木内 学*・杉山 澄雄*
Manabu KIUCHI and Sumio SUGIYAMA

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。¹⁾²⁾

前報³⁾においては、この半溶融加工法を応用し、粒子強化複合材料の製造および加工のための新しいプロセスの開発を試み、 $\langle A-7075 + \text{アルミナ粉} \rangle$ の複合材料について、粒子の体積含有率、押し温度(マトリックスの固相分率)、押し比などの各種条件因子が、加工力、製品性状その他に与える影響について検討した。

本報においては、さらに材料の範囲を広げ、 $\langle A-5056 + \text{アルミナ粉} \rangle$ 、 $\langle A-2011 + \text{アルミナ粉} \rangle$ 、 $\langle A-5056 + \text{黒鉛粉} \rangle$ の組合せについて粒子の粒径の影響をも含めて、前報と同様な検討を行ったので報告する。

2. 実験方法および条件

粒子強化複合材料(P. R. M)の半溶融押し加工は、既報と同様の方法で行ったので、その説明は省略する。本研究で開発したプロセスの詳細は、前報に示してあるが、本実験では、マトリックス材と強化粒子の混合体を室温で圧縮して作成したビレットを、マトリックス材の半溶融温度域まで加熱して、押し出すプロセスを採用した。その他基材の化学成分および押し実験条件の詳細を表1、表2にまとめて示す。

次に押し出されたP. R. M.製品の特性を検討するために、引張り試験、硬度検査、シャルピー衝撃試験、耐摩耗試験、冷間・温間での圧縮試験、室温での固有抵抗値測定、およびSEMを用いて破断面の観察を行なった。

3. 実験結果および考察

3.1 押し出加圧力 p - 粒子の体積含有率 V_p の関係

図1(a)は、 $\langle A-5056 + \text{アルミナ粉} \rangle$ 、 $\langle A-2011 + \text{アルミナ粉} \rangle$ の定常押し出加圧力 p と粒子の体積含有率 V_p との関係を示す。マトリックス材の固相分率(以下 φ_c で示す)をパラメータとして示す。図より前報で示した $\langle A-7075 + \text{アルミナ粉} \rangle$ の場合と同様に、 φ_c が高くなると V_p が大となると、 p が急激に増大するが、これは、

ビレット中の液相成分が十分でなくなり、アルミナ粒子とマトリックスの間、あるいは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と考えられる。

表1 基材の化学成分
マトリックス: A-2011

成分	Si	Fe	Cu	Zn	Bi	Pb	比重
(%)	0.22	0.25	5.40	0.01	0.52	0.54	2.82

: A-5056

成分	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	比重
(%)	0.07	0.12	0.01	0.07	4.88	0.06	0.01	2.64

粒子 : アルミナ粉末(昭和電工製)

項目	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	比重
WAG(%)	0.01	0.03	99.6	3.98

粒径 { # 1500, (-10 μ)
240, (-61 μ)
60, (-230 μ)

: 黒鉛粉末(日本黒鉛工業製)

項目	揮発分	灰分	固定炭素	比重
PAG-10 (%)	0.79	0.12	99.09	2.23

粒径 # 1500, (-10 μ)

表2 押し実験条件一覧表

粒子強化複合材料 マトリックス材 強化粒子	A-5056, A-2011 ○アルミナ粉(#1500, #240, #60) ○黒鉛粉(#1500)
粒子の体積含有率(V_p)	0 ~ 40 (%)
ビレット寸法	(外径) × (長さ) $\phi 40$ × 約60 (mm)
押し出し時のビレット温度 および固相分率(φ_c)	590 ~ 637 (°C) 90 ~ 10 (%)
ダイス寸法 ダイス径 ベアリング長さ ダイス角 押し出し比(λ)	(a), (b), (c), (d) $\phi 10, \phi 6, \phi 5, \phi 4$ mm 20, 3, 20, 20 mm 180°, 180°, 180°, 180° 16, 44, 64, 100
ダイス温度条件	予加熱なし方式
ラムスピード	約38 (mm/min.)

*東京大学生産技術研究所 第2部

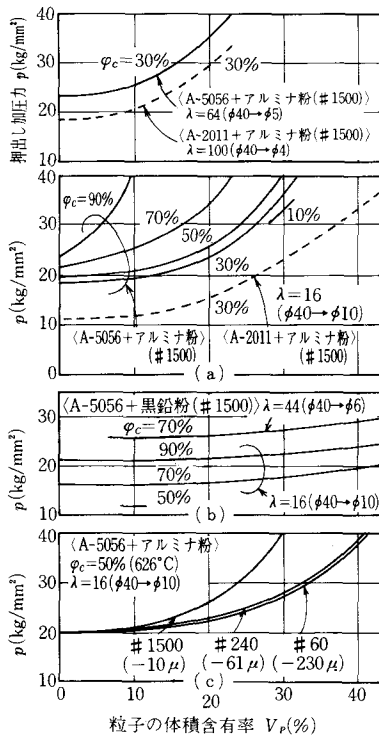


図1 押し加圧力 p と粒子の体積含有率 V_p の関係

(b)は、 $\langle A-5056 + \text{黒鉛粉} \rangle$ の $p-V_p$ 線図である。(a)と比べて V_p に対する p の変化が小さいのは、黒鉛が軟質の材料であること、および良好な潤滑性を有する為と考えられる。

(c)は、強化粒子の粒径の違いによる p の変化を示した結果である。図より、粒径が小さいほど V_p に対する p の立ち上がり早くかつ大きいことが判る。これは、粒径が小さいほど、粒子がマトリックス内に均一に分布し、くさび効果により、マトリックスの塑性流動を妨げる事、および粒径が小さいほど、その表面積の総和が大となるので液相成分の潤滑効果が相対的に低下する結果によるものと考えられる。したがって、逆に粒径が大きい程 V_p 大の製品を得ることが容易となる傾向があり、本実験では、A-5056 と粒径 #240、(-61 μ) のアルミナ粉を用いて $V_p = 40\%$ の健全な製品を得る事ができた。

3.2 P.R.M. 製品の機械的特性

写真1は、本方法による作製したP.R.M. 製品の一部であるが、写真のように、表面光沢のある健全な棒・線材が容易に押し出し可能である。

図2は製品の引張り試験の荷重 P とストローク S の関係を示す。本実験の結果は、半溶融押し出しのままの製品を対象としており、押し出し加工後に特別な調質はして

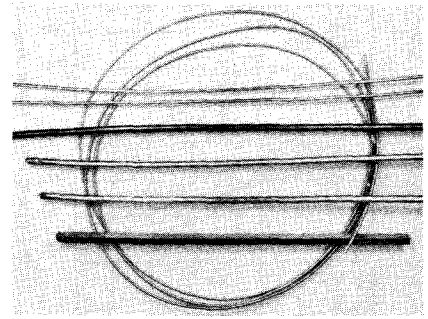


写真1 半溶融押し出し加工によるP.R.M.製品

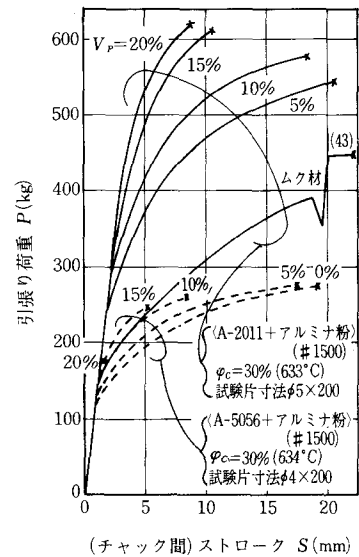


図2 引張り荷重 P - ストローク S 曲線

いない。また図中のムク材とは、市販の丸棒をビレットとして、半溶融押し出し加工を加えた製品を意味し、 $V_p = 0\%$ とは、本プロセスで処理したマトリックス材のみをビレットとして押し出した製品を意味する。そのため、 $V_p = 0\%$ の場合には酸化皮膜等が含まれている。

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。

図3(a)は、引張り強さ、硬度と V_p の関係を示す。硬度 $H_{V(200)}$ は、アルミナ粉の V_p が増すに従って単調に増加する。これに対して、引張り強さ σ_B に関しては、マトリックスの材質の違いにより若干の差はあるものの、伸び E_t の減少とのかねあいから、 $V_p = 15 \sim 20\%$ で最高値を示す。

黒鉛粉を混ぜた場合には $H_{V(200)}$ も σ_B も V_p の増加に対して単調に減少する。これは黒鉛自身の軟質性および潤滑性によるものと考えられる。

研究速報

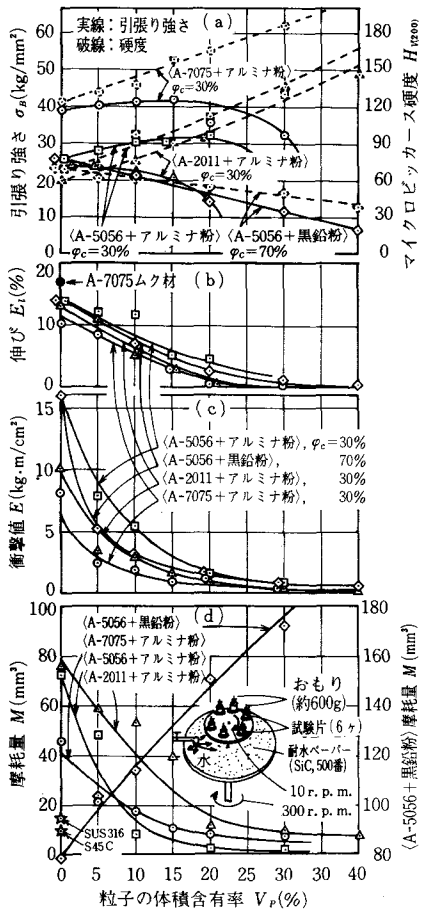


図3 P.R.M製品の機率的特性値

(b)は伸び E_l を示す。 E_l は V_p の増加に対して単調に減少し、 $V_p=20\sim30\%$ ではほぼ0%となる。また、マトリックス材質が A-5056, A-2011, A-7075 の順に伸びが少なくなる。

(c)は、シャルピーの衝撃値 E を示す。なお試験片は、 $\phi 10 \times 60$ mmの丸棒である。(b)の伸びの場合と類似の結果を示している。

(d)は、耐摩耗性の試験結果である。試験条件を図中に示す。アルミナ粉を混入した場合、 V_p の増加とともに摩耗量 M は急激に減少し、 V_p が10%程度の <A-5056+アルミナ粉>、 <A-7075+アルミナ粉> は、鉄系の SUS 316, S45 C とほぼ等しい摩耗量を示す。黒鉛を混入した場合の摩耗量は V_p の増加とともに著しく増加している。

図4は、冷間圧縮試験において、粒子の大きさが変形抵抗 $\sigma_{0.1}$ (ひずみ0.1における真応力) に与える影響を示す。図より、各 V_p に対して、粒子の粒径が小さいほど $\sigma_{0.1}$ の値が大きい事が判る。これは先に述べたよう

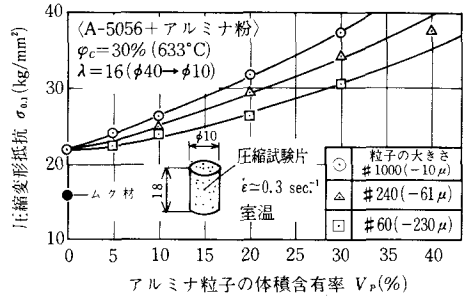


図4 粒子の大きさが変形抵抗 $\sigma_{0.1}$ に与える影響

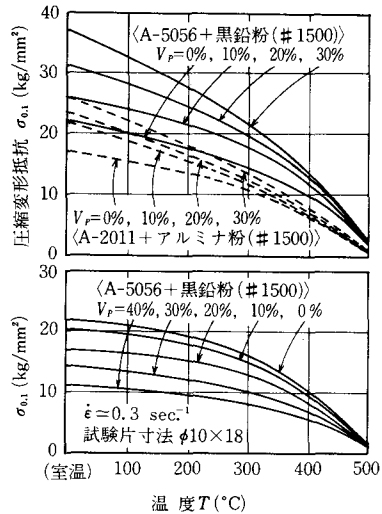


図5 圧縮変形抵抗 $\sigma_{0.1}$ と温度 T の関係

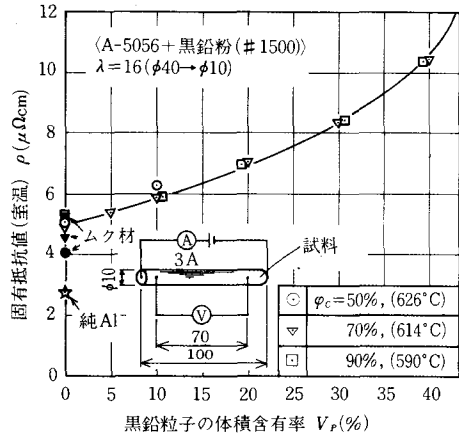


図6 固有抵抗値 ρ と粒子の体積含有率 V_p の関係

に、マトリックスの塑性流動に対する粒子のくさび効果に起因しているものと考えられる。また、圧縮試験温度が、300°C、450°Cの場合においても同様な結果を得ている。

図5は、圧縮変形抵抗 $\sigma_{0.1}$ と温度 T との関係を示す。

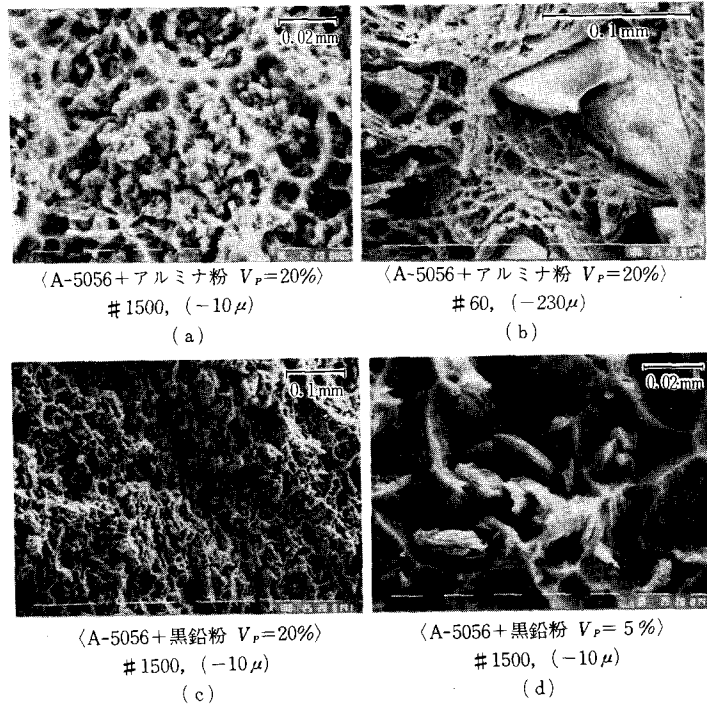


写真2 P. R. M 製品の内部組織

をパラメーターにして示す。図よりアルミナ粉の場合、マトリックスの材質によらず、 $V_p = 30\%$ の製品は、 $V_p = 0\%$ のものに比較して、各温度において30~50%高い圧縮変形抵抗を持つことがわかる。

試験温度が室温の場合、 V_p が増すに従って、小さいひずみで試験片の破壊が生じ、 V_p が30%の場合、<A-5056+アルミナ粉(#1500)>、<A-2011+アルミナ粉(#1500)>、<A-5056+黒鉛粉(#1500)>で、それぞれ、ひずみ0.3、0.2、0.2程度で破壊が起こった。一方試験温度が約300℃の場合、<A-5056+アルミナ粉>では、圧縮中止時のひずみ0.5までは破壊せず、<A-2011+アルミナ粉>ではひずみ約0.4で、<A-5056+黒鉛粉>の場合は室温時と変化なくひずみ約0.2程度で破壊が起こった。

図6は、<A-5056+黒鉛粉(#1500)>の場合の固有抵抗値 ρ と V_p の関係を示す。試験は、室温で図中に示すような電位差法で計測した。図より $V_p = 40\%$ 程度までは、 ρ は単調に増加しており、 $V_p = 0\%$ の約2倍の ρ の値になっていることがわかる。

3.3 製品の内部組織の観察

写真2は、シャルピー試験の破面をSEMで観察した様子を示す。(a)は、<A-5056+アルミナ粉#1500, (-10 μ)>の $V_p = 20\%$ の製品である。尾根の様に見え

るA-5056と、谷間に点在するアルミナ粒子の様子が観察できる。(b)は、粒径が#60(-230 μ)の場合の製品の破面で、マトリックスの中に粒子が埋没している様子が判る。また、マトリックスは延性破壊している事がわかる。(c)は、<A-5056+黒鉛粉#1500, (-10 μ)>の $V_p = 20\%$ の製品で、所々に粒が分布しているのが観察される。(d)は、(c)の状態をさらに拡大して見たもので、マトリックスの尾根と、谷間にある粒が観察できる。

4. 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2~3のアルミ合金と、アルミナ粉、黒鉛粉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。

また、その製品は耐摩耗性、耐熱強度あるいは潤滑性能などに優れた性質を示した。

粒子強化複合材料の分野における本技術の応用は、今後さらに期待できるものと考えられ、検討を進める予定である。

(1981年3月19日受理)

参考文献

- 1) 木内・杉山; 第30回塑加連講論, (1979-11) 260
- 2) 木内・杉山; 昭55春季塑加講論, (1980-5) 481
- 3) 木内・杉山; 第31回塑加連講論, (1980-11) 223