

半溶融加工に関する実験的研究—第13報— —半溶融攪拌法による粉末の製造—

Experimental Study on Metal Forming in Mashy State · 13th Report
—Production of Metal Powder by Mashy State Stirring Process—

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

1. はじめに

筆者らは、半溶融状態における素材の特性を利用した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⁾

本報では、半溶融攪拌法を適用し半溶融あるいは溶融状態に加熱した素材にセラミック粒子を無添加または添加する条件で、機械的に強攪拌しつつ冷却することにより金属(合金)粉末を製造し、粉末化の過程ならびにその粉末の性状等について検討した結果を報告する。

2. 本プロセスの特徴

本研究で開発した半溶融攪拌法による粉末製造プロセスの内容および特徴は次のとおりである。

(1) 半溶融状態に加熱した素材(この場合、固液共存領域の広い合金)を機械的に攪拌しつつ、かつ一定の速度で冷却することにより粉末化するプロセス。

(2) 半溶融状態に加熱した素材(この場合、固液共存領域の広い合金)あるいは溶融状態に加熱した素材(この場合、純金属あるいは固液共存領域の狭い合金)を機

械的に攪拌しつつセラミック粒子を添加し、かつ一定の速度で冷却することにより、全体をマトリックスとセラミックの粒子の混合状態に移行させるプロセス。さらにその混合粉末をマトリックス粉とセラミック粒子とに分離するプロセス。

本研究で検討した半溶融攪拌法の概要を図1に示す。

3. 実験方法および条件

粉末製造の実験条件をまとめて表1に示す。本実験で得られた粉末のうち、アルミ合金粉末は半溶融状態に加熱した素材を攪拌しつつ冷却して作成した。アルミ合金を除く金属(合金)粉末は、液相線直上の温度に加熱した溶融状態の素材にセラミック粒子を添加し、攪拌しつつ冷却して作成した。とくに、生成する粉末の粒度分布に及ぼす攪拌速度の影響を検討するためにモーターに連動する攪拌用回転羽根を使用し、その他の場合については攪拌棒を使用して手動で攪拌した。またセラミック粒子を添加して製造された一部の粉末について、一旦、セラミック粒子をふるい分けにより分離後、所定量のアル

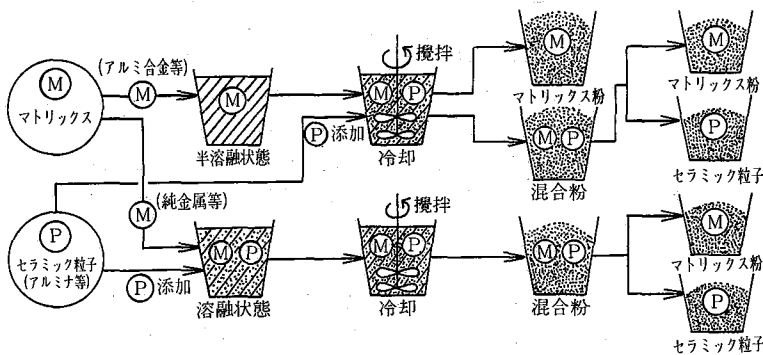
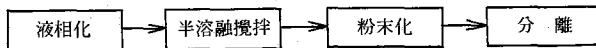


図1 金属(合金)粉末の半溶融攪拌製造プロセス概念図

表1 実験条件一覧表

素材	純アルミ アルミ合金: A2011, A5056, A5083 A6061, A6063, A7075 黄銅: Cu-35%Zn 純鉄: 炭素鋼: S45C 球状黒鉛鋳鉄: FCD70 ステンレス鋼: SUS304, 鉛
セラミック粒子	材質: アルミナ(WA: #1500) 添加量: 10~20wt. %
<p>溶融・半溶融攪拌装置概略図</p>	

* 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



鉄粉(-32+55メッシュ) 黄銅粉(-24+32メッシュ) A5083粉(-32+55メッシュ)
 図2 半溶融撹拌法により製造された金属(合金)粉末

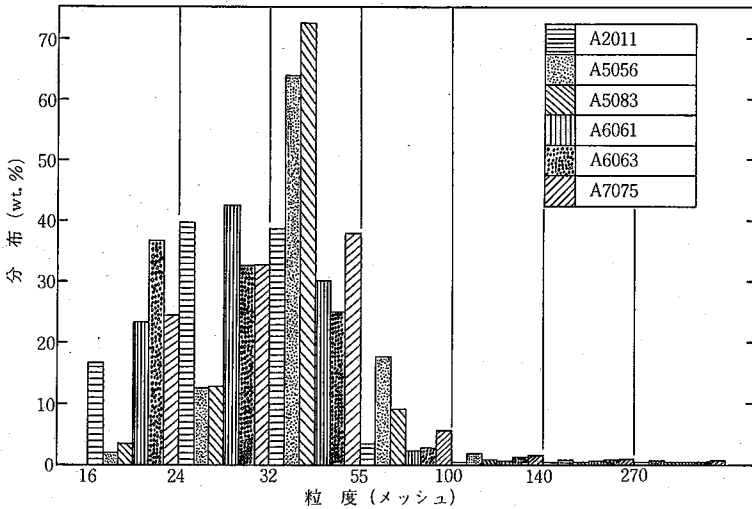


図3 アルミニウム合金粉末の粒度分布

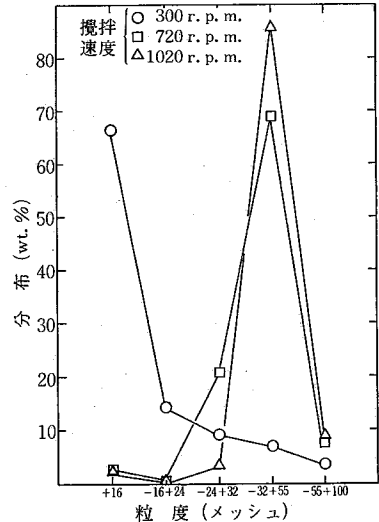


図4 鉛粉末の粒度分布に及ぼす撹拌速度の影響

ミナ粉末とよく混合させて、半溶融鍛造と同様な手段により粒子分散強化複合材料を作成した。本実験で作成した粉末の一例を図2に示す。本報では、主として顕微鏡による粉末の内部組織観察を通して、粉末化の過程ならびに粉末の性状等について検討する。

4. 実験結果および考察

4.1 粉末の粒度分布 各種アルミ合金を半溶融状態になる温度まで加熱後、セラミック粒子無添加のもとで、撹拌しつつ冷却して得られた-16メッシュの粉末について、粒度分布を調べた結果の一例を図3に示す。

粒度分布に及ぼす撹拌速度の影響を検討するために、約410°Cに保持した溶融鉛にアルミナ粉(#1500)を10重量%添加後、回転羽根により10分間、種々の撹拌速度で撹拌しつつ冷却して得られた混合粉末中のアルミナ粉をふるい分けにより分離後、+100メッシュの鉛粉末について粒度分布を調べた結果を図4に示す。図4より、撹拌速度が増加するに伴い、粗い粒子は減少し、細かい粒子が増大するものの、-55メッシュの粉末の増加の割合は少ないことがわかる。

4.2 アルミ合金の粉末化 A2011合金の粉末化の過程について検討するために、半溶融状態の素材を撹拌・

冷却して得られた粉末の断面の内部組織観察を行った結果を図5および図6に示す。図5より粒界に存在する液相成分によって初晶粒子が分離していく様子がみられる。また、融液中に存在した樹枝状晶は、粉末化の過程で枝部が変形あるいは消滅した丸味を帯びた形となっており、粒径が小さいほど、粒の形はさらに丸味を呈するようになる。図6より、半溶融状態の素材の特性の一つである分離性の様子がわかる。図7はA2011合金を半溶融温度域へ加熱する過程における組織の変化を図5,6と比較するために、50%および70%の固相分率を示す温度に一定時間保持した後、水冷した試料の内部組織を観察している。図7より粒界に液相成分が存在する様子が観察され、結晶粒の変化する過程がみられる。

図8はA7075合金の粉末が分離する様子を観察したもので、融液中の樹枝状晶を明瞭にするために半溶融状態の素材を水冷した組織も併せて示している。図8より、A7075合金も前述のA2011合金と同様な分離性を示していることがわかる。

4.3 セラミック粒子添加による粉末化 純金属を融点において固相と液相とを定常的に共存させるためには、熱の入出力を制御することにより可能となり得るが、

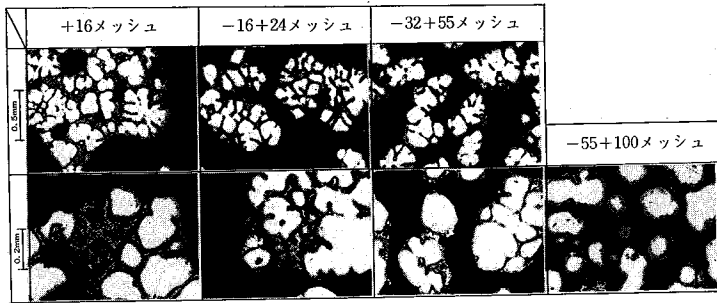


図 5 A 2011 合金の粉末化の観察

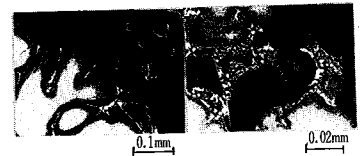


図 6 A 2011 合金の分離状況の観察

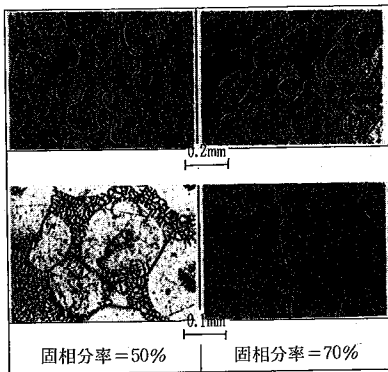


図 7 固相分率の低下による内部組織の変化

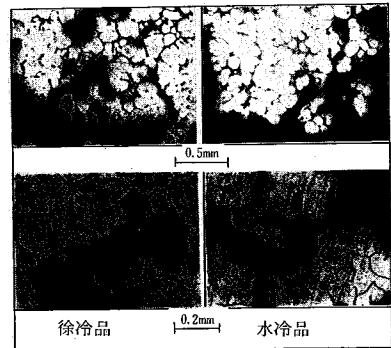


図 8 A 7075 合金の分離状況の観察

初晶粒子の分離性は悪く、半溶融攪拌法を適用するには、製法上の限界がある。本実験では純金属や半溶融温度域が狭い合金について、初晶粒子の分離性を改善するために、溶融金属との濡れ性の悪いセラミック（この場合、アルミナ）粒子を添加することにより、攪拌・冷却の手法で粉末を製造できることが見出された。以下に、この手法を適用した 2~3 の例について示す。

4.3.1 純アルミの粉末化

図 9 は純アルミ粉末の分離状況を観察したものである。黒い部分がアルミをとりまくアルミナ粉を示しており粉末化の過程で溶融アルミがアルミナ粒子にとり囲まれながら融液から分離し易くなることも考えられる。

4.3.2 鉄系合金の粉末化

図 10 は鉄系合金の粉末化の過程を観察するために示しており、とくに SUS 304 の粒子が分離していく様子がわかる。図 11 は粉末の粒形を比較観察したものである。粒径が小さくなるにつれて、粒子は丸味を帯びてくる様子がわかる。なお、溶解に黒鉛のつぼを使用しているため素材が純鉄の場合でも、パーライトや一部、片状黒鉛の存在が観察される。

4.4 粉末の組成 粒度、粒度分布、粒径および化学組成などの粉末の特性は、粉末の見掛密度、流動度、圧縮

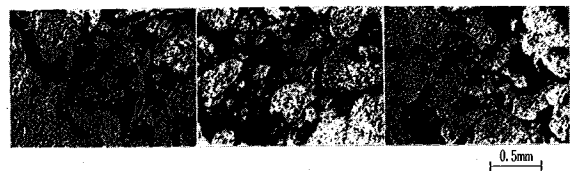


図 9 純アルミ粉末の分離状況の観察

性ならびに成形性などの諸性質に影響を及ぼすため、粉末製造上、問題とされる場合が多い。半溶融攪拌法により、セラミック粒子無添加のもとで攪拌・冷却して得られたアルミ合金粉末について、その粉末に含まれる代表的酸化物であるアルミナの化学分析を行った結果を表 2 に示す。表より、合金中に含有されるマグネシウム量が多いほど、アルミナの生成量は少ない傾向となっている。

4.5 粒子分散強化複合材料の製造 本報で検討された半溶融攪拌法を適用し、アルミナ粉を添加し攪拌・冷却の手法により作成した Cu-35% Zn 合金粉末をマトリックス材とし、体積含有率 (V_p) で 10% および 20% のアルミナ粉 (# 1500) を強化粒子として分散させた複合材料を半溶融鍛造と同様な手段により製造・加工を行った。図 12 にその製品の内部組織を示す。白い部分がマトリックスの黄銅で、網目状の黒く見える部分は黄銅とアルミナが混在する領域であり、 V_p が増大するに伴い多

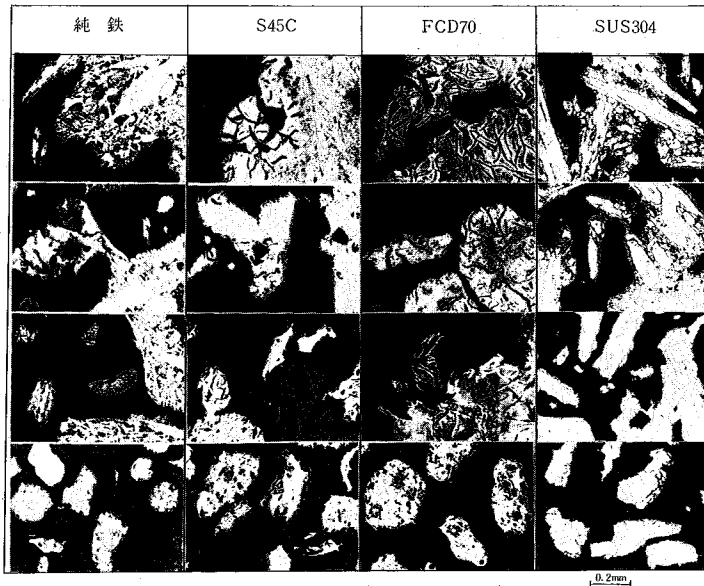


図10 鉄系合金の粉末化の観察

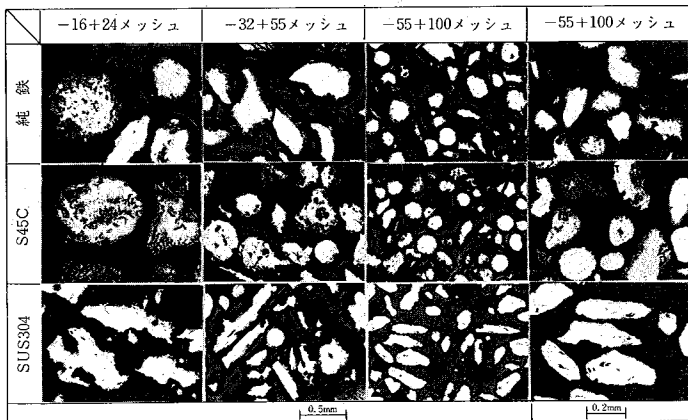


図11 鉄系合金粉末の粒形の観察

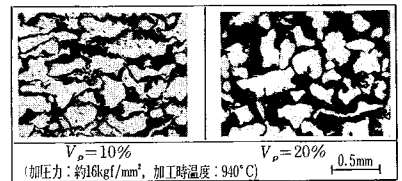


図12 黄銅粉を使用した複合材料の内部組織

表2 アルミ合金粉末中のアルミナ分析 (wt%)

アルミ合金	Al ₂ O ₃	Mg*
A5056	0.01	5.0
A5083	0.09	4.6
A7075	0.13	2.6
A6063	0.21	0.5

*アルミ合金素材に含有されるMg量

くなっている。

5. ま と め

半溶融攪拌法を適用し各種金属(合金)粉末の製造を試み、定常的な半溶融状態になりにくい純金属あるいは、固液共存領域の狭い合金を溶融状態に加熱し、セラミック粒子を添加して攪拌・冷却することにより粉末を製造できることを明らかにした。その他、粉末化の過程ならびに粉末の性状などについて検討した。

(1982年3月27日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内, 杉山: 第31回塑加連講論, (1980-11) 223
- 2) 木内, 杉山, 遠藤: 第32回塑加連講論 (1981-11) 329