

アルミニウム合金粉末の半溶融複合加工 第 4 報

Complex Mashy-State Processing of Al-Alloy Powder*4

木 内 学*・杉 山 澄 雄*・高 木 茂 義**
Manabu KIUCHI, Sumio SUGIYAMA and Shigeyoshi TAKAGI

1. は じ め に

粉末冶金法において、アルミニウム合金粉末を加工対象とする場合、粒子表面の強固な酸化皮膜の存在が問題となる。すなわち、粒子間の十分な接合を得るためには、酸化皮膜の除去、あるいは押出加工のような強加工による新生面の生成が不可欠である。特に、アルミナ等の非金属粉末を含む複合粉末の場合は、その必要性が一層増すことが知られている。

筆者らが開発を進めている金属粉の半溶融複合加工法は、金属粉を固液共存状態に加熱および加圧成形し、金属粉の部分溶解によって発生する液相成分を介して粒子相互を接合せ、さらに、各種の半溶融あるいは熱間・冷間の塑性加工を加えることによって、所要の製品を得ようとするものであり、金属粉の加工の分野において、簡便かつ有用な加工法であると考えられる。

既報¹⁾²⁾では、主に、アルミニウム合金粉のみを複合加工(半溶融鍛造および熱間・冷間圧延)することにより得られた板材について、機械的性質等を調べた。また、前報³⁾では、アルミニウム合金粉をマトリックスとし、アルミナを体積含有率で10%含む複合粉を、3種類の複合加工条件によって加工し、得られた板材の特性を、その内部組織、硬さおよび曲げ性の点から評価検討した。本報では、同様の複合粉を、半溶融鍛造および熱間圧延により板材へと加工する場合について、アルミナ含有率、アルミナ粒度およびマトリックス材質等を種々変化させ、その影響について前報³⁾同様、硬さおよび曲げ性の点から評価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

表 1 に示すように、マトリックスとしては、前報³⁾同様、A6061合金粉を主に使用し、また、一部A2014合金粉も使用した。強化粒子としては、#100、#400、#1200、#

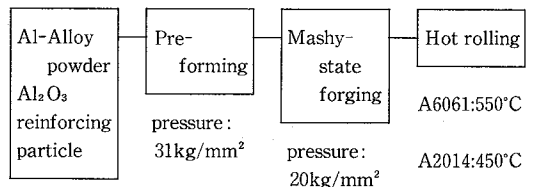
*東京大学生産技術研究所 第 2 部

**受託研究員 (住友軽金属工業㈱)

表 1 実験条件および実験装置

Material matrix	A6061 air atomized powder (-#325 ; max. 44 μ m)
reinforcing particle	A2014 air atomized powder (-#250 ; max. 63 μ m) Al ₂ O ₃ powder (#100 ; about 149 μ m) (#400 ; about 37 μ m) (#1200 ; about 13 μ m) (#3000 ; about 5 μ m)
Pre-forming	31kg/mm ² , room temp.
Mashy-state forging forging temp. pressure holding time	630°C~650°C 20kg/mm ² 60sec
Rolling rolling temp. lubrication	A6061 series ; 550°C A2014 series ; 450°C no lubricant
Equipments forging press rolling mill rolling speed	oil hydraulic press max. capacity : 100ton two-high mill roll size : ϕ 250×110 ^o mm 60r. p. m.

表 2 製品の複合加工条件



3000という粒度の異なる 4 種類のアルミナ粉を用いた。採用した複合加工条件を表 2 に示す。まず、アルミニウム合金粉とアルミナ粉との混合粉を金型内に入れ、室温にて予成形し、その後半溶融鍛造により、80×40×3~7mmの試片を作製した。次にこの試片を、厚さ 1mm

研 究 速 報

程度にまで熱間圧延して各種板材を製造した。前報³⁾では、主に圧下率48%程度の熱間圧延の後に、冷間圧延を行って板材を製造したが、アルミナ粉の体積含有率を増加させるにつれて冷間加工性が劣化するため、今回は熱間圧延のみを行い板材を製造した。

表3に各種製品の製造条件を示す。記号A, B, C, Dの各製品グループは、それぞれ、半溶融鍛造温度の影響、熱延圧下率の影響、アルミナ粉の粒度と体積含有率の影響、マトリクス材質の相違による影響について調べたものである。

3. 実験結果および考察

本実験では、硬さと曲げ性でその製品の性能を評価しているが、硬さについては前報³⁾同様、ロックウェル硬さ試験機のFスケールにて測定を行った。また、曲げ性については、3点支持曲げ試験における割れ発生時のポン

表3 各種製品の製造条件

mark	material		*) V _p /%	mashy-state forging temp. /°C	reduction in thickness /%	thickness /mm
	matrix	Al ₂ O ₃				
A	A6061	#100	30	631~651	80~83	1.21±0.06
		#1200		630~650	80~84	1.19±0.12
B	A6061	#1200	20	639~642	61~85	1.13±0.09
C	A6061	#100	0~35	640~645	80~84	1.16±0.08
		#400	10~40	640~644	79~83	1.17±0.09
		#1200	10~35	640~642	79~84	1.20±0.10
		#3000	10~30	640~643	80~87	1.14±0.10
D	A6061	#1200	0, 20	640~642	79~84	1.20±0.10
	A2014			630	79~83	1.04±0.07

*) V_p: volumetric fraction of reinforcing particle (Al₂O₃)

チ押し込み量によって評価した。曲げ試験は前報³⁾と同様の方法を採用し、試験片は、圧延方向と平行に切り出し、その寸法は、(幅×長さ) 10×150mmである。

3-1 製品内部の観察結果

図1は圧延後の製品内部のSEM像であるが、アルミナ粒子の割れ、およびアルミナ粒子近傍に空隙と思われるものが、若干観察された。一連の観察結果により、このアルミナ粒子の割れは、圧延時の強加工によって生じたものであり、空隙も強加工時に生じたマトリクスとアルミナ粒子の剝離に起因するものと考えられる。

3-2 半溶融鍛造温度の影響

半溶融鍛造温度を630, 640, 650°Cと変化させた場合の硬さ、曲げ性の調査結果を、図2に示す。硬さについては、半溶融鍛造温度の影響はあまり顕著に現れていない。一方、曲げ性については、アルミナ粉の粒度によって異なる傾向を示した。

細粒である#1200 Al₂O₃を含有する板材は、半溶融鍛造温度の上昇に伴い、熱間圧延後の曲げ性は劣化した。これは、半溶融鍛造時の温度上昇に伴うマトリクスの残留固相粒子の小径化により、熱間圧延によるマトリクスの繊維状組織の発達が十分起こらず、曲げ性の劣化につながったものと考えられる。また、同じく#1200 Al₂O₃を含有する板材の場合、半溶融鍛造温度が630°Cでは、曲げ性の測定値のばらつきが大きかったが、これは、逆に液相量が少ないために、マトリクスとアルミナ粒子の

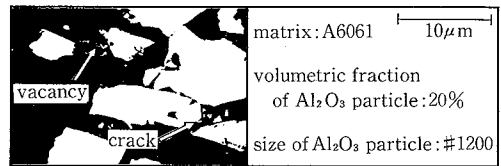


図1 製品内部のSEM観察結果

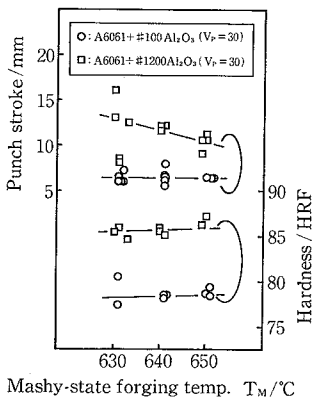


図2 硬さ、曲げ性に及ぼす半溶融鍛造温度の影響

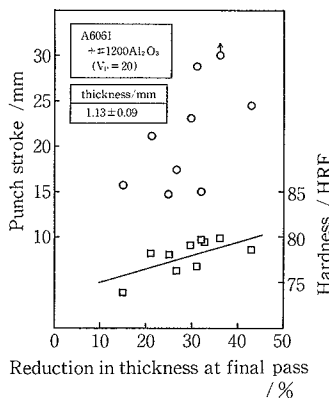


図3 硬さ、曲げ性に及ぼす最終圧下率の影響

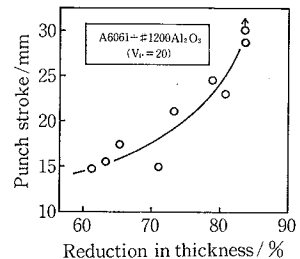


図4 曲げ性に及ぼす総圧下率の影響

一方、#100 Al₂O₃を強化粒子とする板材では、曲げ性が半溶融鍛造温度にあまり依存しない結果となった。これは、次のように考えられる。すなわち、アルミナ粒子が非常に大きいので、それが熱間圧延時のマトリックス粒子の展伸の障害となり、マトリックスは湾曲した組織を持つようになる。それゆえ、鍛造温度が低く展伸前のマトリックス粒子がたとえ大きくても、圧延後の湾曲した組織のため曲げ性はそれほど向上せず、鍛造温度の影響が薄れたものと考えられる。

3-3 熱延圧下率の影響

記号Bグループの各製品は、3～4パスの熱間圧延を

表 4 アルミナの粒度および体積含有率の影響

Al ₂ O ₃ particle		Hardness	formability for bending
volumetric fraction	up	↑	↓
	down	↓	↑
particle size	large	↓	↓
	small	↑	↑

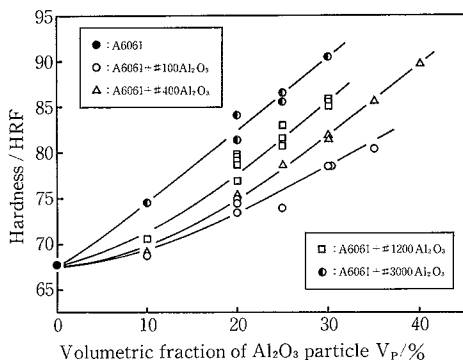


図 5 硬さに及ぼすアルミナ体積含有率の影響

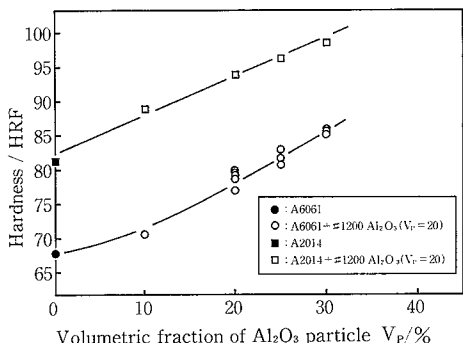


図 7 硬さに及ぼすマトリックス材質の影響

加えているが、その最終圧下率が、硬さおよび曲げ性に与える影響を整理したのが、図3である。圧下率の増加に伴い硬さも増加している。これは、熱間圧延とはいうものの圧延ロールは室温であるため、マトリックスは多少加工硬化しているためと考えられる。一方、曲げ性については、最終圧下率との相関はないようである。

そこで、総圧下率が曲げ性に与える影響を整理した結果が、図4である。総圧下率の増大にともない、曲げ性が向上していることがわかる。これは明らかに、総圧下率の増大によるマトリックス粒子の展伸、すなわち繊維状組織の発達、曲げ性向上に寄与していることを示している。

3-4 アルミナの粒度および体積含有率の影響

複合板材中のアルミナの体積含有率とその硬さの関係を、アルミナの粒度をパラメータとして図5に示す。また、同様に曲げ性について示した結果が、図6である。

表4にこれらの結果をまとめて示す。↑は向上(増大)を示し、↓は劣化(減少)を示す。アルミナの体積含有率に対して、硬さと曲げ性では逆の傾向を示すが、粒度については、どちらも細粒のほうが向上するという結果

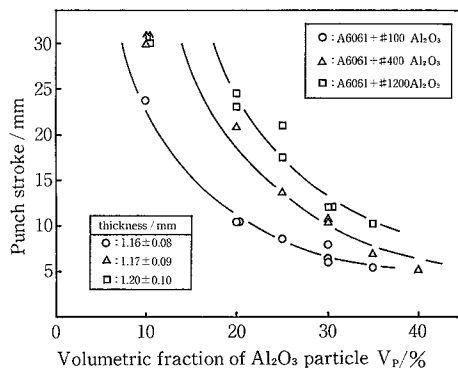


図 6 曲げ性に及ぼすアルミナ体積含有率の影響

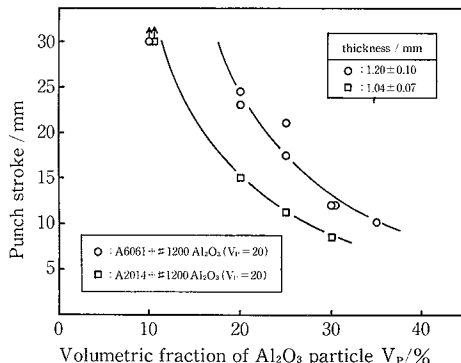


図 8 曲げ性に及ぼすマトリックス材質の影響

研究速報

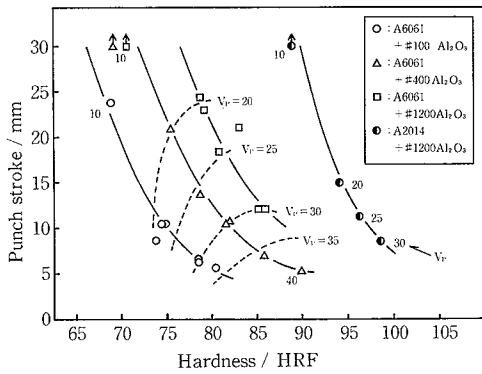


図9 硬さと曲げ性の関係

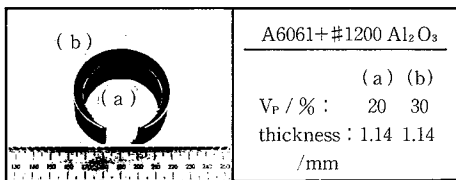


図10 製品板材のロール曲げ成形例

を得た。同じ体積含有率でも、アルミナ粒子が細粒であると、その数が増加するため密に分布することとなり、硬さが向上し、一方、細粒であるほど、圧延加工時にマトリックスの延伸に容易にアルミナ粒子が追従するため、マトリックスが繊維状組織になりやすく、その結果、曲げ性が向上するものと考えられる。

3-5 マトリックス材質の相違による影響

マトリックス材質にA6061合金およびA2014合金を用いた場合の硬さおよび曲げ性の比較を、図7、8に示す。A2014合金はA6061合金より高強度合金であるため、硬さに対してもそれが反映されている。一方、曲げ性については、A2014合金をマトリックスとして用いた場合は、A6061+#100とA6061+#400との中間程度の加工性があり、高硬度の割には曲げ性は良好といえる。

3-6 硬さと曲げ性の関係

図9は、3-4、5の結果より、熱延圧下率が約80%のものについて硬さと曲げ性の関係を示したものである。グラフの右上方にいくほど、硬さと曲げ性が共に向上することを示す。

本実験により得られた板材の3本ロールによる曲げ成形例を、図10に示す。これは、成形限界まで加工したものではなく、高率のアルミナ体積含有率でも、良好な成形性を有しているといえよう。

3-7 硬さおよび曲げ性に影響を及ぼす要因

以上より明らかになった硬さおよび曲げ性に影響を及ぼす要因とその影響について、表5に模式的に示す。

表5 硬さおよび曲げ性に影響を及ぼす要因

要因	鍛造加工時	圧延加工時	曲げ性	硬さ	
液相量	多	マトリックス粒子径小	短繊維状組織	↓(劣化)	---
	少	マトリックス粒子径大	長繊維状組織	↑(向上)	---
総圧下率	大	接合不確実		↓	---
		マトリックス延伸(繊維状組織となる)		↑	---
		Al ₂ O ₃ 粒子の割れ(空隙が生じる)		↓	---
最終圧下率	大	マトリックス延伸が不十分(繊維状組織不十分)	↓	---	
	小	マトリックス延伸が十分	↑	---	
Al ₂ O ₃ 粒子の大小	大	マトリックス延伸の障害(割れが起きやすい)	↓	---	
	小	マトリックスの變形に追従(延伸の障害にならない)	↑	---	
Al ₂ O ₃ 粒子の量	多	Al ₂ O ₃ が凝集しやすい(空隙ができやすい)	↓	↑	
	少	Al ₂ O ₃ は凝集しない	↑	↓	

これは、個々の要因が単独に存在する場合について述べているものであり、実際の場合は、これらが複合的に影響を及ぼし合う。たとえば、アルミナ粒子の大きさは、小さいほうが曲げ性を向上させるが、量が多くなるとマトリックスとアルミナ粒子間の接合を十分確保することが次第に難しくなる。マトリックスとアルミナ粒子(強化粒子)との接合の良否およびマトリックスの繊維状組織の発達の程度により、曲げ性が定まるといえる。

4. ま と め

半溶融加工法の応用に関する研究の一環として、半溶融鍛造および熱間圧延を複合的に適用することにより、4種類の粒度(#100, #400, #1200, #3000)のアルミナ粒子を体積含有率で10~40%含有するA6061およびA2014合金の複合材(板材)を製造し、硬さおよび曲げ性の関係を調べた結果、表5に示すように、硬さおよび曲げ性を向上あるいは劣化させる要因を明らかにした。これらの結果は、他のアルミ合金粉あるいはそれらの混合粉をマトリックスとし、アルミナ以外の他の各種セラミックス粒子やセラミックス繊維を強化材として用いる複合材の製造についても、同様に応用できると考えられる。(1988年5月16日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内, 杉山, 富岡: 生産研究, Vol. 38 (1986) No. 6, 245
- 2) 木内, 杉山, 山本: 生産研究, Vol. 39 (1987) No. 2, 54
- 3) 木内, 杉山, 高木: 生産研究, Vol. 40 (1988) No. 2, 102