

粉末液相成形法によるアルミニウム基複合材料の 製造とその特性

Fabrication and Properties of Aluminum Matrix Composite by Powder Liquid Forming Technique

宮田 良雄* 白川 信彦* 和田林良一*
Yoshio Miyata Nobuhiko Shirakawa Ryoichi Wadabayashi

(1997年11月6日受理)

The powder liquid forming (PLF) technique is one of the composite processing technologies and has come to be paid attention. This technique has both some advantages of the powder metallurgy and those of the liquid metal forming.

In this study, the silicon carbide (SiC) particle/pure aluminum metal matrix composite was fabricated using this technique, and the formability and deformability and mechanical properties were investigated.

At first, the aluminum powder (#150) and SiC powder (#180, #400, #1000, amount (mass%) 10, 20, 40) were mixed, and then compressed at room temperature. The obtained green compacts were put in the die, and heated up to the forming temperatures (723K, 923K, 953K, 973K). After that, they were compressed at the same temperatures.

The distribution of SiC powder was almost uniform regardless of the forming temperature or the amount or the particle size. When the obtained green compacts were formed, for instance, at the temperature below the melting point and at the forming pressure of 150MPa, the relative density did not reach to 1.0. When the obtained green compacts were formed at the temperature above the melting point and at the forming pressure of 58MPa, regardless of the amount or the particle size of SiC powder, the relative density reached to 1.0.

As for the ductility, it was found that the influence of the amount of SiC powder was larger than that of the particle size. As the amount of SiC powder increased, the strength of PLF products increased but the ductility decreased.

キーワード：粉末液相成形法，粉末冶金法，溶湯法，複合材料，複合加工技術，強化材，粉末粒度

1. はじめに

近年，金属加工技術の複合化が注目され，今後の素形材産業の展望を開く技術として期待されている。複合材料の製造法として粉末冶金法と溶湯法が広く用いられているが，粉末冶金法では密度が低く，溶湯法では複合材

の不均一な分布等，両者ともに短所を有している。

そこで粉末冶金法と溶湯法の特徴を合わせ持った複合加工技術である粉末液相成形法^{1)~4)}を用いて，アルミニウム基に複合強化材として炭化珪素 (SiC) 粒子を分散させた複合材料を作成し，その成形性と性状を調査したので報告する。

* 生産技術部 塑性加工グループ

2. 実験方法

(1) 供試粉末と粉末予備成形条件

供試粉末は、純アルミニウム(-150メッシュ) (以後、純アルミニウムをアルミニウムと称し、-XXXメッシュを#XXXにて表示する)と炭化珪素(SiC) (#180, #400, #1000)で、図1にそれらの粒形写真を、表1にアルミ

(0.8)になるように成形荷重を調整して圧粉体を成形した。これを粉末液相成形用素材として使用した。なお相対密度は試料の測定密度を理論密度(アルミニウム:2.70g/cm³, SiC: 3.17g/cm³)で除した値で示した。

粉末液相成形には粉末予備成形と同じ30トン万能試験機を使用し、金型は、粉末予備成形用金型と同様の円柱形状(φ25.4mm)で、コイニング形式で密閉型成形でき

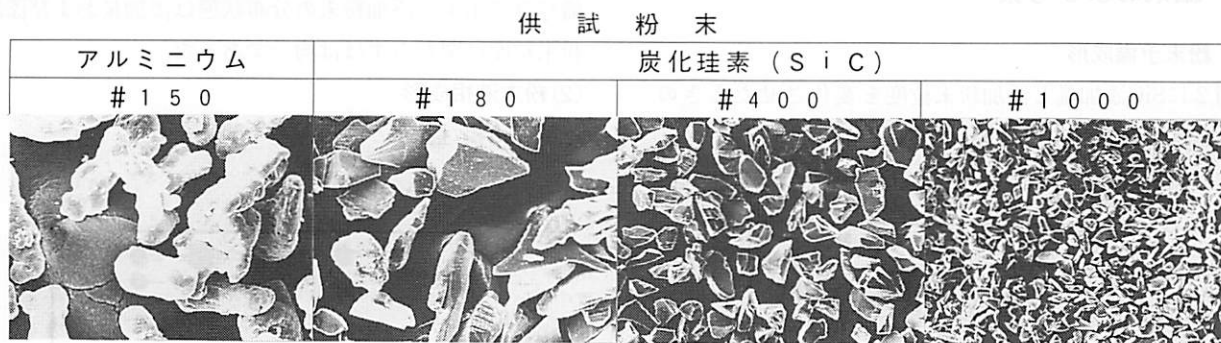


図1 供試粉末の粒形写真
Scanning electron micrograph of powder used

表1 化学組成と粒度分布

Chemical composition and particle size distribution

化学組成 (mass%)					
Fe	Cu	Si	Mn	Mg	Al
0.004	0.001	0.003	Trace	0.001	>99.9
粒度分布 (mass%)					
-44μ	+44~ -63μ	+63~ -74μ	+74~ -105μ	+105~ -149μ	+149μ
2.4	27.4	37.3	28.8	3.9	0.2

ニウム粉末の化学組成と粒度分布を示す。粉末粒子の形状は、アルミニウム粉末は丸みを帯び、SiC粉末は粒度に関係なく角張った形状を呈している。

アルミニウム粉末に対するSiC粉末の添加割合は、0,10,20,30,40mass% (以後massの表示は省く)の5種類とした。両粉末を秤量後、超小型V型混合機で乾式にて3.6ks混合し、粉末予備成形に供した。

粉末予備成形は、30トン万能材料試験機を使用し、混合粉末20gをダイ・キャビティ内に入れ、常温でそれぞれ19.6, 29.4, 49.0, 78.4, 117.6kNの加圧力で円柱形状(φ25.4mm)に圧縮成形した。この時の潤滑は、エチルアルコールに分散させたステアリン酸亜鉛を型壁に刷毛塗りした。

(2) 粉末液相成形条件

まず、粉末予備成形の実験において各添加粉末粒度における粉末成形品の相対密度に及ぼすSiC添加量と成形圧力との関係を求めた。その結果を参考にして、添加粉末粒度と添加量を変化させた場合でも相対密度がほぼ同一

る構造とした。

成形時の加熱は、水性黒鉛潤滑剤を塗布した金型内に試料を挿入し、金型ごと箱形加熱炉に入れて、大気雰囲気中にて行った。成形温度はアルミニウムの融点(933K)を境に723,923,953,973Kの4段階とし、この温度で1.8ks保持した後、29.4,49.0,78.4,98.0,117.6kNの荷重にて成形を行った。

(3) 粉末液相成形品の性状

粉末液相成形品の性状を明らかにするため、953Kでの成形品についてその変形能、機械的性質および板材としての二次成形性を調べた。

変形能は、特殊鍛造試験機(ボードドロップハンマ)を用いて鍛造温度923Kにて自由据え込みを行い、試料側面での割れの有無で判断した。また、機械的性質と板材としての成形性を見る目的で、添加量10,20%の成形品

表2 深絞りおよび張出し試験条件
Examination condition of deep drawing and bulging

深絞り試験条件		張出し試験条件	
ポ ン チ	φ40×R4, R8	張出し速度	5mm/min
ダ イ ス	φ45×R10	ブランク	
潤 滑	白色ワセリン	締め付け荷重	10KN
絞 り 速 度	11~12mm/min	潤 滑	白色ワセリン
しわ押さえ力	1.0KN		

を圧縮・圧延加工にて直径約60mm、板厚約2.3mmの円板に成形した。この円板からワイヤーカット放電加工機にて標点間距離20mm、巾7.5mmの引張試験片を切り出し、インストロン万能試験機を用いて引張試験を行った。深絞り、張出し用試料は円板をそのまま使用した。表2に深絞り試験および張出し試験条件を示す。なお、張出し試験にはエリクセン試験工具を用いた。

3. 結果および考察

(1) 粉末予備成形

図2にSiC添加量と添加粉末粒度を変化させたときの相対密度と成形圧力の関係を示す。

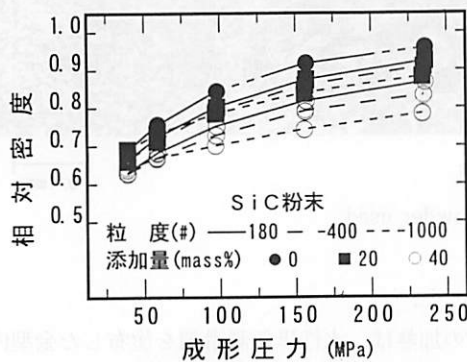


図2 相対密度と成形圧力の関係
Relation between relative density and compacting pressure

添加量および添加粉末粒度が同じ場合、成形圧力の増加にともなって相対密度は上昇した。また同一成形圧力で比較すると、添加粉末粒度に関わらず添加量の増加にともなって相対密度は低下した。これは、SiC粉末の変形抵抗がアルミニウム粉末に比べて高いためであると考えられ、添加量の増加によりその傾向が顕著に表れていることと対応する。

一方、添加量および成形圧力が同じ場合の添加粉末粒度の影響は、成形圧力が低い時は添加粉末粒度が細かい

ほど相対密度は多少高くなる傾向を示している。これは混合粉末の金型充填時にアルミニウム粉末間の隙間に細かな添加粉末が入り込み、見掛け密度が粉末成形加圧前に上昇したためと考えられる。しかし、成形圧力が上昇するにしたがい添加粉末粒度が細かいほど相対密度は低い値を示した。このことから混合粉末の成形性は、添加粉末粒度が細かいほど劣っていることがわかる。

図3に圧粉体成形品のSiC粉末の分布状態を顕微鏡組織写真で示す。添加粉末の分布状態は添加量および添加粉末粒度に関わらずほぼ均一であった。

(2) 粉末液相成形

図4に相対密度と成形圧力の関係を示す。

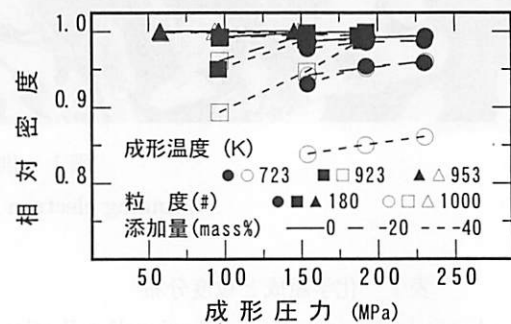


図4 相対密度と成形圧力の関係
Relation between relative density and forming pressure

成形温度がアルミニウムの融点以下の723K,923Kでは、添加量および添加粉末粒度が同じ場合成形圧力の増加にともなって相対密度は上昇したが、融点以下での成形では相対密度は1.0に達することは極めて困難であった。しかし融点以上953Kでの成形では、添加粉末の量および粒度に関係なく、低い成形圧力(57.8MPa)で相対密度は1.0まで上昇した。また融点以下での成形において同一成形圧力で比較するとSiC粉末の添加量の増加にともなって相対密度は低下する傾向が認められた。これは、アルミニウム粉末とSiC粉末の変形抵抗の差に起因する

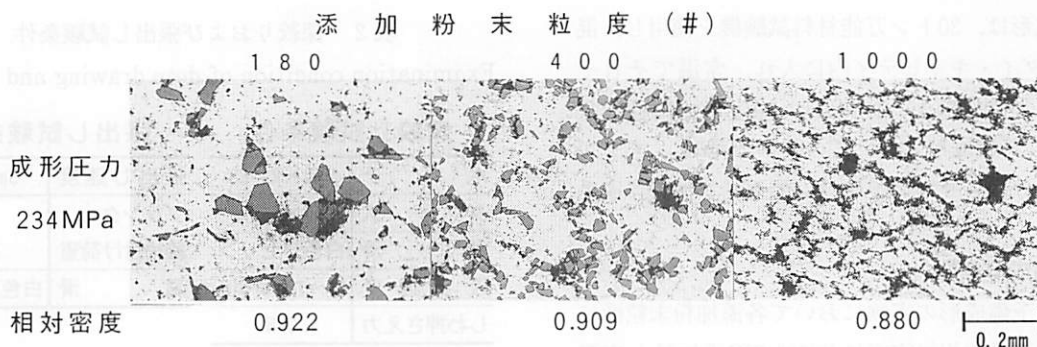


図3 顕微鏡組織写真 (添加量20mass%)
Microstructures of SiC particle dispersed Al after compacting (mass=20%)

ものと考えられる。添加粉末粒度が細かいほど表面積は大きくなるため、これが密度上昇の差として表れたものと考えられ、アルミニウムの融点以下では添加量に関係なく、添加粉末粒度の細かい方が相対密度は低い値を示した。

図5に同一成形圧力で成形した場合の相対密度と成形温度の関係を、図6に成形温度923Kと953Kで成形した粉末液相成形品のSiC粉末の分布状態を示す。

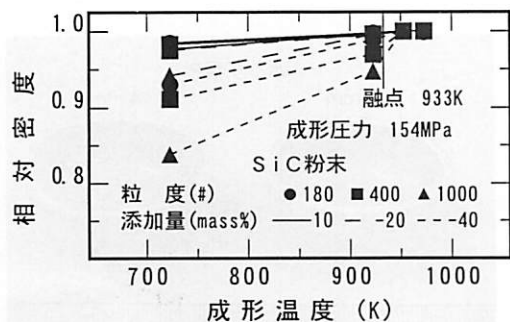


図5 相対密度と成形温度の関係
Relation between relative density and forming temperature

図5に見られるように、通常アルミニウムの加工温度723Kでは相対密度は低い値を示し、特に添加量40%、添加粉末粒度#1000では相対密度は0.84程度と低い値であり、アルミニウムの融点以下の成形では、添加量の増加および添加粉末粒度が細くなるにしたがって相対密度は低下する傾向が認められた。これは図6に見られるように内部に気孔が存在していることと対応する。し

かし、融点以上の成形では添加粉末の量および粒度に関係なく相対密度は1.0まで上昇した。この温度域では液相状態での成形となるため、アルミニウムの变形抵抗の一段の低下とともにアルミニウムとSiC粉末間の濡れ性が向上し、高密度化につながったものと考えられる。なお、図6に見られるように添加粉末の分布状態は、コニング方式による成形のため添加量および添加粉末粒度に関わらずほぼ均一であった。

(3) 粉末液相成形品の性状

図7に変形能に及ぼす添加粉末粒度の影響を示す。添加粉末粒度#180で添加量10%と40%を比較すると、その変形能は対数型で0.46と大きな差を示している。また、添加粉末粒度が変化してもその傾向は同じであり、添加量の増加にともない変形能は低下する傾向を示した。

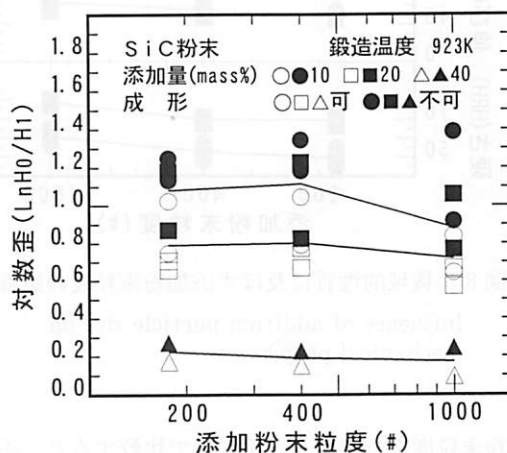


図7 変形能に及ぼす添加粉末粒度の影響
Influence of addition particle size on deformability

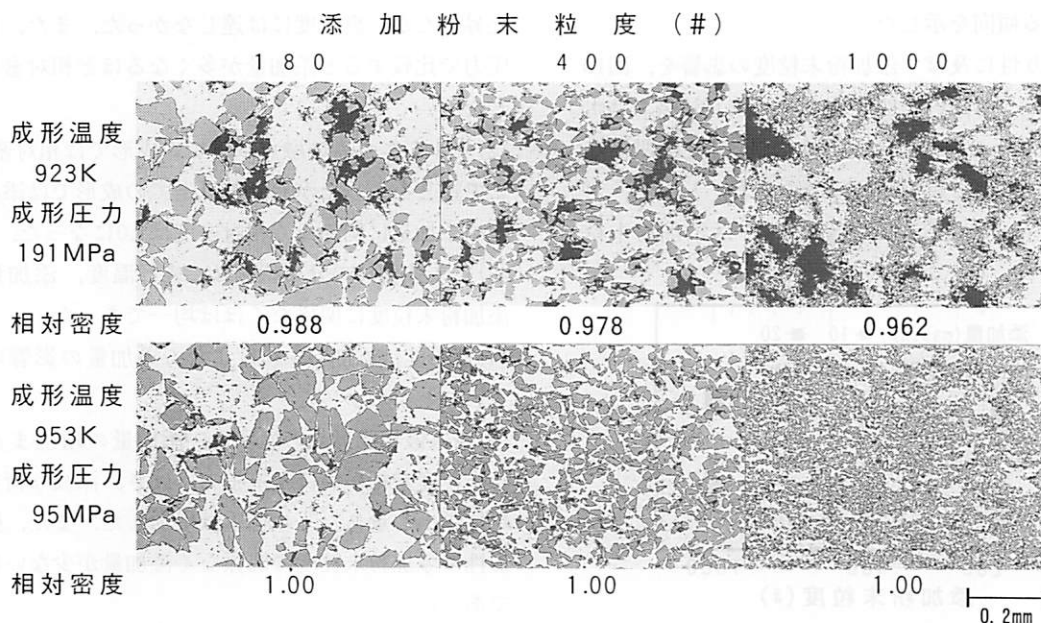


図6 成形品の顕微鏡組織写真 (添加量40mass%)

Microstructures of SiC particle dispersed Al after forming (mass=40%)

これは、変形能の低いSiC粉末の増加により変形能が低下したものと考えられる。しかし、変形能に対する添加粉末粒度の影響は添加量の影響よりは少なく、添加量40%の場合に粉末粒度#180と#1000で比較すると、その変形能の差は対数歪で0.03と僅かであった。なお変形能の試験結果から、いずれの添加粉末粒度でも添加量40%では薄板に成形できなかったため、機械的性質および深絞り性・張出し性は添加量10%と20%についてのみ調査した。

図8に機械的性質に及ぼす添加粉末粒度の影響を示す。

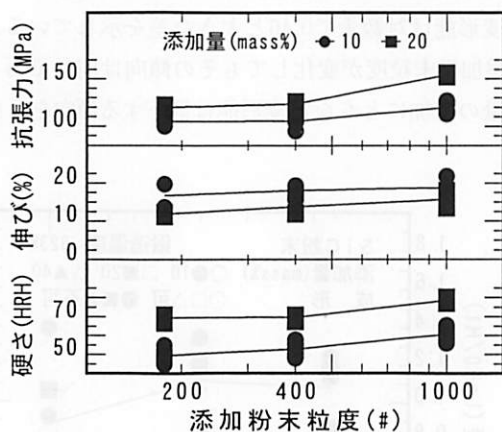


図8 機械的性質に及ぼす添加粉末粒度の影響

Influence of addition particle size on mechanical properties

添加粉末粒度を一定として添加量で比較すると、添加量の増加にともない抗張力と硬さは増加し、伸びは低下した。また、添加量を一定として添加粉末粒度で比較すると、添加粉末粒度が細くなるにともない抗張力、硬さ、伸びは増加する傾向を示した。

図9に深絞り性に及ぼす添加粉末粒度の影響を、図10に深絞り試験後の外観の一例を示す。深絞り試験ではポンチ肩半径が8mmの場合には添加粉末の量、粒度に関係なく、すべての試験片で成形は可能であった。しかし、ポンチ肩半径が4mmの場合には添加量20%では添加粉末粒

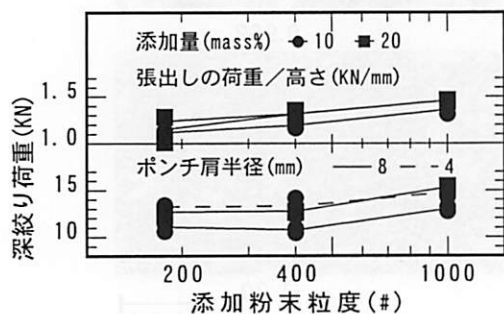


図9 深絞り性に及ぼす添加粉末粒度の影響
Effect of particle size on deep-drawability

度に関係なくポンチ頭部から肩部において破断した。最大深絞り荷重は添加量が多いほど、また添加粉末粒度が細かいほど大きい値を示し、ポンチ肩半径が小さくなると最大深絞り荷重は増加した。張出し試験では、粉末粒度に関係なく添加量が少ないほど張出し成形性は良好であった。最大張出し荷重は張出し量に大きく左右されるので絶対値の比較は出来ないが、単位張出し量(高さ)あたりの荷重は、添加量が多いほど、また添加粉末粒度が細かいほど高い値を示した。



図10 深絞り試験後の外観写真

Externals photographs after deep drawing

4. 結論

アルミニウム粉末に粉末強化材(SiC粉末)を添加して粉末成形と粉末液相成形を行い、次のような結論が得られた。

- (1)混合粉末の常温圧縮成形では、添加粉末粒度や添加量に関係なく、成形圧力の増加にともなって相対密度は上昇したが、真密度には達しなかった。また、同一成形圧力で比較すると添加量が多くなるほど相対密度は低下した。
- (2)アルミニウムの融点以下での成形では相対密度は1.0まで達しなかったが、融点以上での成形では添加粉末粒度や添加量に関係なく相対密度は1.0になった。
- (3)粉末強化材の分布状態は、成形温度、添加量および添加粉末粒度に関係なくほぼ均一であった。
- (4)変形能は添加粉末粒度よりも添加量の影響の方が大きいことがわかった。
- (5)粉末液相成形品の性状は、添加量の増加または添加粉末粒度が細かいほど抗張力、硬さ、深絞り荷重および単位張出し量あたりの荷重は増加した。また、張出し成形性は添加粉末粒度に関係なく添加量が少ないほど良好であった。
- (6)粉末液相成形は粒子分散複合材料を成形するために有効な加工技術としての一手段であることがわかった。

参考文献

- 1) 渡部英雄, 斉藤 洋, 軽金属, 39,255(1986)
- 2) 渡部英雄, 斉藤 洋, 軽金属, 39,262(1986)
- 3) 友田 陽, 大貫貴久, 黄 明, 一瀬裕司, 太田弘道,
竹内 庸, 軽金属, 43,213(1993)
- 4) 友田 陽, 太田弘道, 大西孝喜, 吉田 純, 磯野光永,
竹内 庸, 茨城大学工学部研究集報, 42,57(1994)