

(3) アルミニウム基分散強化複合材料の開発 (第2報)

機械部 鶴岡一廣

1 緒言

県産材の有効利用を目的とした金属・セラミックス複合材料製造技術の開発研究の一環として、セラミックスを分散材としたアルミニウム基分散強化複合材料の開発を行った。前年度はアルミナを分散材として、純アルミニウム粉末に重量割合で15、10、5%のアルミナ粉末を加え、圧粉、焼結、再圧縮、焼結の工程で円柱状焼結体を作製し、成形応力と理論密度比の関係を調べたり。その結果圧粉体成形応力が200MPa以上、一次焼結体圧縮応力が300MPa以上で理論密度比がほぼ最大になることが解った。

そこで本年度は、分散材としてアルミナ、及び日本国内では大分県でしか産出しないエメリーを用いて、平板状試験片を作製しその機械的強度を調べた。

2 実験方法

2.1 供試材料

アルミニウム粉末 (湊アルミニウム(株)製, 99.5% Al、粒度100mesh以下)、及びアルミナ粉末 (和光純薬工業(株)製、 α アルミナ、粒度2 μ m以下)は前回と同じである。また、エメリー粉末は南海部郡宇目町木浦鉱山の木浦エメリー(株)の製品を粒径125~180 μ mに調整したもので成分の分析値(カタログ値)を表1に示す。密度は3.18g/cm³である²⁾。

表1 エメリー成分表

成分	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	他
分析値 (%)	33.42	6.03	24.40	27.86	4.50	5.12

2.2 実験条件

前回に続いてアルミニウム粉末 (100% Al)、及び Al / アルミナ = 97 / 3 について、圧粉体成形応力を150、200、250MPa、焼結体圧縮応力を300MPa で成形焼結した円柱状焼結体の密度を測定した。その結

果理論密度比 r は圧粉体成形応力に関わらず、100% Al の場合は $r = 0.99$ 、Al / アルミナ = 97 / 3 の場合は $r = 0.97$ であった。

平板状試験片は、アルミニウム粉末にアルミナ粉末及びエメリー粉末を混合し、12×4×100mmの寸法に成形し、引張り試験に供した。混合粉体は重量割合で100% Al、及び Al / アルミナ、Al / エメリー = 97 / 3、95 / 5、90 / 10、85 / 15 である。試験片の成形は、①圧粉体成形 (成形応力200MPa)、②一次焼結 (焼結温度630°C、保持時間100分)、③焼結体圧縮 (圧縮応力300MPa、Al / アルミナ = 95 / 5 は200、300、400MPa)、④二次焼結 (焼結温度630°C、保持時間100分) の工程で行った。焼結は真空熱処理炉にて、真空引き後約 1 Torr の窒素ガス雰囲気で行った。

3 実験結果及び考察

3.1 試験片密度

図1はアルミナの混合割合 WR = 5% について、応力200MPa で圧粉成形した一次焼結体を圧縮成形した平板状試験片の理論密度比の変化である。

圧縮応力による理論密度比の変化は小さいが、同じ条件で成形した円柱状焼結体より若干低くなっている。これは平板状試験片の方が厚みに対する受圧面積の比が円柱状焼結体のそれより大きく摩擦抵抗

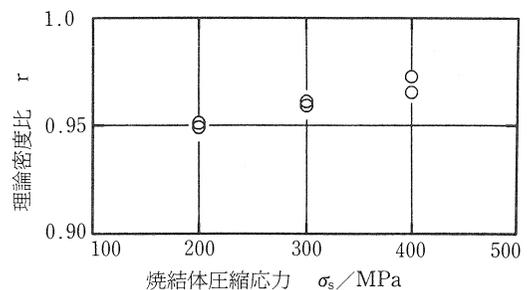


図1 焼結体圧縮応力と理論密度比

が相対的に大きくなったため同じ圧縮応力では少し低くなったと考えられる。

図2は一次焼結体圧縮応力 $\sigma_s=300\text{MPa}$ の場合の分散材の混合割合に対する試験片の理論密度比である。

アルミナ、エメリーとも混合割合が小さいほど理論密度比は高くなっているが、エメリーの方が全体的に高い値を示している。これは、アルミナの場合粒子径がアルミニウム粉末の粒子の約1/80~100であり、アルミナ粒子がアルミニウム粒子間に潜入し、圧粉・圧縮時の変形がアルミニウム粒子同士の変形になり、固着や摩擦抵抗で粒子間が十分に密着せず理論密度比が高くないのに対し、エメリーの場合は粒子径がアルミニウム粉末の粒子とほぼ同じ大きさであり、硬いエメリー粒子がアルミニウム粒子間に食い込み密着するとともに、エメリー粒子

が応力を伝達する経路となってアルミニウム粒子の変形を促進し理論密度比が高くなっていると考えられる。この傾向は混合割合が大きいほど顕著である。

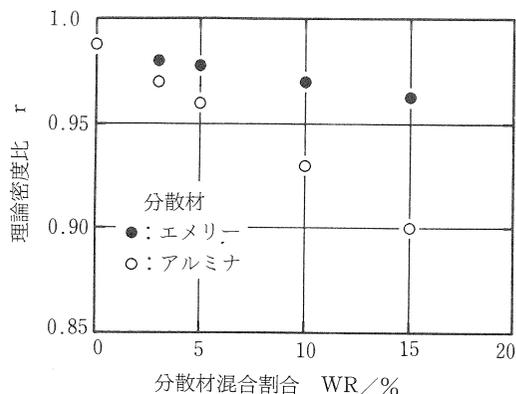
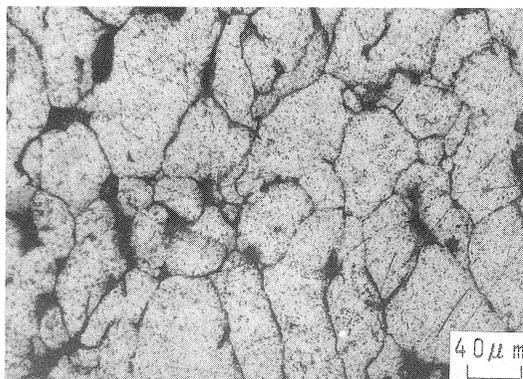
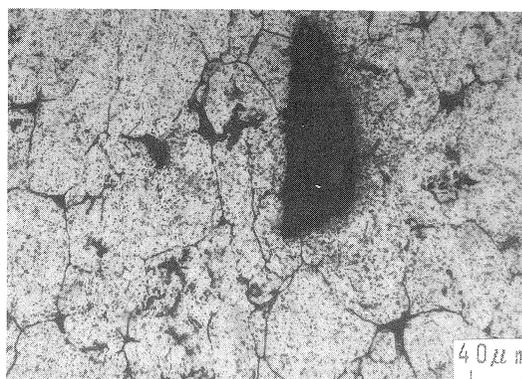


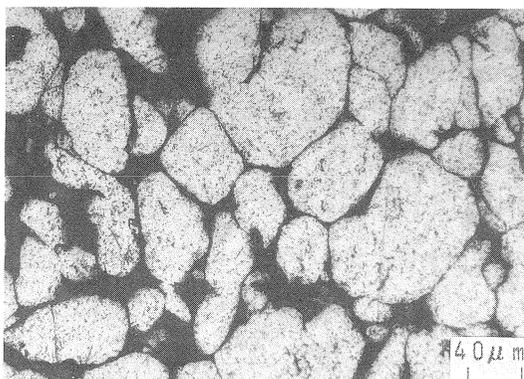
図2 分散材混合割合と理論密度比



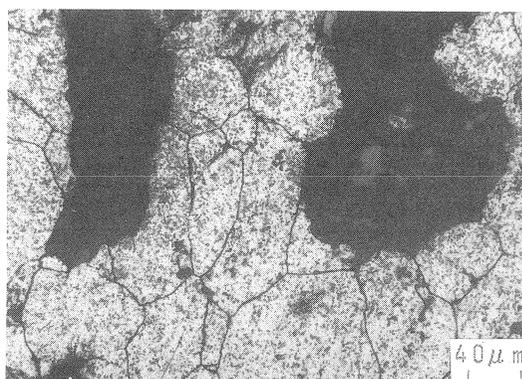
Al/アルミナ=97/3



Al/エメリー=97/3



Al/アルミナ=85/15



Al/エメリー=85/15

写真1 試験片断面顕微鏡写真

写真1に試験片の断面顕微鏡写真を示す。この写真より、アルミナの場合はアルミニウム粒子間に隙間がみられるが、エメリーの場合はその隙間は小さくなっており、この傾向は混合割合が大きいほど顕著であることが解る。このことは図2の結果と一致している。

3.2 引張り試験

図3に100% Al 及び Al / アルミナ=95 / 5 について、応力200MPa で圧粉成形した一次焼結体を圧縮成形した平板状試験片の引張り強さを示す。

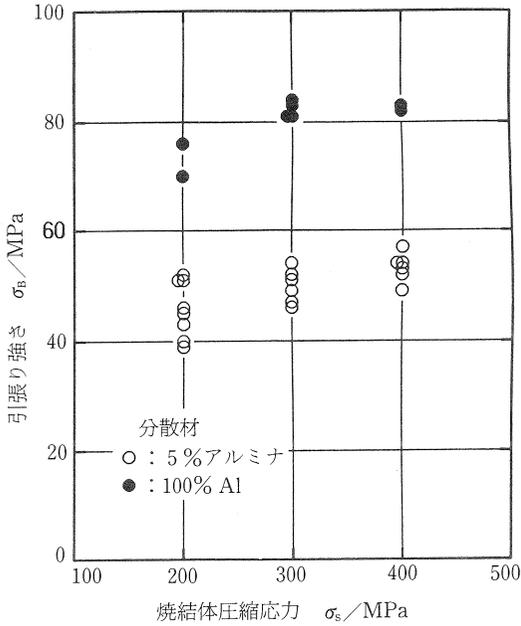


図3 焼結体圧縮応力と引張り強さ

100% Al では圧縮応力 $\sigma_s=300$ MPa 付近からほぼ一定で $\sigma_b=82$ MPa、アルミナの場合も同様の傾向を示し、 $\sigma_b=50$ MPa となっている。また、アルミナの場合の破断伸びについては、圧縮応力に関係なく、 $e=1\sim 2\%$ 程度であった。

図4、及び5に一次焼結体圧縮応力 $\sigma_s=300$ MPa の場合の分散材混合割合と引張り強さ及び破断伸びの関係を示す。

100% Al の場合、引張り強さは $\sigma_b=81\sim 84$ MPa、破断伸びは $e=19\sim 23\%$ となっており、引張り強さは圧延純アルミニウム板材 (JIS H4000、A1050P-O) と同じであるが、破断伸びについてはやや低い値

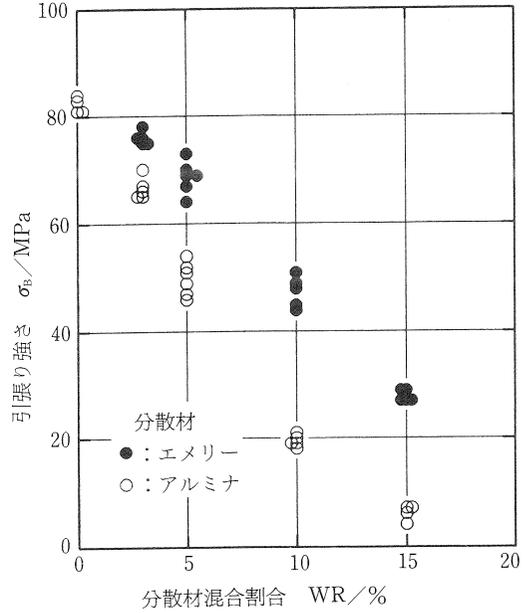


図4 分散材混合割合と引張り強さ

となっている。

アルミナの場合、混合割合 $WR=3\%$ で引張り強さは $\sigma_b=70$ MPa を示し、混合割合の増加とともに低下し、 $WR=15\%$ で $\sigma_b=5$ MPa となっている。また破断伸びは $WR=3\%$ で $e=5\%$ 、 $WR=5\%$ 以上では $e=1\sim 2\%$ である。

一方エメリーの場合、傾向はアルミナの場合とほぼ同じであるが、 $WR=3\%$ で $\sigma_b=78$ MPa、 $WR=15\%$ で $\sigma_b=28$ MPa となっており、アルミナの場合より高い値を示している。また、破断伸びは $WR=$

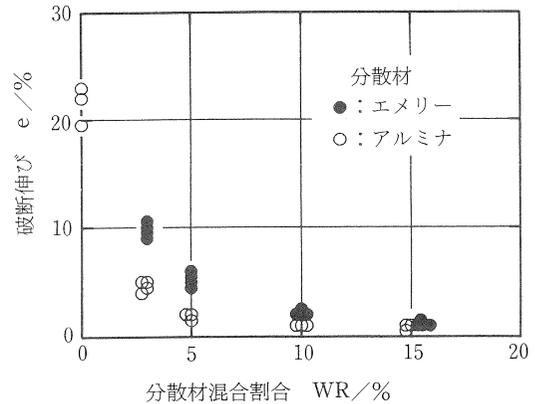


図5 分散材混紡割合と破断伸び

3%で $e = 10\%$ 、 $WR = 5\%$ で $e = 5\%$ となっている。

図6はスパン60mmで曲げ試験を行った時の一次焼結体圧縮応力 $\sigma_s = 300\text{MPa}$ の場合の分散材混合割合と最大曲げ応力の関係を示したものであるが、本図においても引張り強さの場合と同様な傾向を示している。

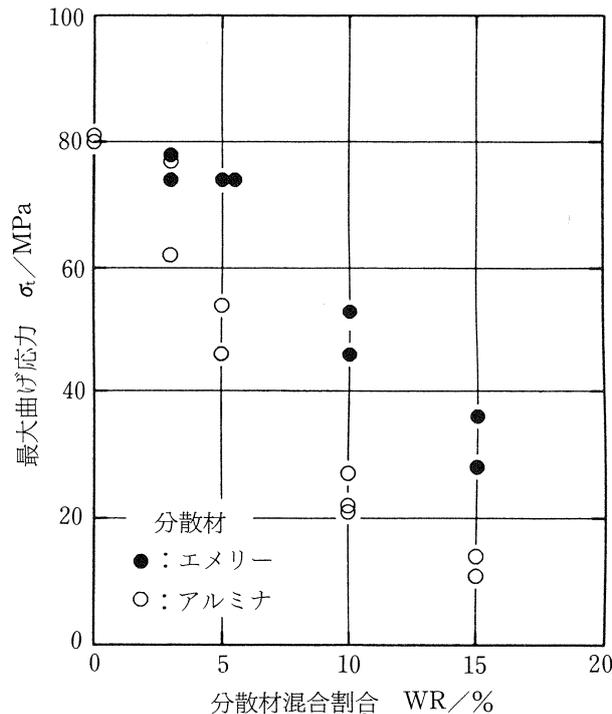


図6 分散材混合割合と最大曲げ応力

引張り試験及び曲げ試験において分散材を混合した場合、100% Alの場合に比べてともに低い値となっている。これは試験片の引張り強さを具現する主因が、本質的に基材のアルミニウム粒子同士の密着・結合によるものと考え、混合割合が大きくなるとアルミニウム粒子間の密着が阻害され、引張り強さが低下するためと考えられる。ただ今回は常温雰囲気における引張り試験結果であり、この傾向が高温雰囲気においても同様の結果となるかは今後の課題である。

一方分散材としては、アルミナに比べてエメリーの場合の方が機械的強度が高く、双方の間には明確な有意差が認められる。これは分散材としてのアルミナ粉末及びエメリー粉末とアルミニウム粉末の粒径の違いによるものではないかと考えられる。すな

わち機械的強度を具現する主因がアルミニウム粒子同士の密着・結合によるものであれば、圧粉体成形・焼結体圧縮における変形密着機構が、アルミナの場合にはアルミニウム粒子の変形のみによるものであるのに対し、エメリーの場合にはエメリー粒子によるアルミニウム粒子の局部的変形、アルミニウム粒子同士による全体的な変形とが組合わさって密度が向上しアルミニウム粒子間の結合力が強くなったと考えられる。

4 結 言

アルミナ及びエメリー粉末を分散材として、高温強度や耐摩耗性向上を目標に、アルミニウム基分散強化複合材料の開発を行ってきたが、今回は主に分散材混合割合に対する引張り強さを調べるために、平板状試験片を、成形応力200MPaでの圧粉成形、焼結、圧縮応力300MPaでの焼結体圧縮、再焼結の工程で作製し、引張り試験を行い下記の結論を得た。

(1)100% Alの場合の理論密度比 r は $r = 0.99$ が得られた。

(2)アルミナに比べてエメリーの方が理論密度比が高く、この傾向は分散材混合割合WRが高いときに顕著で、 $WR = 15\%$ のときエメリーで $r = 0.96$ であったのに対し、アルミナでは $r = 0.90$ であった。

(3)100% Alの引張り強さは $\sigma_B = 82\text{MPa}$ で、破断伸びは $e = 19 \sim 23\%$ であった。

(4)分散材混合割合の増加によって引張り強さは低下し、 $WR = 3\%$ 、及び $WR = 15\%$ で、エメリーでは $\sigma_B = 78\text{MPa}$ 、及び $\sigma_B = 28\text{MPa}$ 、アルミナでは $\sigma_B = 70\text{MPa}$ 、及び $\sigma_B = 5\text{MPa}$ であった。

(5)破断伸びは、100% Alの場合 $e = 20\%$ 、エメリーの場合 $WR = 3\%$ で $e = 10\%$ 、 $WR = 5\%$ で $e = 5\%$ 、アルミナの場合は $WR = 3\%$ で $e = 5\%$ 、 $WR = 5\%$ 以上では $e = 1 \sim 2\%$ であった。

本報では常温雰囲気における引張り強さ等を調べたが、今後は高温雰囲気での機械的性質特に引張り強さを調べ、分散材による高温強度の向上がどの程度可能かを検討する必要がある。

また、当初アルミナを分散材として、複合材の基礎的特性を調査したが、今回エメリーを用いた場合にアルミナより機械的強度の向上においては効果的

である結果が得られた。この機械的強度の向上は分散材の粒子サイズによる効果ではないかと考察するが、材種による効果か否かを調べるために、分散材と基材の粒径の違いによる引張り強さ等を検討する必要がある。

追 記

本実験で試験片の焼結に使用した真空熱処理装置は、日本自転車振興会の補助を受けて設置したものである。

参考文献

- 1) 鶴岡一廣：大分県工業試験場 平成2年度研究報告(1992) 1
- 2) 後藤幸臣, 大塚裕俊, 水江宏, 池邊豊：大分県工業試験場 平成2年度研究報告(1992) 5
- 3) 榛葉久吉, 三谷裕康：粉末冶金学, コロナ社