

アルミナおよび MAS ガラス/
金属複合材料の力学特性と機能性

和 久 芳 春*

1. は じ め に

ガラスやセラミックスなどの脆性材料の強度や破壊靱性が向上し、新しい機能性が見出されれば、信頼性の高い材料として大幅な用途の拡大が期待できる。金属材料と同じように破壊時に亀裂先端で塑性変形が生じるように脆性材料の中に延性な金属材料を複合化し、微小な金属粒子を分散させれば破壊靱性と強度の同時改善が可能である。著者らは延性扁平金属粒子とナノサイズの金属微粒子を脆性材料に複合化することにより強度と靱性を同時に改善し、二、三の特徴的な機能を有する新しいタイプの多機能複合材料を開発した。本解説ではこの複合材料の靱性改善の考え方、扁平化プロセス、力学的特性および電磁波シールド性を含めた一、二の機能性について紹介する。

2. 脆性材料の強靱化手法

長さ $2c$ のき裂を含む脆い材料に応力が加わった場合の破壊強さ σ_c は Griffith の式 $\sigma_c = \sqrt{(2E\gamma_s/\pi c)}$ により与えられる⁽¹⁾。ここで E は弾性率、 γ_s は単位面積の表面をつくるのに必要なエネルギーである。破壊靱性は $K_{Ic} = \sqrt{2E\gamma_s}$ ($\equiv \sigma_c\sqrt{\pi c}$) で与えられ、脆性材料の場合、 γ_s はその物質の表面張力に近い値となる⁽²⁾。しかし、亀裂先端で塑性変形が生じる材料の場合は、き裂先端で起る塑性変形に要する仕事量 γ_p が破壊エネルギーの大部分を占め⁽²⁾、 γ_p は γ_s に比べ桁違いに大きい値となる。したがって金属材料の破壊靱性はセラミックやガラスに比べ桁違いに大きい。そこで金属材料の破壊靱性が高くなる機構を有効に利用する手段として延性扁平金属の複合化を検討した。

著者らの研究によれば、延性扁平金属粒子分散により、破壊靱性の向上が可能であり、その基本的な考え方を模式的に図1に示す⁽³⁾⁽⁴⁾。亀裂先端に延性扁平金属粒子が存在することにより、破壊時に扁平金属粒子が塑性変形し、塑性エネル

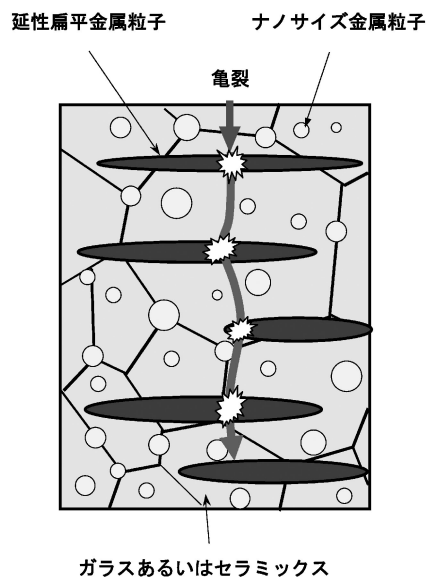


図1 破壊靱性向上の概念図。

ギー γ_p が増加し、靱性の向上が期待できる。強度の向上は、扁平金属粒子の分散の効果に加え、ナノサイズの金属微粒子を均一に分散させることにより、マトリックス結晶粒の成長を抑制し、組織の微細化により期待できる。以上のような考え方で、延性扁平金属粒子とナノ粒子分散により、破壊靱性と強度の同時改善が可能である。

3. 複合材料の製造プロセス

金属粒子の扁平化がこの技術の重要なポイントである。アルミナやガラスなどの原料粉末と金属粉末を一定割合で混合し湿式ボールミル処理を行い、球状の金属粉末を扁平化し、一部ナノレベルの微粒子を得る。得られた混合粉末を黒鉛モールドを用いてホットプレス焼結して複合材料を製造する。従来のセラミックス粉末の均一混合に使われていた湿式ボー

* 島根大学教授；総合理工学部材料プロセス工学科（〒690-8504 松江市西川津町1060）

Functional and Mechanical Properties of Al_2O_3 or MAS Glass/Metal Composites; Yoshiharu Waku (Department of Natural Resources Engineering, Interdisciplinary Faculty of Shimane of Science and Engineering, Shimane University, Matsue)

Keywords: flaky metallic particle, nanometer sized metallic fine particle, fracture toughness, flexural strength, shielding effect, electric resistance, MAS glass, Al_2O_3 , ball milling

2010年2月28日受理



図2 アルミナマトリックス中における扁平 Mo 粒子とナノ Mo 粒子の分散を示す TEM 像.

ルミル処理が金属粒子の扁平化に有効である. 扁平 Mo 粒子とナノサイズの Mo 微粒子が分散している TEM 写真を図 2 に示す. アルミナマトリックス中に扁平 Mo 粒子とナノ Mo 微粒子が分散しており, これが後述する強度と破壊靱性の同時向上並びに特徴的な機能性の発現と密接に関係していると考えている.

4. 力学的特性

(1) 曲げ強度

アルミナあるいは MAS ガラス/Mo 粒子複合材料における曲げ強度は扁平 Mo 粒子の体積率と共に増加するが, 増加率はアルミナと MAS ガラスマトリックスでは異なる. すなわち, MAS ガラスの場合, 体積率 50% でモノリシック MAS ガラスの曲げ強度 131 MPa の約 3.4 倍の 450 MPa であるのに対して, アルミナの場合は, 体積率約 50% でモノリシックアルミナの 320 MPa の約 1.7 倍の 530 MPa であり, マトリックスの違いにより強度の向上の程度が異なる⁽⁵⁾⁽⁶⁾.

(2) 破壊靱性値

アルミナあるいは MAS ガラス/Mo 粒子複合材料の破壊靱性に及ぼす体積率の影響を図 3 に示す⁽⁵⁾⁽⁶⁾. MAS ガラスの場合, モノリシック MAS ガラスの破壊靱性値 $1.7 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ に対して体積率 50% で約 6.8 倍の $11.6 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ に向上する. 一方, アルミナの場合, モノリシックアルミナの破壊靱性値 $3.4 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ に対して体積率約 50% で約 3.9 倍の $13.4 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ に向上する. すなわち, 扁平金属粒子を複合化した場合は破壊時に亀裂先端において塑性変形が生じる

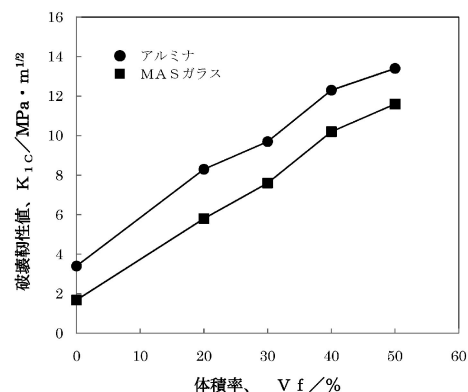


図3 扁平 Mo 粒子の体積率と破壊靱性値の関係.

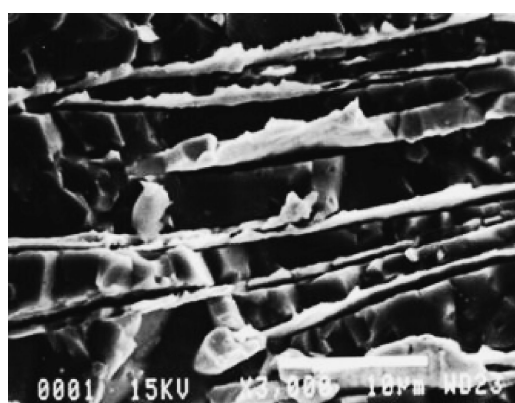


図4 MAS ガラス/20%扁平 Mo 粒子複合材料における破壊靱性試験片の破面の SEM 像.

ために靱性が大幅に向上する.

扁平 Mo 金属粒子の塑性変形を調べるため破壊靱性試験後の試験片の破面を観察したときの SEM 像を図 4 に示す⁽⁶⁾. 破面から分かるように扁平 Mo 金属粒子はくびれて延性破壊をしている. すなわち, 破壊の時, 扁平 Mo 粒子が著しい塑性変形をしたため, 塑性変形エネルギー γ_p が大きくなり破壊靱性値が大幅に向上したものと考えられる.

5. 特徴的な機能性

(1) 電磁波シールド性

KEC 法により測定した MAS ガラス/20%扁平 Mo 粒子複合材料の電磁波シールド効果を図 5 に示す. 比較のため, 代表的な電磁波シールド材のデータも示してある. 本複合材料のシールド効果は測定不能のために, 測定不能領域の下限値を図にプロットしてある. 周波数 1~1000 MHz の範囲で他の電磁波シールド材に比べ本複合材料が格段に優れたシールド特性を示す⁽⁷⁾.

(2) 体積抵抗率

金属材料の抵抗材料・発熱材料として広く使われているも



6. おわりに

破壊靱性を同時に向上できる脆性材料の新しい強靱化法について解説してきた。本強靱化法においては金属粒子の扁平化がキーテクノロジーであるが、比較的容易にしかも一般的な方法で出来ることが特徴である。この方法で製造した複合材料は電磁波シールド特性、電気抵抗特性などの特異な機能性を有している。この研究はまだ緒についたばかりであるが、少しでも実用化の例が出ることにより研究が加速・進展されることを期待している。

文 献

- 
- Dr. Shiro Kikuchi is a middle-aged man with dark hair, wearing glasses, a white shirt, a dark tie, and a dark suit jacket. He is looking directly at the camera with a neutral expression.

和久芳春

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

1979年 3月 東北大学工学研究科博士課程修了
1980年 7月 宇都宮産業株式会社入社
2007年 4月 島根大学総合理工学部教授
2010年 3月 現職

専門分野：複合材料，疲労破壊，破壊力学など

◎最近是一方向凝固共晶セラミックスの製造と高温特性評価に関する研究や扁平金属粒子やナノ金属粒子を分散させた複合材料の製造と特性評価に取り組んでいる。

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★