

二層アルミナセラミックスの開発における本格研究 割れにくく、減らないセラミックスを

アルミナの機械的特性に関する基礎研究

セラミックスは、化学的安定性、硬さ、耐熱性に優れており、過酷な条件で使用される部材として用いられます。アルミナは、セラミックスの中でも化学的安定性が高く、適度な機械的性質を示し、かつ製造コストが安く、資源の問題もありません。一方、割れにくさの指標となる破壊靱性は、ジルコニアや窒化ケイ素に劣り、部材の信頼性向上のために、高靱性が望まれます。

アルミナの機械的特性は、材料の微細組織によって大きく変化します。アルミナを高性能化するために、さまざまな方法で微細組織を変化させ、その機械的特性を調べました。図1に走査電子顕微鏡で撮影した4種類のアルミナの微細組織の例を示します。写真の右上に示す「 σ_b 」と「 K_{IC} 」は、曲げ強度と破壊靱性です。図1 (a) に示す市販の焼結体は、まゆ型の粒子が集まった組織となっています。この粒子の1つ1つは結晶粒と呼ばれ、単結晶でできており、全体として多くの結晶粒から構成される多結晶体となっています。なお、全体が1つの単結晶でできているアルミナがサファイアです。多結晶体を構成する結晶粒の大きさや形状、結晶粒間の結合強度を変化させ

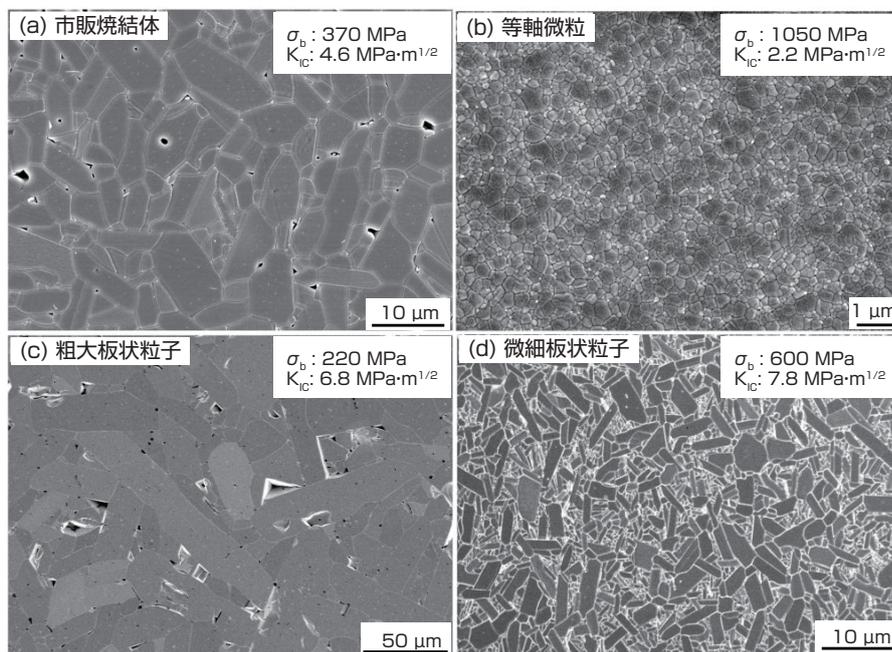


図1 走査電子顕微鏡で撮影した4種類のアルミナの微細組織

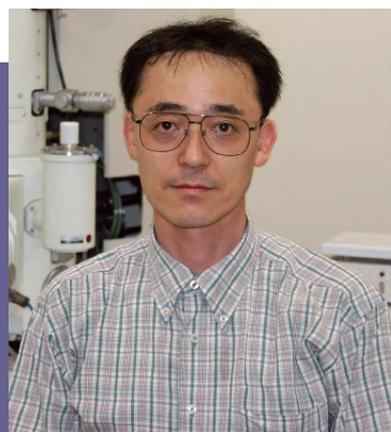
ることで、機械的特性が大幅に変化します。これらは、原料粉末の選択、微量添加物、焼結温度の選択で制御できることがわかりました。図1 (b) のように非常に微細で等軸の結晶粒からなる組織にすると破壊靱性は低下しますが、非常に高い強度を示します。図1 (c) のように大きな板状の粒子を成長させると強度は低下し、破壊靱性が向上します。図1 (d) は、考案した原料の調整方法により、組織全体が微

細な板状の粒子で構成される組織にしたものです。このような微細組織にすると強度、破壊靱性ともに上昇し、材料として好ましい特性となります。

アルミナは、セラミックスの中でも耐摩耗性に優れるため、摺動部材としても用いられています。耐摩耗性も微細組織により変化します。同一材料のボールと板を無潤滑で擦り合わせ、その時の摩耗体積を比較すると、同じ組成のアルミナでも3～5桁の相違が見られます。困ったことに、材料の信頼性を向上させるために破壊靱性を高めた材料の耐摩耗性が悪く、破壊靱性の低い図1 (b) に示すような微粒組織が優れた耐摩耗性を示すことがわかりました。

二層アルミナの考案

歯車などに使用される鋼は、浸炭や表面焼入れなどによって靱性の高い材料の表面層だけを硬化させて用います。一般にセラミックスは、1つの部



日本原子力研究所、東京大学工学部、東北大学素材工学研究所を経て、1996年に名古屋工業技術研究所入所。シナジーセラミックスの開発研究で酸化物セラミックスの微細組織制御による機械的性質の改善に関する研究に携わりました。プロジェクト終了後、会社への技術移転を目指した共同研究や多孔体セラミックスの開発研究に従事しています。

吉澤 友一 (よしざわ ゆういち)
y.yoshizawa@aist.go.jp
先進製造プロセス研究部門
高性能部材化プロセス研究グループ

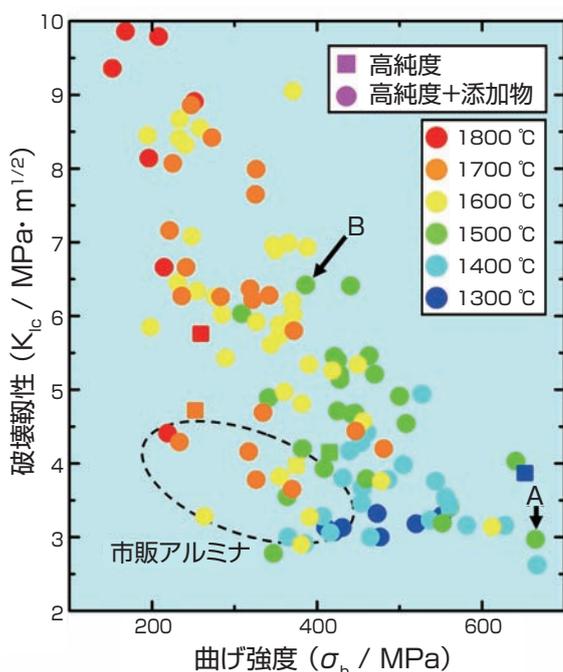


図2 高純度アルミナに異なる添加物を加えた焼結体の曲げ強度と破壊靱性の関係
■は無添加の高純度アルミナ焼結体

に作製可能ですが、複雑形状品などへの対応は限界があります。そこで、Bの粉末で成形体を作製し、耐摩耗性が必要な部分にAに加えたマグネシウムなどの結晶粒の成長を抑制する物質を^{がんしん}含浸させることで、二層化が可能なることを見いだしました。図3 (a) に粉末の積層、(b) に溶液の含浸により作製した二層アルミナの組織を示します。各写真の左側が微細な結晶粒から構成される耐摩耗用の表面層、右側が高靱性の内部層です。両層の間での割れなどの欠陥も見られず、正常な二層焼結体ができていることがわかります。

二層アルミナの社会にもたらす効果

この二層アルミナを発表したところ、各企業から表面層の厚さをより薄くしたい、あるいは厚くしたいとの要望がありました。溶液含浸の方法を検討した結果、以前は1 mm程度の厚さしか作製できませんでしたが、10 μm以下から数mmまでの広範囲の厚さが再現性よく作製できるようになり、セラミックス会社での試作も行うことができました。耐摩耗／高靱性アルミナ二層焼結体は、耐摩耗性と信頼性が要求される部品一般に適用可能となったのです。今後、特に切削工具、プレス型、人工関節などへの適応が期待されます。

材が単一の組織を持つ材料で作られます。その理由は、同一組成のセラミックスでも組織制御によって特性が大幅に変化することがあまり知られていないためと、鋼の焼入れのようなプロセスが困難なためです。セラミックスは、原料粉末をプレスなどで形状付与し、焼結することで作製します。図2は、市販の高純度アルミナ粉末に0～0.1重量%のさまざまな添加物に加え、1300～1800℃の温度で焼結した試料の曲げ強度と破壊靱性の関係を示した図です。同一温度で焼結した試料でも添加物により特性は大きく異なります。例えば、図中に「A」と「B」で示す試料は、同じ焼結温度でも曲げ強度と破壊靱性がそれぞれ2倍も異なります。破壊靱性の低い試料Aは、Bの約1000倍の耐摩耗性を示します。AとBは、少量の異なる添加物に加えた以外は、同一の原料粉末を用い、同一の温度で焼結した試料のため、Aと

Bの2種類の粉末を積層してプレスし、焼結することで、表面と内部で異なる組織の焼結体が作製できるはずです。

二層焼結体の作製

実際には、微量の添加物で焼結特性が変化する場合があり、正常な試料が作製できないことがあります。AとBの積層材は、焼結可能でした。この方法では、単純な形状で1 mm程度以上の厚さの表面層を持つ試料は、容易

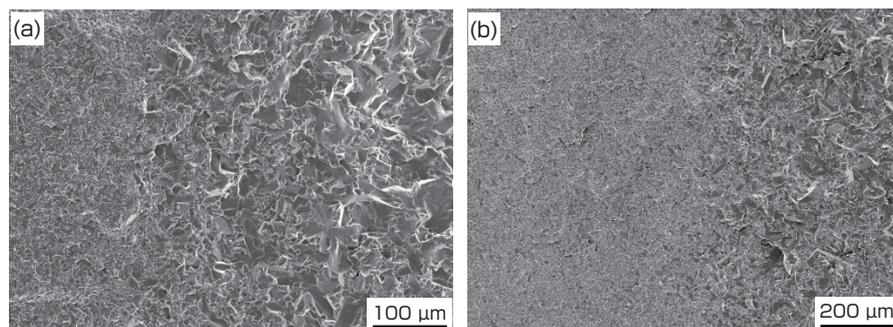


図3 (a) 粉末の積層と (b) 溶液の含浸で作製した耐摩耗／高靱性二層アルミナ焼結体の破面の走査電子顕微鏡写真