The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	セラミックスと金属の接合
Author(s)	菅沼, 克昭
Citation	大阪大学低温センターだより. 1984, 46, p. 10-13
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/5213
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

セラミックスと金属の接合

産業科学研究所　　菅　沼　克　昭（吹田　3531）

近年のセラミックス・フィーバーには、少々驚かされるものがある。なるほど、セラミックスは、耐熱性や比強度、耐食性などに優れた特性を示すことから、その利用範囲はたいへん広く、電子材料、耐熱材料、航空機材料、あるいは、医療用材料などに期待（あるいは実用化）されている。しかし、残念なことにセラミックス材料の実用化には、克服せねばならないいくつかの問題が残されている。その中でも、難加工性であることと脆性（あるいは材料としての信頼性に乏しい）であることは、最大のネックであろう。現在これらの点を克服することに、日本に限らず世界じゅうのセラミックス屋がしのぎを削っている。接合は、これらの点のひとつの解決策である。すなわち、大型複雑形状の構造物を部品として焼成し、接合により一体化するか、あるいは、必要な部分にのみセラミックスを用いて、信頼性を持たせるため金属材料を適宜用い、セラミックスと接合しようというわけである。私の従事する研究はこのセラミックス－金属接合技術の開発であり、今回のお話しのテーマでもある。

セラミックスの接合には、古くから様々な方法が開発されている。大別すると、焼きばめや鋳ぐるみなどの機械的な噛み合わせによる方法、有機系や無機系の接着剤を用いる方法、セラミックス表面を金属化する方法（メタライズ法）、それと固相あるいは液相における直接接合法になるだろう。これらの方法には、それぞれ一長一短があり、用途に応じた適用が必要である。しかし、今日望まれているエンジニアリング・セラミックスの使用条件は極めて厳しく、それを満すことのできる接合技術は、残念ながら確立されていない。（反対に、これは研究者にとっては実に幸いなことである！）特に昨今のエネルギー事情から、高温材料へセラミックスを用いることが考えられているが、この場合の接合材の使用環境は大変厳しい。もちろん高接合強度が必要であるが、この他に熱膨張率の不一致をいかに解消するかがキーポイントになる。表１に、代表的な材料の熱膨張係数を示す。表から、例えばステンレス鋼と

表1.　金属とセラミックスの熱膨張率（室温から１０００℃の間の平均値）

金　　属	熱膨張率（$\times 10^{-6}$）	セラミックス	熱膨張率（$\times 10^{-6}$）
Fe	15	SiC	4.1
Ni	16	TiC	7.5
Ti	10	Si_3N_4	3.0
Mo	5.7	TiN	8.2
SUS 316	20	Al_2O_3	8.1
SUS 405	14	ZrO_2	10

Si_3N_4 の接合体では、室温から１０００℃に加熱した時（または逆に冷却した時）に、接合界面を通して１％以上の歪が発生することになる。これは、セラミックスにとってはたいへん大きな歪である。

この歪による内部応力は、有限要素法を用いて簡単に求めることができる。図1のような、つき合わせ接合体の冷却による熱応力分布を計算すると、接合界面に近いSi_3N_4中に矢印に示す方向で、最も高い130 kg/mm² 引張応力が発生する。Si_3N_4の引張破断強度が高いもので、50 kg/mm² 程度であるから、この試験片は冷却しただけで、破線のように破壊してしまうわけである。写真1は、このような例を示している。もちろん、接合界面の強度が低い場合には、界面剥離が生じる。いずれにしても、この熱膨張の不一致を解消することが重要になるわけである。昨年、ロンドンにおいて、セラミックスの接合に関する小会議が開かれ、私もたまたま出席する機会を得た。会議には、Klomp, Nicholas や Popper などセラミックスの接合に関して重鎮である人々が集まった。これらの人に、実は私も接合をやっているんですよと盛んに宣伝してきたのだが、そこでまず聞かれることが、"How to compensate thermal expansion mismatch？"であった。いかにこの点が注目されているかに驚かされたものである。

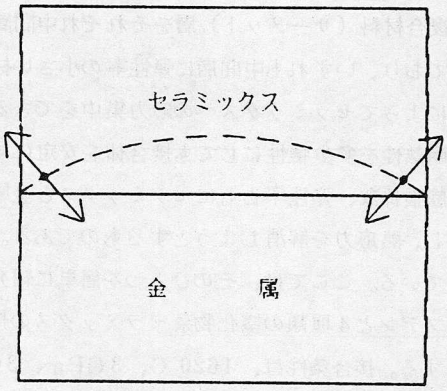

図1. 円柱状金属 ― セラミックス接合体を高温から冷却した時の最大熱応力（矢印）と破断線（破線）

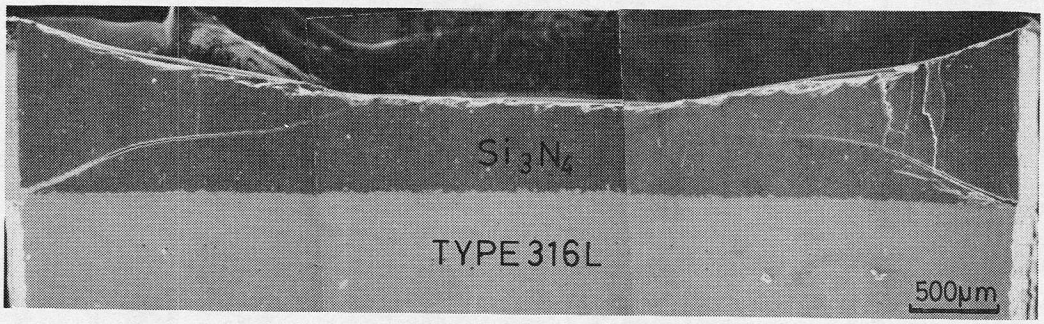

写真1. SUS316L－Si_3N_4接合体の冷却後に見られるセラミックス側の割れ（1300℃より徐冷）

では、この点の解決に現在どのような方法が考えられているか。これには、中間層を用いる方法が主であるが、この中間層として3種類があげられる。図2に示すが、(1)柔い金属層、(2)発泡金属層、およ

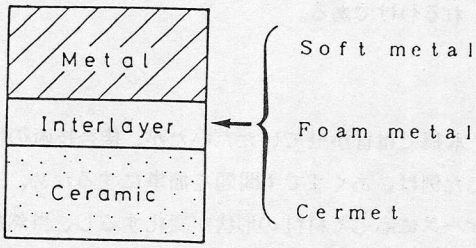

図2. 金属 ― セラミックス熱応力の解消法

び、(3)複合材料（サーメット）層をそれぞれ中間層として用いる方法である。(1)と(2)の中間層の思想は類似しており、いずれも中間層に弾性率の小さい材料を用いて、中間層の変形（塑性、弾性の両方を含める）によってセラミックスへの応力集中をできるだけ小さくするという考え方である。これは、接合強度や耐熱性を多少犠牲にしても接合体を安定にすることを選んだわけである。これに対し(3)の考え方は、熱膨張係数、弾性率ともにセラミックスと金属の中間的な値の複合材料を好みに応じて調整して中間層にし、熱応力を解消しようとするものである。私は、この(3)の考え方を用いて、いくつかの方法を開発している。ここでは、そのひとつを簡単に紹介しよう。

モリブデンと4種類の窒化物系セラミックスの接合で、複合中間層を用いる場合と、直接接合の場合を比較する。接合条件は、1620℃、3GPa、30分である。直接接合では、接合後冷却速度を1℃/秒程度の徐冷にした場合、Mo－AlNとMo－TiNが接合される。Mo－BNとMo－Si_3N_4はまったく接合されない。これは界面にMoのホウ化物とMoの珪化物の脆い層がそれぞれ形成されるためである。冷却速度を10℃/秒と比較的速くすると、Mo－AlNは界面で、Mo－TiNは界面近くのTiN中

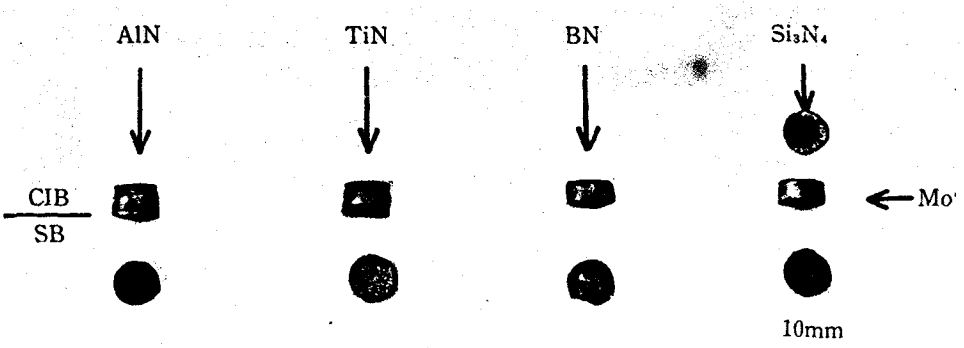

写真2. モリブデン－窒化物系セラミックス接合体の耐熱衝撃性。（1620℃で接合後10℃/秒で急冷した）CIBは複合中間層を用い、SBは直接接合による方法を示す。

で破断してしまう。これは接合素材の熱膨張差に起因するものである。一方、Mo－60vo1％セラミックス複合体を中間層に用いた場合、Mo－Si_3N_4を除き、他の3つの組み合わせは接合され、これらは急冷しても破断しない。このように、複合体を中間層として用いると、熱膨張差による破壊を防いでくれるわけである。

◇　◇　◇

本稿では省かせていただいたが、接合技術の開発には、接合デザインも重要な部分である。先に紹介した例は、あくまでも問題を簡単にするため、「つき合わせ接合」を対象にしている。実際の応用では、ケースに応じて材料の形状が変化するし、当然最も応力集中の生じにくい形状の接合が望まれる。従って、真の接合技術開発には接合デザインまで含めた考慮が不可決なものである。このためには、複雑形状物体の応力解析を考えて、有限要素法などのコンピューター・シミュレーションが有効になるであろう。

現在、セラミックス関係の企業や大学では、セラミックスの接合が最大の関心事になっている。同時

に、学会等への発表件数もここ数年でうなぎ上りに増えている。数年程前に私が初めて、接合に関する発表をした時（金属学会）には、セラミックスの接合は、当研究1件であった。ところが、この春（59年度）の学会では、ひとつのセッションとして独立し、その件数も10件を越えている（まさに、金属学会においてさえ）。しかも、面白いことに、それらは大学人からの発表のみで、企業からの発表は1件もない。これは、なにも企業が接合の技術開発をしていないからではなく、ただ企業にとってはそれが極秘事項であるため表面に現れてこないだけなのである（とある企業人は言っている）。

セラミックスの接合は、アイデアの勝負であるとも言える。おそらくどこかの国のどこかの企業では、すでに目を見はるような手法を開発しているのかもしれない。近ごろそれに遅れをとらぬよう、私も頑張らねばならないと再認識している。今、面白い接合法が私の頭にあるのだが、これはまだ秘密である……。

低温工学イブニングセミナー開設のお知らせ

低温センター吹田分室は工学部の協力を得て本年度に次の要領で低温工学イブニングセミナーを開設することになりました。これは発展する低温工学分野の現状と将来を現在第一線で活躍中の方々に御講義いただき、学内の低温工学に関心を持つ教職員・学生の教育に役立てようとするものです。

記

講　　師	学外の大学・研究所・民間企業に所属し低温工学分野で活躍中の方々
日　　時	2～3週間に1度、月曜日または火曜日の午後5時から7時（講義1時間30分 質疑30分）
場　　所	工学部超電導工学実験センター3階会議室
開設期間	昭和59年5月～60年3月

現在前半期の講師を依頼中です。年間計画表の出来次第各部局を経由してお知らせします。お問合せは低温センター吹田分室山本純也（吹田地区内線4106）にお願いします。