

令和 6 年 9 月 25 日現在

機関番号：50103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04080

研究課題名(和文)自己き裂治癒能力を持つ高耐食性セラミックスと金属の耐環境性に優れた異種固相接合法

研究課題名(英文) Solid-phase joining method for the high corrosion resistance ceramics having self-healing ability and the metal

研究代表者

高橋 剛 (Takahashi, Tsuyoshi)

釧路工業高等専門学校・創造工学科・特任教授

研究者番号：50435393

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、接合時に界面付近のアルミナ側に生じるダメージと接合条件の因果関係について分析し、アンカー効果により曲げ強度の低下を抑制できる可能性が分かった。但し、抜本的対策として、接合時の摩擦熱によりアルミナの微割れを自己治癒機能で修復させることを狙った。そのために、SiCに比べて低い温度で修復反応が起きるTiCに着目し、多くの実験により特性を調べた。その結果、ほぼ母材曲げ強度近くまで回復できる条件を見つけた。しかし、それでも、摩擦熱だけで発現できる条件に達することはできなかった。また、アルミナは高い耐食性を示すことから異種接合した際のガルバニ電池腐食の影響も調べたが問題視するレベルにはなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アルミナは高温強度も耐摩耗性も高く、熱変形もしづらいことから、無駄に冷却しなくても良いので高い熱効率が得られ、高温環境下で用いられる機械部品の材料としては貴重であるが、破壊靱性値が著しく低く、且つ極めて高硬度であるため難加工材であり、高額でもある。そのため、製品全体ではなく、必要な部位のみに適用し、それ以外は安価で加工し易い材料で構成するのが妥当である。この異種接合には摩擦圧接を用いる。この接合法は、継手効率がよく、自動車、電機、土木建設など多くの産業分野で用いられており、開発意義は大きい。当然、摩擦攪拌接合への技術展開も可能であるため、産業界全体に与える影響は大きい。

研究成果の概要(英文)：In this study, the Al₂O₃ round-bar and AC8A(Al-Si₁₂CuNi) round-bar were joined by friction welding. AC8A is a typical piston material treated by the heat treatment T6. The parameters of the joining condition are friction time and upset pressure. SEM observed the microstructure at the interface region of joined materials. 1) Judging from these photographs, the damages to the microstructures at the interface region of joined materials depended on friction time are more significant than those caused by friction time. 2) It is found that the relationship between the joint conditions and mechanical characteristics from three points of bending test results. 3) The interface of Al₂O₃ suffered the damages(minute cracks) when AC8A and Al₂O₃ has been bonded. For countermeasures, Authors give Al₂O₃ the crack self-healing ability on lower temperature. Concretely, titanium carbide(TiC) has been considered as self-healing temperature ranges, such as below 600

研究分野：材料と加工

キーワード：Friction welding Alumina Self healing Titanium carbide Aluminum alloy Microcracks corrosion Galvanic

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

摩擦圧接は、接合強度が高いことに加え、加工時間が短く生産工程も安定しており生産効率が良いことから、自動車部品をはじめ多くの産業用部品の接合に用いられている。例えば、純 Ti と純 Mg を溶接しようとしても液相では溶け合わないので接合できないが、固相接合は材料問わずそれが可能になる。これが最大の長所とも言える。そのような材料の組み合わせの中でも大きな期待を寄せているのがセラミック材と金属の接合である (Fig.1)。セラミックスは、過去に自動車メーカーがこぞってセラミックスエンジンの開発に着手した経緯がある。理由は、高い耐熱性と高い摩擦性、そして低熱伝導率と低熱膨張率である。例えば、通常のアルミ合金製のエンジン部品は融点を超えぬように冷却しなければならず、せっかくの熱エネルギーを破棄しなければならぬが、セラミックスの高耐熱性であれば無理に冷やす必要はないので、高い熱効率が得られるし、熱伝導率が低いので、周囲を高熱にさらすこともない。一方、欠点は、硬すぎて加工が難しいこと及び比較的高価なことである。従って、金属切削バイト、海中切削リグやエンジンピストンヘッドなど簡易形状で且つ硬度を要求される部位のみをセラミックスにし、それ以外の複雑形状部位には安価な一般金属で接合できれば大きな利点を生む。加えて、異種金属同士の接合材を腐食環境下で用いたときのガルバニ電池腐食の回避の可能性もありえる。しかしながら、セラミック材と金属は機械的特性が大きく異なるので接合時の接合衝撃と摩擦熱による熱変形差により接合面のセラミック側に生じる亀裂が確認されており^[1]、依然として解決できないでいる。本研究では、高耐食性セラミックの自己き裂治癒能力により圧接時の亀裂を修復して接合を完結させ、産業界が必要とする工業用接合材の加工法を開発する事を目的とする

2. 研究の目的

本研究は、摩擦圧接の用途拡大を目的に、基盤(C)課題番号 22560093 と基盤(C)課題番号 15K05703 との成果を元に、セラミックスのアルミナ(Al₂O₃)とアルミ合金(AC8A)の接合にトライする。この材料の組み合わせは通常のアーク溶接等では不要な金属間化合物を生成するため無理であり、可能性があるのは塑性流動を利用する固相接合の摩擦圧接である。接合のイメージを右図に示す。上述の文献^[1]のように接合時発生するセラミックの亀裂(ダメージ)は、摩擦熱を利用して発現する自己治癒機能により修復できると考える。

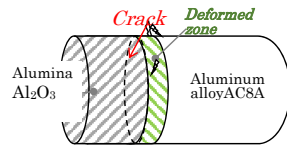


Fig.1 Illustrate of Test specimen

この接合技術を活かすべく想定している最初の機械部品は Fig.2 のようなエンジンピストンである。ピストンヘッド部は、円板形状に近いので硬いアルミナであっても比較的加工は可能である。一方、ピンボスやスカートは形状が複雑なので従来のアルミ合金で鋳造する。界面は摩擦圧接で接合することを目指す。

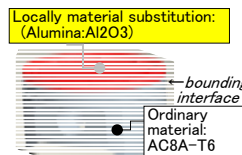


Fig.2 Piston composed of different materials

- 以下に検討項目を示す。
- 1) アルミナ(Al₂O₃)とアルミ合金(AC8A)の接合技術開発
 - 曲げ強度との関係 -
 - 2) 比較的低温で自己治癒機能を発現する材料の検証
 - 3) 接合材の耐食性評価

3. 研究の方法

[1]アルミナとアルミ合金の接合技術開発:

1) 接合試験片サイズ及び接合装置:

一般的なブレーキ式以外にクラッチ式機能を有する特別な摩擦圧接機を用い、Fig.3 に示す共に長さ 50mm、直径 18mm、のアルミ合金 AC8A-T6 と掘み部直径 20mm、接合面直径 18mm の段付き試験片を以下の複数の接合条件で試みた。

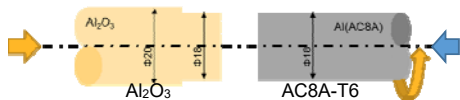


Fig.3 Dimension of test specimens and schematic of friction welding

2) 材料の化学組成と試験片形状

摩擦圧接材の化学組成を Table 1 に示す。

Table.1 AC8A と Al₂O₃ の化学組成 (%)

Name	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
AC8A	11.7	0.12	1.17	0	0.98	0	1.17	0	0.01	Bal.

Name	Al2O3	SiO2	MgO	Fe2O3	CaO	Na2O	K2O	TiO2	Cr2O3	Other
Al2O3	99.7	0.08	0.05	0.15	0.01	0.01	0.01	0.002	0.001	0.122

3) 接合条件

接合条件を Table 2 に示す。摩擦回転速度と摩擦圧力、摩擦時間は全て同じ条件である。

Table.2 試験片接合条件

No	Friction speed[rpm]	Friction pressure[MPa]	Friction time[s]	Upset pressure[MPa]	Upset time[s]
1	1650	25	2.0	75	10.0
2	1650	25	4.0	75	10.0
3	1650	25	10.0	75	10.0
4	1650	25	15.0	75	10.0

○曲げ試験方法: 中型精密万能試験機 (Fig.4)

三点曲げ試験、支点間距離 100mm、両材料の支点部直径が異なる上に、アルミ合金側には円周 120° 間隔に幅 10mm 程度の平面が計 3 か所あるため、支持部にその平面部にならず且つ軸中心線が水平になるようにスペーサーを入れて調整した。荷重點は目視で接合界面上になるように注意を払った。荷重圧子の直径は 3mm、支持点ピンの直径は 4mm である。試験片が円断面であるため、幅方向への移動を拘束するためガイドを装置した。

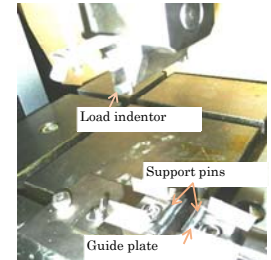


Fig.4 3points bending device (SHIMADZU Autograph AG-100KNXplus)

4) 接合試験片結果: 以下の Fig.5 は、アプセット荷重 25MPa と 50MPa のときのものである。Al₂O₃ は AC8A に比べて数倍硬く、摩擦熱によって高温になっても AC8A のように軟化しない。従って、接合すると AC8A の界面付近が半径方向にせり出されるように一方的に変形する。これを寄代という。アプセット荷重が大きいほど摩擦熱が大きくなるのでアプセット荷重 50MPa のほうが 25MPa のそれよりも大きくなっている。一方の Al₂O₃ はほとんど変形していないのがわかる。

Fig.6 は、摩擦時間と寄代の関係を示した図である。上述したように摩擦時間が長いほど、摩擦熱量が大きくなり、アルミ合金が熱せられ、寄代変形量がほぼ線形に大きくなっていることが分かる。

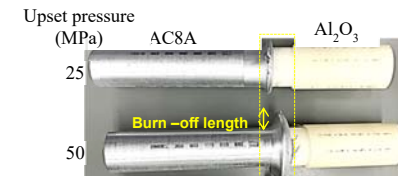


Fig.5 Appearance of bonded test pieces

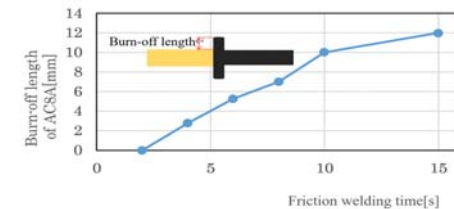


Fig.6 Burn-off length of AC8A-T6 on the different conditions

5) 3点曲げ試験結果:

Fig.7(a)は、接合試験片の3点曲げ試験による破断後の状態を一例として示している。試験片直径に比し、支点間が短い曲げ変形よりもせん断変形による破断がメインである。破断面の

特徴は、Fig.7(b)に示すように AC8A 側にも Al_2O_3 が付着しており、破断面に AC8A は確認できない。界面付近を起点に Al_2O_3 側にせん断すべりを生じ、外周に沿ってシアーリップが見られる。

但し、延性破断でないで軸中心部にディンプルなく、底面部は脆性的である。接合条件が異なっても、この特徴的な破断面傾向は皆同じである。Fig.8 はアプセット圧力 75MPa における摩擦時間違いの最大曲げ荷重を示している。摩擦時間が短い 4sec が最も高いが、それ以上になると曲げ荷重が低下し、10sec を超えると更に増加傾向が見て取れる。この理解し難い傾向について、接合界面付近の微視組織構造との因果関係について検討する。

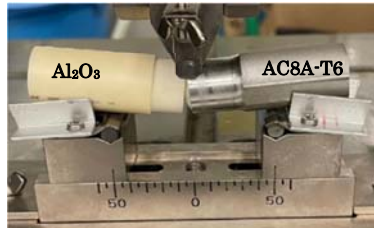


Fig.7(a) Appearance of 3-points bending test



(a) Al_2O_3 side (b) AC8A side

Fig.7(b) Fracture surfaces on friction time 15s, upset force 75MPa

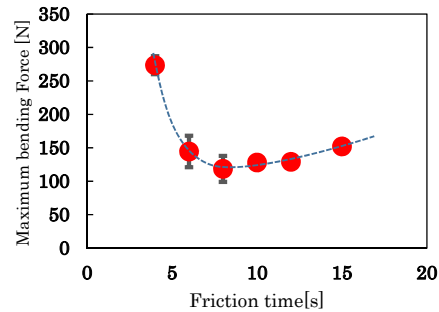
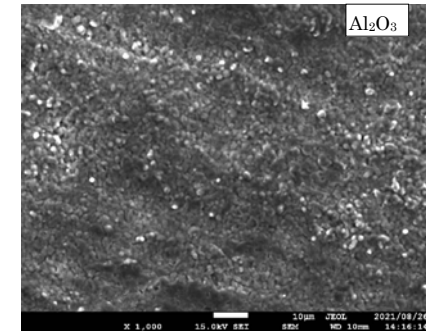
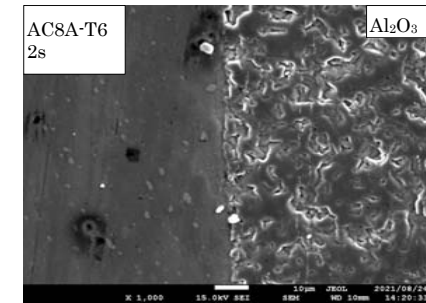


Fig.8 Maximum bending force and Friction time on Upset 75MPa

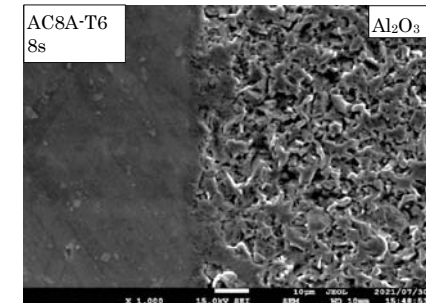
Fig.9 は、アプセット圧力 75MPa での摩擦時間 (a) As received, (b) 2s, (c) 8s, (d) 15s の軸中心上の接合界面付近の SEM による微視組織を示している。全て倍率は 1000 である。(a) は Al_2O_3 の受け入れ材表面であり、接合前の表面状態は比較的平坦である。この状態と比べると接合材の (c) ~ (d) の Al_2O_3 側は少なからずダメージを受け、表面に凹凸ができていくことがわかる。これは、明らかに接合によって生じたものであるが、必ずしも摩擦時間が長いほどダメージが大きくなるのではなく、(c) 8s よりも (d) 15s のほうが少なく感じる。一方、AC8A のほうは、摩擦時間の影響は見取れない。そこで、接合時の Al_2O_3 へのダメージを定量的に評価できるように画像処理ソフトを用いて処理した。



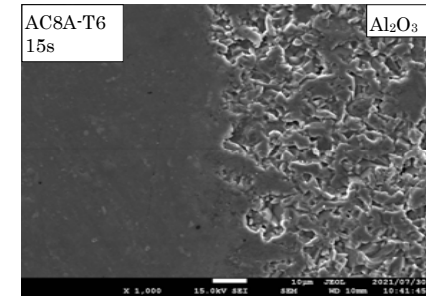
(a) As received



(b) 2s



(c) 8s



(d) 15s

Fig.9 Observation of microstructures on different friction times

6) 3点曲げ試験による Al_2O_3 側のダメージ評価：画像処理ソフト Quick Grain は、画像を対象に粒計や粒子数を自動測定できる画像処理ソフトである。Fig.10 では画像上で確認できる凹の部分にダメージによる小孔と定義し、デフォルト設定値で凹と認識したものを緑線で囲っている。そして、摩擦時間別の自動カウントした凹み数と最大曲げの相関図を Fig.11 に示している。この図を見ると、両者には強い相関性が見てとれる。特に注目は、摩擦時間が長いほど凹み数が増える傾向にあると思われたが、15s の界面付近黄色点線領域内の凹み数は、8s のそれと比べると明らかに少ない。15s の最大曲げ荷重が 8s のそれよりも大きくなっていることと関係がありそうである。

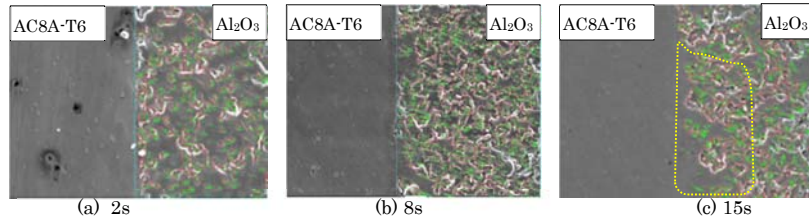


Fig.10 Extraction of damage defects on different friction time by the image processing

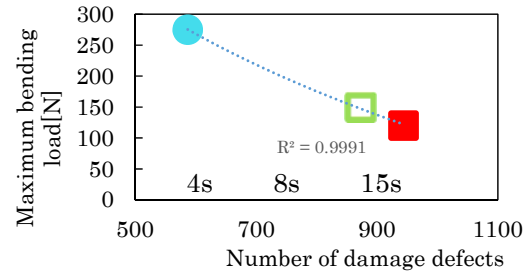


Fig.11 Maximum bending load vs Number of damage defects on different friction time at Upset 75MPa

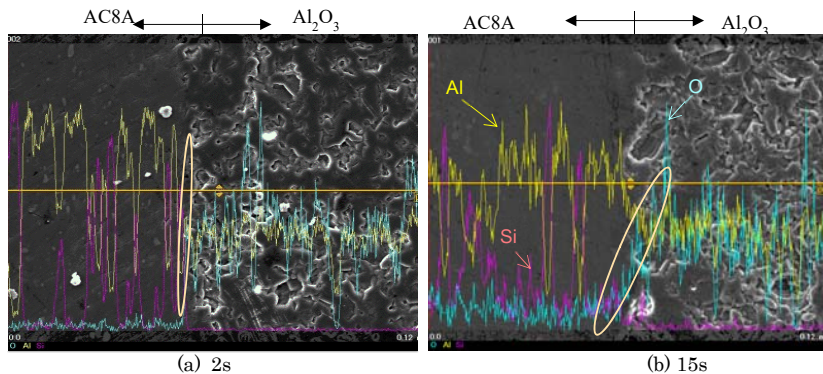


Fig.12 Microstructure and the elements profile on the centerline around the weld

Fig.12(a),(b)は Fig.9(b)の摩擦時間 2s と Fig.9(d)の 15s に示したそれぞれの図に軸中心上の成分線分析結果を重ね書きしたものである。図中の 3 成分とは酸素 O(青)、シリコン Si(赤)、アルミ Al(黄)をそれぞれ色違いで分布を示している。尚、観察試料面はダイヤモンドペースト研磨材を用いてバフ研磨し、条件間でバラツキがでないよう研磨方法を同じにした。結果を見ると、線分析は条件間の差が明らかである。具体的には、Fig.12(a)の 2s の結果は、それぞれの材料し

か含まれていない元素は接合面を境に留まっている。しかし、摩擦時間の長い Fig.12(b)の 15s を見ると、本来 AC8A には含まれていない Si が界面を超えて侵入している、反対に Al_2O_3 には含まれていない Si が確認できる。これは、高温になるほど活発化する原子拡散によって Al_2O_3 から O が界面を超え AC8A 側に移動したことを意味している。一方、2s は摩擦時間が短いので摩擦熱が顕著な原子拡散が生じなかったと考えられる。特に Al_2O_3 は熱伝導率が小さいため、熱は界面付近に留まり、AC8A を熱するため、材料は一層軟化し、一部は界面を超え、物質的に Al_2O_3 へと侵入し、 Al_2O_3 にあった凹みを AC8A が埋め尽くしているようにも見える。画像処理による摩擦時間 15s の凹み数が、8s のそれよりも少なかったことはこのことによる。AC8A の侵入による曲げ強度の僅かな上昇は一種の「アンカー効果」ではないかと考える^[2]。文字通り、アンカー(碇)が海底の凹みに引っかかるように、樹脂が金属側の微細な凹みに入り込んで動かなくなり、強い接合強度を生み出す効果を指す。強度的には、産業界で使用できるレベルではないが、今後の開発如何によっては大きな期待が寄せられており、今後は、引っ掛かりのメカニズムについて検討を要する。

[2] 比較的低温でも自己治癒機能を発現する材料の検証：

1) 目的：Fig.9 に示したように AC8A との接合の際の、 Al_2O_3 接合面にダメージ(凹み)が生じる。そこで接合摩擦熱を利用し、 Al_2O_3 に自己修復材を分散させることで自己修復作用を発現させる。そのためには摩擦熱で修復反応が発現できる温度の材料が条件となる。これまでの実績の多い Ni, SiC などを分散させた Al_2O_3 系複合材の場合、1000 以上で自己治癒が報告されている^[3]ので、反応温度が融点 650 下の AC8A を接合することを考えると高過ぎて不適である。そこで、選んだ材料は酸化チタン TiC であり Al_2O_3 との場合では、それより低い温度で自己治癒可能と期待できる^[4,5]。

そこで、本研究は冷間等方圧加圧(CIP)法、ホットプレス(HP)法による 10 vol% TiC を分散させた Al_2O_3 系複合材を製作することで Al_2O_3 /TiC のき裂自己治癒を確認し、機械的性質との関連性を明らかにする。

2) 試料作製方法： Al_2O_3 /TiC 試料作製：TiC の粒度による自己修復効果への影響を調査するため、粒子サイズの大(平均 1.5 μ m:マイクロ)と小(平均 0.2 μ m:ミクロ)異なる 2 種類の TiC を用意した。これらを Al_2O_3 に混入させる分量をマイクロ TiC は 5%,10%,15%、一方ミクロ TiC は 10%とした。

TiC を混入するためには、 Al_2O_3 を内製化する必要があるので、 Al_2O_3 粉末を用い、CIP で 8 種類、HIP で 3 種類の計 11 種類を候補とする。圧力は 30,75,150MPa の 3 種類だが、焼結温度は全て 1500、焼結時間とガスは CIP が 5hr で N_2 、HIP は 1hr で Ar を使った。TiC 粉末は、 Al_2O_3 粉末の体積比で 5%,10%,15% となるようにそれぞれ混合した。

3) 硬さ試験：上述 2)で作成した 11 種類の試験片の中から密度が上位のものを選び、49N の人工圧痕によるピッカース硬さの結果を Fig.13 に示す。この中で熱処理前の硬さが高い、とに着目し、それぞれに対して自己治癒処理した結果も示す。熱処理した結果、高度が高くなった条件もあれば、逆に若干硬度低下したのものもある。

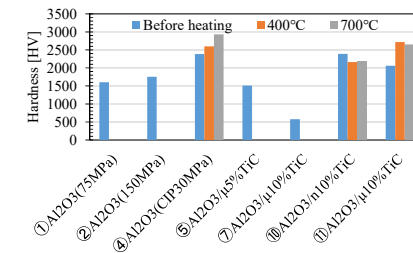


Fig.13 Vickers hardness of samples

4) 3点曲げ試験方法：

Fig.14 は、Fig.13 の中で焼鈍した 3 条件に対して、3点曲げ試験を実施した。すなわち、HIP で製作した TiC 無し、TiC10%で粒径大と小の計 3 種類である。試験条件は、a.試験片研磨、b.圧痕導入後、c.400 \times 1hr、d.700 \times 1hr、の各 4 条件である。3点曲げ試験方法は、JIS R1601 に従い、直方体の試験片(36 mm \times 4 mm \times 3 mm)に切断し、矩形断面の四隅を 45 $^\circ$ で面取りした。試験機は Fig.7(a)であるがスパン間は 20mm とした。更に試験片の圧痕面が下側、すなわち、引張側となるようにセットした。

この結果を見ると、⑩10%ナノ TiC の焼鈍 700 \times 1hr の効果が突出して高くなっている。それ以外の条件も僅かながらも自己修復機能が発揮されていることが確認できる。

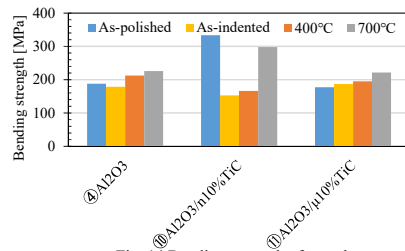
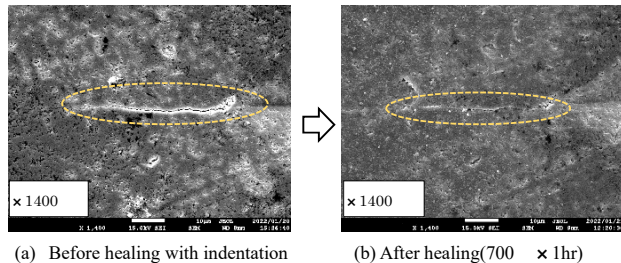


Fig. 14 Bending strength of samples

5) 自己修復機能の確認:

SEM(走査型電子顕微鏡)を用いて試験片番号⑩の亀裂修復状況を観察した結果を Fig.15 に示す。この写真から黄色点線枠内の圧痕亀裂は塞がっているように見え、亀裂導入前よりも僅かに低下するぐらいまで回復していると判断できる。

Fig.15 Healing effect of Al₂O₃/n10%TiC

[3] 接合材の耐食性評価:

1) 目的: 異種接合材が抱える宿命的課題が材料間電位差に起因するガルバニ電池腐食である。アルミナは耐食性が極めて高い材料であることが知られており、異種材と接合した際に貴金属とされる。そのため接合されるアルミ合金 AC8A-T6 側への影響が懸念される。それを明らかにすることを目的とする。

2) 実験方法: 調べるために接合材を、破断後試験片を 180 ° に分割し 6%塩化第二鉄水溶液に 1 週間浸漬した。但し、接合界面付近のみの腐食挙動に着目するために、その部分のみを切断し、重量減少対象となる AC8A の腐食表面積が同じになるように、AC8A 単体の一面を接着剤で覆った。

3) 実験結果: Fig.16 は、6%塩化第二鉄水溶液に 1 週間浸漬した後の両材料の腐食後の試験片様相である。Al₂O₃は Fig.7(b)のように破面そのものを円錐形状に破断しており、腐食後もそのまま形を留めている。一方、AC8A は半円柱形状であったが腐食によって形状が大きく失われている。Fig.17 は、腐食による重量減少量を示しており、結果的には AC8A のみのほうが重量減少が大きい。但し、上述したように AC8A 単体は、接合材のそれと同じになるように一面を接着剤でマスキングしたが、一部剥がれ、腐食していたので、図に示すほどの差はないと考えられる。

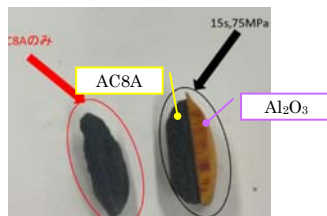
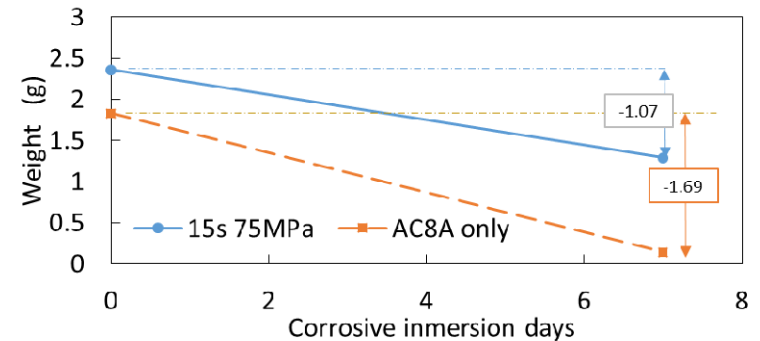


Fig.16 Corrosion appearance of around Alumina and AC8A joint in 6% FeCl3 solution during 1 week

Fig.17 Changing weight Alumina and AC8A joint in 6% FeCl₃ solution during 1 week

4. 研究成果:

- アルミナ Al₂O₃ とアルミ合金 AC8A の接合技術開発 - 曲げ強度との関係 -
工業用品としての曲げ強度は十分ではないが、摩擦圧接によりアルミナとアルミ合金と言う難解な接合を可能にした。十分な接合強度が得られない理由は、接合時間が長いほど強度が低下する傾向があることから接合時、接合界面 Al₂O₃ 側に生じる組織的ダメージ(細かな割れ)によるものと思われる。但し、接合時間がある程度と長くなると、軟化した AC8A が Al₂O₃ 側に一部侵入し、ダメージを補修するような効果が現れ、曲げ強度を若干向上させる。なお、接合機の性能限界から本報告の摩擦時間以上の条件は確認できていない。
- 比較的低温で自己治癒機能を発現する材料の検証
ヒーリング発現温度が SiC よりも低い TiC に着目し、アルミナ Al₂O₃ 粉末に粒径の異なり TiC を別々の試験片に分散、かつ CIP や HIP、それに TiC 混入量や圧力、更にはヒーリング時間を変え、合計 11 試験片を製作し、それぞれについて密度、硬さ、亀裂導入前後の 3 点曲げ強度を測定し、適性を検討した。結果、自己修復作用によってほぼ亀裂導入前の強度に回復させることに成功した。しかしながら、その条件は本研究で目標としていた圧接摩擦熱を活用して達成できるものではなく、高い摩擦熱と持続時間が必要であることが明らかとなった。また、摩擦圧接用部品として TiC 混入 Al₂O₃ 丸棒の作成は、本成形設備の制約から長さや直径が足りず、AC8A 丸棒との接合はできなかった。
- 接合材の耐食性評価
本来耐食性が高いアルミ合金 AC8A と、それよりも更に高いアルミナ Al₂O₃ 丸棒の接合界面付近の腐食に関して、界面部分のみを対象に 6%塩化第二鉄水溶液による 1 週間浸食による腐食実験を行った。異種金属接合に見られるガルバニ電池腐食の発生状況を確認したが、接合材の AC8A 部分の腐食量は、AC8A 単体の腐食よりも若干少ないに過ぎないことが分かった。

5. 参考文献

- M.N.Ahmad et al., Materials and Design 31(2010)670-676
- Takahashi,T, Nguyen T. Son, Kimura, M., Microstructure and Mechanical Characteristics of Friction Welded Joint between Alumina and Aluminum Casting Alloy, *Materials Science Forum Submitted: 2024-02-04 ISSN: 1662-9752, Vol. 1122, pp 27-33 © 2024 Trans Tech Publications Ltd*
- Li, J.Q., Xiao, P., Journal of the European Ceramic Society Vol. 22, No.8 (2002), pp. 1225-1233.
- Ahmad Fauzi, M.N., Uday, M.B., Zuhailawati, H., and Ismail A.B., *Materials and Design*, Vol. 31 (2010), pp. 670-676
- Son Thanh NGUYEN, T.TAKAHASHI, T.NAKAYAMA and H.SUEMATSU, Self-Repair of Titanium Carbide/Alumina Composites by Heat-Treatment and Laser Processing, *Proceedings of JSME International Conference on Materials and Processing 2022, Nov. 6-10 2022, Okinawa, Japan*
- Son Thanh Nguyen, Ayashisa Okawa, Thi-Mai-Dung Do, Chu Minh Ngo, Tsuyoshi Takahashi, Tadachika Nakayama, Hisayuki Suematsu, Koichi Niihara, Self-healing ability and full strength recovery at medium temperatures of low content titanium carbide/alumina composites, *Journal of the Ceramic Society of Japan 2024 Volume 132 Issue 3 Pages 85-92 Online ISSN : 1348-6535 Print ISSN : 1882-0743,ISSN-L : 1348-6535*

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Tsuyoshi Takahashi, Son Thanh Nguyen, Masaaki Kimura	4. 巻 1122
2. 論文標題 Microstructure and Mechanical Characteristics of Friction Welded Joint between Alumina and Aluminum Casting Alloy,	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Science Net; Materials Science Forum (Volume 1122), pp.27-33	6. 最初と最後の頁 27,33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/p-9esRhC	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Son Thanh NGUYEN, T.TAKAHASHI, T.NAKAYAMA and H.SUEMATSU	4. 巻 132
2. 論文標題 Self-Repair of Titanium Carbide/Alumina Composites by Heat-Treatment and Laser Processing	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan 2024 Volume 132 Issue 3 Pages 85-92	6. 最初と最後の頁 85,92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.23176	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 高橋 剛
2. 発表標題 摩擦圧接によるアルミナ異種接合特性に及ぼす微視組織と残留応力への影響
3. 学会等名 日本機械学会2022年度年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tsuyoshi Takahashi
2. 発表標題 The Influence of Microstructure and Residual Stresses on Characteristics of Joining Dissimilar Materials with Ceramics by Friction Welding
3. 学会等名 ICM&P(International conference of Material and Processing) 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋 剛
2. 発表標題 摩擦圧接によるセラミックス異種接合の試行と自己修復特性
3. 学会等名 日本機械学会2021年度年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武田 海成
2. 発表標題 摩擦圧接によるセラミックス異種接合特性に及ぼす微視組織への影響
3. 学会等名 日本機械学会北海道学生会第51回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古川 新日
2. 発表標題 アルミナ/炭化チタンのき裂自己治療・機械的性質を最適化する研究
3. 学会等名 日本機械学会北海道学生会第51回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉山 和輝
2. 発表標題 アルミナセラミックスとAC8Aとの摩擦圧接継手の引張強度に及ぼす摩擦時間の影響
3. 学会等名 JAAA2021シンポジウム「先端自動車製造技術における接合技術2021」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 グエン・タン・ソン
2. 発表標題 アルミニウム合金とアルミナの摩擦圧接とその界面解析
3. 学会等名 日本機械学会年次大会2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	NGUYEN THANHSON (NGUYEN THANHSON) (00797235)	釧路工業高等専門学校・創造工学科・准教授 (50103)	
研究分担者	木村 真晃 (KIMURA MASAOKI) (90285338)	兵庫県立大学・工学研究科・准教授 (24506)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------