

## ISIJ International 掲載記事概要

ISIJ International, Vol. 32 (1992), No. 8  
掲載記事概要

## Reinforcements

## Preparation and properties of the low oxygen silicon carbide fibers derived from polycarbosilane

By M. TAKEDA *et al.*

ポリカルボシランを前駆体として製造される炭化けい素繊維は、機械的特性、耐熱性をはじめとすぐれた性質を有する。ここで炭化けい素繊維の製造方法を改善することによって繊維に含有される酸素量を大幅に低減することができた。すなわち、ポリカルボシランの不融法方法を従来の酸素を用いる方法から、電子線照射を利用した不融法方法にすることによって酸素量を 12 wt% から 0.4 wt% へと大幅に低減することができた。

本研究では、電子線照射不融法で得られた低酸素量の炭化けい素繊維の試作方法および耐熱試験後の試料の解析を走査型電子顕微鏡ならびに X 線回折等により解析した。

## Thermal stability of the low oxygen silicon carbide fibers derived from polycarbosilane

By M. TAKEDA *et al.*

ポリカルボシラン繊維を電子線照射することによって不融法し、焼成して得られる低酸素量の炭化けい素繊維の熱的安定性を調べた。低酸素量炭化けい素繊維の元素組成比は Si-1.3 C-0.02 O であり、引張強さ、弾性率はそれぞれ、2.8 GPa, 270 GPa とすぐれた機械的特性を有している。得られた炭化けい素繊維をさらにアルゴン雰囲気中 2273 K までの高温曝露試験を行い、含有される酸素量とその物理的、化学的な変化の関係を調べた。その結果、低酸素量の炭化けい素繊維は、高温曝露によっても化学的に安定で元素組成の変化もほとんどみられないことがわかった。

さらには、高温下における引張試験を行い、引張強さ、弾性率の温度依存性を明らかにした。

## Metal Matrix Composites

## A unified micromechanical approach toward thermo-mechanical tailoring of metal matrix composites (Review)

By K. WAKASHIMA *et al.*

本レビューは、高温構造材料として注目される金属基複合材料の巨視的な熱・力学挙動を、マイクロメカニクスの立場から理論的に扱う際に有用な一手法について述べたものである。特に金属基複合材料にとって重要な非弾性挙動の解析については、やや詳しく言及した。

はじめに、そのマイクロ構造が様々なアスペクト比を有する楕円体粒子のランダム分布で特徴づけられる多相系不均質固体を対象とした“平均場モデル”について概説し、本手法における基礎式をまとめた。次いで、弾性定数、熱膨張係数、熱容量および熱伝導率の有効値(巨視的平均値)を求め一般式を導き、特に球状粒子分散材および連続繊維一方向配向材に関して具体的な推算式を示した。

続く非弾性解析では、金属マトリックス相がセラミック強化相の弾性拘束下で塑性変形する弾塑性状態を問題とした。金属相内に発生する塑性歪について擬一様性を仮定し、一般的多軸応力負荷・熱弾塑性問題を対象とする数値解析法をエネルギー原理に基づいて定式化した。さらに軸対称な三軸比例負荷問題の場合には、金属相内の平均応力についてミゼス降伏条件式を直接適用する方法が簡便であり、球状粒子分散材について具体的な弾塑性応力-歪関係式を例示した。

## Thermal stability of NiCrAlY/PSZ FGM by plasma twin torches method

By K. SHINOHARA *et al.*

本研究では、2 台のトーチを用いたプラズマ溶射法により NiCrAlY/PSZ 系傾斜機能材料 (FGM) を合成し、その

熱的安定性について基礎的検討を行った。基板には SUS 310 S を用いた。FGM 中の気孔率は PSZ の体積率と共に増加した。FGM を 1473 K の均一温度場で加熱処理すると、PSZ 部では焼結による体積減少が生じた。この収縮により表面から FGM 内部に向かって亀裂が発生し、亀裂中に金属が侵入するのを認めた。金属の Fe 濃度はその供給源と推定される SUS 310 S よりも高かった。したがって、PSZ 部における亀裂発生を防止するためには、減圧溶射等により PSZ 部の気孔率を抑制することが必要である。また、NiCrAlY-基板間の相互拡散による組成変動および気孔発生を防止するためには、FGM の金属部に基板と同一の材料を用いることが望ましいと言える。なお、NiCrAlY/PSZ 系 FGM を 1473 K-873 K の傾斜温度場で加熱処理しても、亀裂の発生は認められず、FGM 組成はほとんど変化しなかった。この FGM はタービンブレードの耐熱被覆として有望であることが明らかになった。

## Strengthening mechanisms in aluminum-ceramic particle composite alloys produced by mechanical alloying

By T. HASEGAWA *et al.*

メカニカルアロイング (MA) によって作製した Al-セラミック粒子複合金の室温での降伏強度を組織学的観点から解析し、以下の結論を得た。強度の 80% 以上は、MA およびその後の製造過程で形成された微粒子 (約 35 nm 径、 $Al_4C_3$  と  $Al_2O_3$ ) による分散強化と MA 時に混合した粗大セラミック粒子 (0.4-1  $\mu m$  径; Si,  $Al_2O_3$  あるいは SiC) による粒子強化によって決まる。前者の機構は最終製造過程である高温押し出し時に微細粒子にピン止めされた転位がそれらから離脱する過程に関連し、後者の機構は粗大粒子がその周りで母相の変形を拘束することに起因する。同一粒子体積率に対して、強度への寄与は前者が後者を上回る。Al 母相中の不純物 (主として Fe と Si) は固溶強化によって強度に寄与する。また、これら 3 種類の強化機構は加算的に降伏強度を上昇させる。製造時に導入された高密度 ( $10^{14} m^{-2}$  のオーダー) の転位の存在による加工硬化と小さな結晶粒 (約 0.5  $\mu m$  径) による結晶粒界強化は強度を決定する主要な機構ではない。

## Mechanical properties of particulate reinforced titanium-based metal matrix composites produced by the blended elemental P/M route

By M. HAGIWARA *et al.*

チタン合金の使用可能温度をより高温にまで拡大させる手法として、チタン合金を基質とし、これに高温特性の優れた比較的大きな寸法のセラミック粒子をマクロ的に組入れるという複合材料化が効果的と考えられる。本研究は、TiC あるいは TiB セラミックス粒子を強化相とした粒子強化型 (Particulate-reinforced) のチタン基複合材料を素粉未混合法を用いて製造することを試みた。

本研究では、炭素を含む (例えば  $Cr_3C_2$ ) あるいはボロンを含む (例えば FeB) セラミック粒子を出発原料として用い、真空焼結時にこれら粉末を基質のチタンと反応させて、TiC あるいは TiB をチタン基質中に均質に分散させるという手法を考案した。この手法により、Ti-5 Al-2.5 Fe-15 TiB 及び Ti-5 Al-13 Cr-10 TiC (数字は重量%) の 2 種類のセラミック粒子強化型複合材料を製造した。

セラミック粒子の分散は極めて均一であった。室温から 923 K の温度範囲では、基質の合金よりも大幅に高い引張り強度を示した。また、室温における弾性定数も Ti-5 Al-13 Cr-10 TiC の場合で約 35% の増加を示した。

## Deterioration factor of SiC/Ti alloy composite after heat treatment

By Y. IMAI *et al.*

繊維強化金属基複合材料 (FRM) では、繊維と母相の界面に形成する反応生成物が強度に著しい影響を与える。本研究は加熱処理による FRM 強度及び FRM からの抽出繊維の強度を調べ、強度劣化の要因について検討した。

強化繊維には SiC、母相には Ti、Ti-6 Al-4 V、Ti-Mo/Ti-6 Al-4 V を用いた。熱処理は  $1 \times 10^{-3}$  Pa, 1073-

1123 K, 32 ks-360 ks で行った。引張強度は室温で測定した。FRM の強度は、熱処理の初期には界面反応相の厚さの増加と共に徐々に低下するが、臨界の厚さに達すると急激に低下することが認められた。いずれの母相の場合も大きく強度低下した FRM からの抽出繊維の強度はばらつきが大きく、しかも低下の大きいグループと小さいグループに分かれる。合金母相の FRM から抽出した繊維では、強度の劣化した繊維数は純 Ti 母相に比べ少なかった。劣化の著しい繊維には表面にピットが認められ、それが破壊の起点となっていた。すなわち、FRM の強度劣化は反応生成物の局所的な成長により生じた繊維表面のピット部における応力集中によることが明らかになった。

### Ceramic and Carbon Matrix Composites

#### Preparation of carbon fiber/SiC composite by chemical vapor infiltration

By T. NODA *et al.*

エチルトリクロロシラン (ETS) 及びメチルトリクロロシラン (MTS) を SiC の反応ガス原料として化学気相浸透法により炭素繊維基板内に SiC を析出させ、炭素繊維/SiC 複合材料を製造した。作成した複合材料の組織ならびに機械的性質を検討した。浸透反応は、試料下流側を高温にする非等温条件下で行った。試料下流側の圧力は 13.3 kPa 及び温度を 1273-1573 K の一定に保った。この結果、密度 80% 以上の複合材料が得られた。両原料ガスともマトリックスの主成分は  $\beta$ -型 SiC であった。しかし、MTS では Si の析出も認められなかった。TEM による観察結果、炭素繊維/SiC 界面にグラファイト相の生成が認められ、繊維と SiC のぬれ性を良くしているものと考えられた。ETS では、最高 800 MPa の高強度材料が得られた。破断強度は、複合材表面を覆う SiC 相の厚さ並びにポア密度をさげることによってより改善される。本材料の破壊靱性値は室温で 6-10 MPam<sup>1/2</sup>であった。

#### Initiation and propagation values of fracture toughness in random-oriented short carbon fiber-reinforced carbon composites at 293 and 623 K

By K. KEMMOCHI *et al.*

2次元ランダムカーボン短繊維強化カーボン複合材料 (2DRSF-C/C) における微小き裂の発生と進展の過程におけるモード I 型破壊靱性の変化を明らかにした。この研究では、負荷機構を持つ特殊な光学顕微鏡を使用し、TCB と SENB の 2 種類の試験片についてき裂進展挙動を“その場”観察により行った。その結果以下に示す知見を得た。2DRSF-C/C のき裂発生初期の破壊靱性値は、炭素材料その

ものの値とほとんど変わらなかった。また、破壊靱性の初期値を評価するため応力にもとづく法則とエネルギーにもとづく法則の両者を比較検討したが後者の値の方が実験結果と良く一致した。

この破壊靱性値は、き裂の進展に伴い、急速に増大する。ここで試験片の形状が、初期値と伝ば時の値に及ばず違影は認められなかった。顕微鏡観察では、繊維のブリッジングが観察され、き裂進展を妨げるき裂閉口力は、繊維の引き抜き抵抗に起因するものと考えられる。更に、高温での試験から、き裂の発生と進展両方の破壊靱性値が増大して高靱化現象が見られた。

### Analysis of fiber-bridging by extended daggdale model

By M. SAKAI *et al.*

一軸長繊維強化脆性マトリックス大複合材料の破面間繊維架橋を記述する単純ダグダールモデルについて論じる。このモデルは実験結果も説明するには単純過ぎるが、反面、解析解を与える点や実用的考察の点で非常に有用である。破面間の構成方程式 (破面架橋応力と破面開口変位量の関係) を記述する方程式の詳細は複合材の破面間繊維架橋高靱化を考察する上で、さほど重要ではなく、「平均架橋応力」及び「架橋領域の長さ」の二つのパラメーターが高靱化に本質的な役割を果たすことが強調される。

### Mechanical properties of particulate reinforced SiC-based ceramic composite (Review)

By M. UEKI *et al.*

SiC 基セラミックスは、高温での強度、硬さそして化学的安定性において優れた特性を有する。このような魅力的な特徴から、そのセラミックスは、高温構造材料及び耐摩耗・耐食材料の有力な候補にあげられている。一方、TiC, NbC, ZrC, TiN, TiB<sub>2</sub> そして ZrB<sub>2</sub> といったいわゆる遷移金属の炭化物、窒化物あるいは硼化物は、顕著な耐火性と良好な導電性を有している。しかしながら、SiC 及びこれらの高融点化合物のそれぞれの焼結体の破壊靱性は低い。本解説においては、セラミック材料の破壊靱性値を向上させる方法としての高融点化合物の複合化剤 (フィラー) としての適用を試みている。つまり、SiC-X (X: 遷移金属の炭化物、窒化物あるいは硼化物) 複合体の製造とそれらの機械的・物理的諸特性そして、それらの微視構造と巨視的諸特性の関連について述べている。高融点化合物粒子/SiC マトリックス複合体は、SiC あるいは高融点化合物単体に比べて優れた機械的諸特性を示し、複合体の電気伝導度は、複合化する化合物の量を変化させることにより可変である。

会員には「鉄と鋼」あるいは「ISIJ International」のいずれかを毎号無料で配布いたします。「鉄と鋼」と「ISIJ International」の両誌希望の会員には、特別料金 5 000 円の追加で両誌が配布されます。