

環境調和材料強度学分野

環境負荷軽減を支える材料研究

教授
丸山 公一



助教授
吉見 享祐



助手
鈴木 真由美



助手
蓋 暁輝



COE 研究員
祝 漢良

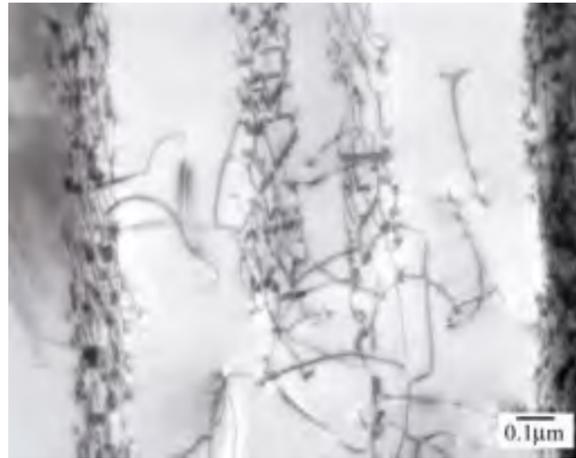


図1 W添加TiAl合金のβ₀粒子による転位のピン止め効果

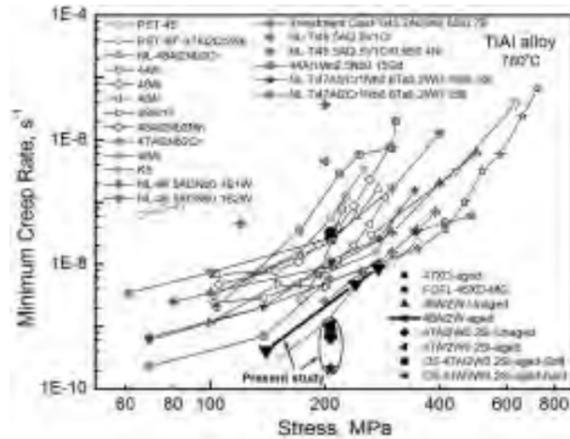


図2 各種TiAl合金の高温変形のスPEED(760°C)の比較

TiAl合金：次世代軽量高温材料

比重2.7のAlと4.5のTiからなるTiAl合金は、航空機エンジン(タービン翼)や自動車エンジン(ターボチャージャ、排気弁)用の次世代軽量高温材料である。ヨーロッパでは燃費の良いディーゼル車が人気で、ディーゼル車ではターボチャージャが必須である。ターボチャージャの性能を決める翼車の特性向上のために、軽くてしかもより高温に耐える軽量高温材料の開発が推進されている。日本のガソリン車の空燃比は、理想値より低いところに設定されている。理想値に近づければ、燃費は向上するが、排ガス温度が上昇し、それに耐える材料が必要になる。当グループでは、ターボチャージャの高性能化や排ガス温度の高温化に対応するよう、TiAl合金の高強度化を目指した基礎研究を行っている。

高温で使うTiAl合金の高強度化には、材料組織の微細化とその組織を高温でも安定に保つ工夫が必要である。TiAl合金は、γTiAl相とα₂Ti₃Al相という2種類の化合物相がナノ～サブミクロンサイズの層状組織を形成している。層状組織中には、多くのγ/α₂界面とγ/γ界面とが存在する。この材料にWを添加すると、微細なβ₀粒子(直径数十nm)が導入される。この材料を950°Cで変形した後の透過電子顕微鏡写真を図1に示す。物体の変形は、転位(写真の黒い線)と呼ばれる格子欠陥の運動で起きる。写真から、粒子が転位の動きを止められている様子が分かる。その結果、この材料は変形のスPEEDが遅く、より高温まで耐えるものとなっている。

図2は、これまでに報告されている種々のTiAl合金の

高温性能を比較したものである。本研究のW添加材料(48Al2W, 47Al2W0.2Si)は、他の材料に比べて高温変形のスPEEDが遅く、高温でより長時間外力を支えることができる。TiAl合金を作る際に、凝固の方向を制御する(一方向凝固、DS)と、層状組織を一方向に揃えることができる。この方法を使って、力が作用する方向に層状組織の向きを揃えたものがDS-47Al2W0.2Si-Hard材である。この材料では、層方向を揃えていない材料に比べて、更に1桁近く遅い変形スPEEDを達成している。これらの実験結果に基づいて、より高温でより高速の回転に耐えるTiAl合金の材料と組織の設計指針を提案した。

これらを含めたこれまでの成果に対して、本年3月に、日本金属学会 谷川・ハリス賞と、日本鉄鋼協会 学術功績賞が贈呈された。

自己組織化機能を利用した金属間化合物表面のナノ自己パターンニング

B2型金属間化合物の属性を利用して、大量の原子空孔を材料中に閉じ込め、その後この過飽和な原子空孔を自己組織化することによって試料表面をナノレベルで自己パターンニングするための、基礎と応用について研究をしている。B2型金属間化合物としては、FeAl、NiAl、CoAl、TiCo、TiNiなどを対象とし、FeAlにおいては単結晶作製とそれを用いたナノテンプレートとしての基板作製を行った。その結果、単結晶表面の方位に依存して試料表面のパターンが変化することを、透過型電子顕微鏡を使って確認した(図3A-C)。これは、試料表面のピットパター

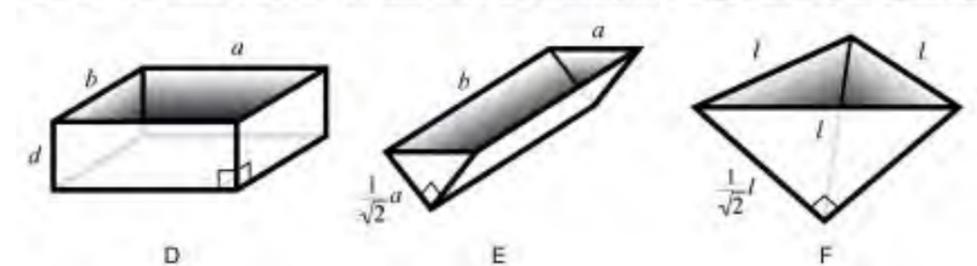
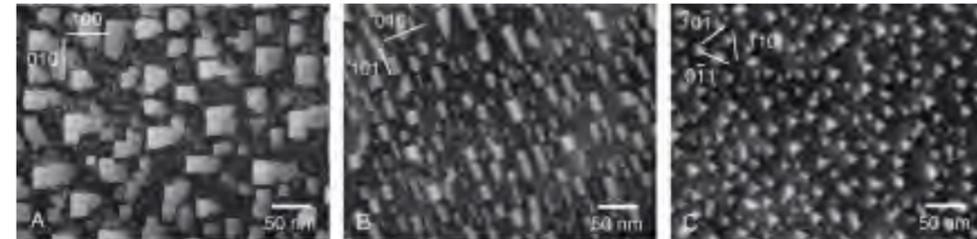


図3 FeAl金属間化合物表面のナノ自己パターンニング。

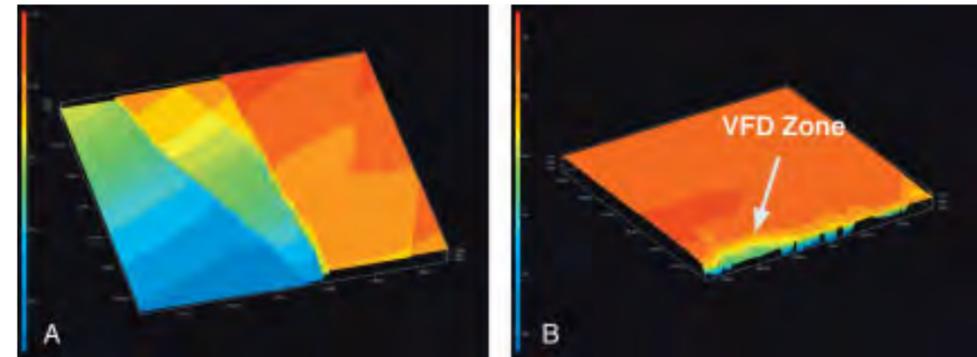


図4 金属ガラスの引張破断後に試料表面で観察されるShear BandsとViscous Flow Depression Zone。

ンが{100}結晶面によって生成するためである(図3D-F)。試料表面における単位面積あたりのナノピットの個数は、初期の過飽和な原子空孔の濃度や、自己組織化するときの条件に強く依存することが明らかとなった。したがって今後、過飽和な原子空孔を材料中に閉じ込めるための技術や、自己組織化させる技術の開発が重要であると考えている。尚、本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究B)の支援によって遂行されている。また、本研究結果を受けて、2006 ECI Okinawa Conference “Innovative Nanoscale Approach to Dynamic Studies of Materials”のLocal Organizing CommitteeでCo-Chair (Metal Physics)を務めることになっている。さらに、日本金属学会2006年第138回春期大会において、公募シンポジウム“格子欠陥制御工学—材料機能のイノベーション”のシンポジウムChairを務めることになって

いる。
金属ガラスの塑性変形挙動

Zr-Al-Ni-PdおよびZr-Al-Ni-Cu系金属ガラスの、室温における塑性変形挙動を調査している。本年度は引張変形挙動について調査したところ、Zr-Al-Ni-Pd金属ガラスでは、Shear Bandsを伴いながら(図4A)わずかに塑性伸びを発現することが見出された。その際の特徴的な点として、試料表面の破断部近傍では、図4Bに示すように室温であるにもかかわらず、粘性流動によって塑性変形した証拠であるViscous Flow Depression (VFD) Zonesが観察された。Zr-Al-Ni-Cu金属ガラスではこのVFD Zonesはまったく観察されず、このことが塑性変形能の違いになっているものと考察された。尚、本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金(特定領域研究)の支援によって遂行されている。