

石川島播磨重工業(株) 技術研究所 ○中川幸也, 寺島久恵

ガスタービンのディスク, 翼, 燃焼器等の高温部材は超合金と呼ばれ, 素材の耐熱強度がタービンの性能を決定する重要な要素となっている。超合金のマイクロ組織は各種のプロセッシング技術の発展によって中広い制御をすることができ, 結果として使用条件に応じた性質の最適化が可能となった。また最近ではプロセスに適した合金組成の開発により, より適格な性能設計が進んでおり, 人工的な素材としての色彩が強くなりつつある。ここに紹介する写真はジェットエンジン用超合金の透過電子顕微鏡によるマイクロ組織である。Photo. 1は典型的析出硬化型Ni基超合金の基本構成を示すもので, fcc母相(γ 相)中に立方体形状の規則格子析出相(γ' 相)が分散した状態となっている。合金はMar M 247, 動翼用合金であり, 一般には鍛造加工が不可能なため精密鑄造により形状化される。 γ' 相は強度が温度上昇に伴って増加するという特色があり, クリーブ強度の増大のため本合金中の γ' 相の体積率は60%以上になっている。鑄造組織中には, γ' 相の他に種々の炭化物も存在する。Photo. 2はIN 100合金タービン翼の鑄造組織中に存在するTiCである。大きなTiCのまわりは熱膨張率差やエッジ効果により, 応力集中部となりやすく, この写真でも転位が境界面に集中して発生している。これは疲労破壊の起点や径路となり望ましくない。タービン翼にはクリーブ強度をおもに要求されるのに対し, 疲れ強さや破壊じん性に富んだ超合金はタービン・ディスクに使用される。Photo. 3は同じIN 100合金であるが, 粉末冶金によって製造されたディスクの組織である。鑄造組織に比べて, γ' 析出物や結晶粒が微細化され, TiCのような大きな炭化物が存在しない。このディスクはIN 100粉末から予備成形体を作り, 再結晶温度で超塑性加工することによって作られるが, おもしろいことに再結晶後には γ' 単相の結晶粒が発生する。Photo. 3において $\gamma'+\gamma$ の2相状態にない結晶粒はすべて γ' 結晶である。Photo. 4はMar M 247合金を片ロール法により超急冷させたリボンの組織である。超急冷(10^4 °C/秒以上)によりデンドライト偏析の減少, γ' 相の完全固溶体化等の特色が得られ超塑性が出現する。最近のジェットエンジンの高圧タービン翼では, 全体が一つの原子配列でできたNi基超合金単結晶が使用されつつあるが, 単結晶が構造材料として応用された最初のケースである。fcc合金は結晶の対称性に富むが, 単結晶では翼の設計上大切な弾性常数, 引張強度, クリーブやクリーブ破断強度, 低サイクル疲労等に異方性が存在する。Photo. 5は単結晶専用合金, Alloy 454を $\langle 111 \rangle$ 方向に凝固させた単結晶クリーブ試験片の組織を $\langle 111 \rangle$ から観察したものである。一方, Photo. 6は単結晶と並び有力な次世代タービン翼材である粒子分散強化型(ODS)合金の組織である。ODS合金は金属母相中にイットリア等の微細セラミックス粒子を均一に分散させたハイブリッド材料であり, 古くはTDNiが有名である。写真のような γ' 析出強化型合金にセラミックス粒子を混入させることは困難とされていたが, Mechanical Alloy法と呼ばれる粉末冶金により製作が可能となった。

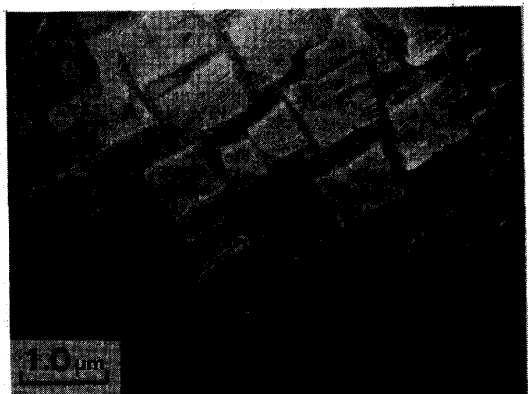


Photo. 1 γ' cuboidal precipitates
in cast MarM 247

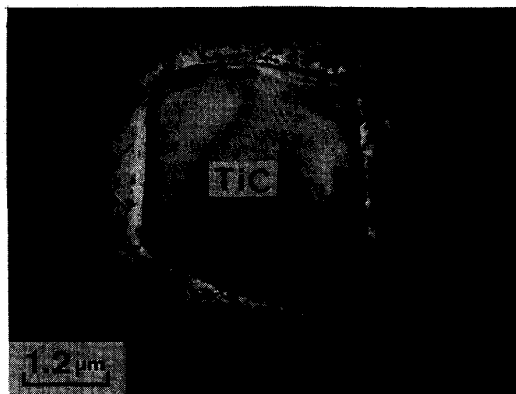


Photo. 2 Large TiC in cast MarM 247

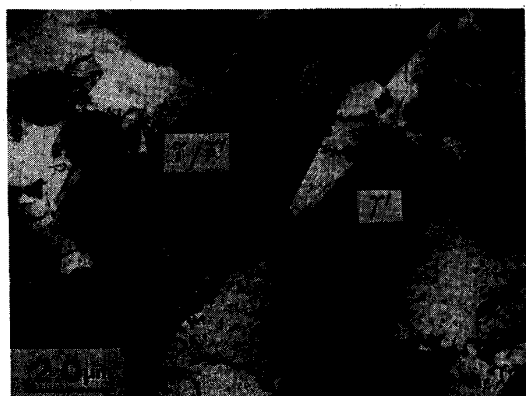


Photo. 3 Superplastically forged
IN 100

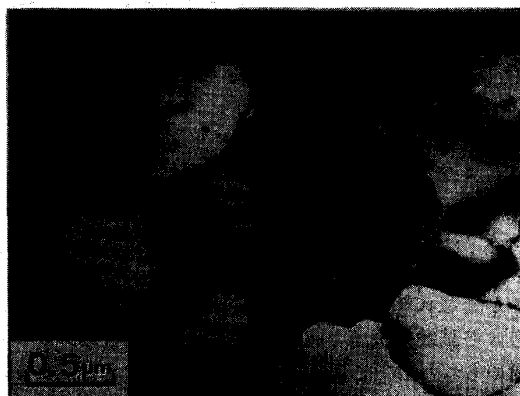


Photo. 4 Melt spun MarM 247 tape

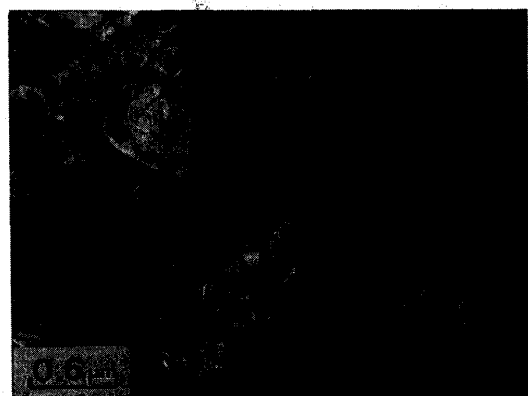


Photo. 5 [111] Alloy 454 single
crystal crept to 1 %

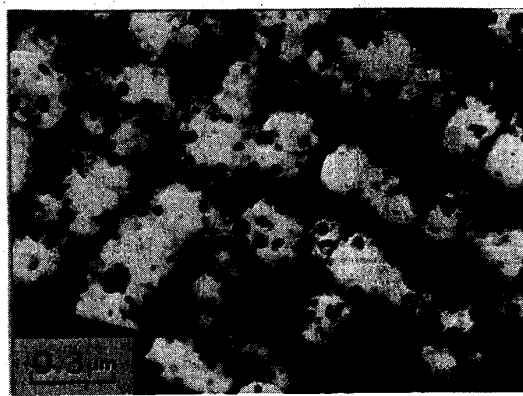


Photo. 6 Mechanically alloyed
MarM 247 with Y_2O_3 dispersoids