

用語解説(9)

『金属材料』

Single Crystal Superalloy (単結晶超耐熱合金)*

従来の超耐熱合金の破壊は結晶粒界で生ずる。そこで部品全体を粒界のない一つの結晶にしてしまうため、新しいタイプのNi基耐熱合金が単結晶専用が開発された。これはMo, W, Coで固溶強化された γ 母相中に高温強度の優れたNi₃(Al, Ti, その他)の γ' 相が析出分散した合金で、 γ' の体積率は60%を超えている。この微細 γ' 相の量を増すには一旦高温熱処理を行うが、その上限温度は初期溶融温度で制限されてしまう。従って初期溶融温度を下げる粒界強化元素C, B, Zr, Hfを必要としない単結晶合金はこの点で大変有利である。単結晶合金はこれまでの合金に比べクリープ破断強さ、熱疲労強度、耐酸化性等に優れている。現在単結晶合金PWA-1480のタービン動・静翼が実用化されている。この合金の優れたクリープ強さは、cubic γ' 粒子が応力軸に垂直な面内で板状になり、rafted structureを形成して変形抵抗が大きくなることに起因するため、 γ と γ' の格子定数差に基づく界面エネルギーが注目されている。組成的にはTa, W等が多くCr量が少ないため耐食性コーティングが重要な課題となっている。また単結晶片接合による中空翼製造法も研究されている。(山県)

- *1) M. Gell, D. N. Dahl and A. F. Giamei: Proc. 4th Int. Symp. on Superalloys 1980, Seven Springs (1986) p. 205.
- 2) 太田芳雄, 中川幸也: 金属 No. 3, 11 (1986).

ODS (Oxide-dispersion-strengthened Alloy 酸化物分散強化型合金)*

合金中に酸化物などの耐熱粒子を分散させた材料である。この耐熱粒子の分散強化のため、従来の耐熱合金よりはるかに高い耐熱性があり、また基地は金属なのでセラミックスより延性があるという優れた性質を示す。この分野に属する材料には、銅系およびAl系の材料もあるが、現在までに開発されて実用化している材料はMA 956, MA 754, MA 6000の3種類である。MA 956はFe基なので、融点が高く、低密度で熱膨張が小さい。MA 754は固溶強化型Ni基合金である。MA 6000は、 γ' 強化型Ni基合金で、あらゆる耐熱合金の中で、現在最高的高温強度を示している。本合金の製造のプロセスには必ず機械的合金法を用いる。これは原料合金粉と酸化物(イットリアが多い)粉を高エネルギー・ボールミル(アトリッタ)で粉砕・混合し、原料粉同士の冷間接合と粉砕を繰返させ、酸化物粉末を基地合金中に均一に分散させる。このようにしてできた複合粉末を金属製のコンテナに封じ込み、押し出しやHIP(熱間等方圧加圧法)で成形する。成形後、一方向再結晶によって粗大でしかも一方向に長く伸びた結晶粒とすることによって、

本合金は製造される。本合金の性能の一例として、MA 6000をあげると、1,050°Cでの1,000時間クリープ強度は15 kg/mm²で抜群の性能を誇っている。(海江田)

* 海江田義也: ターボ機械 13, 220 (1985).

FRM (Fiber Reinforced Metal 繊維強化型金属)*

比強度・比弾性率(比重に対する強度・弾性率)、耐熱性などの高い繊維で強化した金属(合金)マトリックス複合材料をいう。現在構造用金属材料としてはAl系, Fe系などの合金が汎用されている。Al系合金は比重が2.7程度と軽いが、強度、弾性率、耐熱性が余り大きくない。またFe系などの合金は力学的特性には優れるが比重が8近くと重い。一方近年開発されたC, B, SiC, Al₂O₃などのセラミックを中心とした長繊維もしくはウイスカは常温ならびに高温における引張り強度が構造用高張力鋼の3~5倍以上、弾性率が2倍程度もあり、しかも比重がFeの1/2~1/5と軽い。そこでこれらの高性能繊維と金属とを複合化し、軽量で高力学特性の繊維強化型合金とすることが試みられている。この場合繊維と金属の界面における接合性と反応抑制が重要である。実用されているものはスペースシャトルのトラス(B繊維/Al合金, HIP成形), ディーゼルエンジンのピストン溝の耐摩耗環(Al₂O₃繊維/Al合金, 高圧鋳造), ガソリンエンジンのコンロッド(ステンレス繊維/Al合金, 高圧鋳造)などである。繊維強化型合金では、繊維と合金の組合せ、繊維の分布・配向性などにより物理的特性の制御ができるので機能材料としても検討がされている。(塩田)

* “金属基複合材料を知る事典”(アグネ, 1984).

TiNi (チタンニッケル)*

TiNiは固溶範囲を持つほぼ等原子比の金属間化合物である。その存在は古くから知られていたが、実用合金として注目されるようになったのは、1950年代の後半に、アメリカのNaval Researchが、海水に対する耐食性、耐エロージョン性に優れ、且つ非磁性の構造材料を開発すべく系統的な研究を行い、(1)金属間化合物であるにもかかわらず室温で延性があること、(2)Niを過剰に含むものは急冷硬化性があり、硬さは工具鋼に匹敵すること、(3)海水に対する耐食性は実用チタン合金とほぼ同等であること、(4)耐摩耗性が特殊鋼よりも優れていること、(5)非磁性であること、(6)形状記憶効果を示すこと、(7)振動減衰能が特定の温度範囲で著しく大きいこと等を明らかにしたことによる。今日では、形状記憶合金として有名になりすぎたため、(6)以外の特性は忘れられがちであるが、耐食構造材料としても優れた合金である。

TiNiは室温付近でマルテンサイト変態をして、結晶構造が高温相のB2型からマルテンサイト相の単斜晶に変る。その挙動は典型的な熱弾性型であり、これが形状記憶効果の原因となっている。機械的性質もこのマルテンサイト変態の影響をうけ、ヤング率、降伏強さそれに硬さは変態点で極小値を、伸びは極大値をとる。(鈴木)

- *1) W. J. Buehler and F. E. Wang: Ocean Eng. 1, 105 (1968).
- 2) 本間敏夫: 日本金属学会会報 12, 157 (1973).

Magnetic Fluid (磁性流体)*

磁性流体は直径 100 Å 前後の Fe_3O_4 微粒子の表面に界面活性剤分子を密に吸着させ、それを水や炭化水素油などの液体媒質中に高濃度で分散させたものである。界面活性剤分子は粒子間に働く静磁気力やファンデルワールス力の引力に抗する分子スペーサとしての役割りをはたし、同時に粒子と周囲の液体とをつなぐなじみの役割りもはたしている。 $10^3 \sim 10^4 \mu_B$ の磁気モーメントを担っている各粒子は、互いに凝集することなく、安定に分散しており、熱運動により常にその相対的位置を変え、長距離秩序をもたず、液体分子と相似な関係をもっている。その結果、系全体は磁界に強く反応する超常磁性を呈し、かつ粘性の低い流動性を示すようになる。磁性流体はその特異な性質を生かして、回転軸の真空シールに用いられている他、比重差選別、ダンパ、加速度計、アクチュエータ、インクジェットプリンタのインクなどに利用が検討されている。また磁性流体を作業物質としたエンジンも考えられている。一方、 Fe_3O_4 微粒子を用いた磁性流体では飽和磁化の値が 400 ガウス程度が限界であるが、この値を飛躍的に向上させるために、Fe, Co などの強磁性金属微粒子を用いた金属磁性流体の開発も最近なされている。(中谷)

*1) M. I. Shiomis and Yu. L. Raikher: IEEE Trans-Magn. Mag-16, 237 (1980).

2) 中谷 功: “超微粒子実用化技術”(シーエムシー, 1983) p. 135.

DSA, または DSE (Dimensionally Stable Anode (Electrode) 寸法安定性アノード (電極))*

食塩電解用の非消耗性アノードのことである。化学工業の基礎素材となる塩素と水酸化ナトリウムは食塩電解によって製造され、その製法には隔膜法、水銀法、イオン交換膜法がある。かつて水銀法ではアノードとして黒鉛、カソードに水銀が用いられていた。黒鉛はアノードとした場合、酸化消耗が著しく、極間距離が広がるため電解電圧が上昇する欠点を有していた。そこで、イタリアの De Nora はチタニウム基体に $RuO_2 \cdot TiO_2$ 複合酸化物をコーティングした画期的なアノードを開発した。この電極は塩化ルテニウムのアルコール溶液をチタニウム基体に塗布して、500°C 大気下で熱分解することによって容易に製造できる。 RuO_2 は塩素発生過電圧が低く酸化消耗も極めて少ない優れた特性を有し、極間距離を制御して安定な操業が可能になり、今日わが国のソーダ工業に広く用いられている。DSA の開発によって少くとも 10% の電力節約が可能になったとされる。 RuO_2 と TiO_2 はルチル型結晶構造を有し、固溶体化するので基体との密着性にも優れている。白金族の中では耐食性の点で劣った金属ルテニウムを RuO_2 電極として用いることによって、優れた性能を発揮することは興味深いことである。(藤井)

* 高橋正雄: 表面 12, 170 (1973).

Amorphous alloy, Metallic glass (アモルファス合金)*

原子配列に長周期的規則性を持たない合金。長周期的規則性の形成を許さないと固相形成の過程で固体内拡散を許さないということの意味するため、アモルファス合金には結晶質に基づく欠陥がないだけでなく、固体内拡散によって生じる偏析、析出などもない。したがってアモルファス合金は、均一で等方的な単相の固溶体であることが最も重要な特徴であり、多くは過飽和固溶体である。単相の過飽和固溶体が生じるということは、これまで知られていなかった新しい特性を備えた材料を合金化によって作り出すのに適している。このため、異常な高耐食性、優れた電極特性、高い触媒活性と選択性などを備えた合金があり、また、高強度、高硬度で、耐摩耗性が優れているものも見出されている。更に、等方的で均質であることからアモルファス強磁性合金は、透磁率の高い優れた軟磁性を示し、この性質は既に数々の応用の段階に入っている。作製には、所定の組成の溶融合金を超急冷する液体急冷法が最も広く使われ、その他、スパッタ法などで気相からも、また、めっき法で溶液からも作られる。更に、イオン注入、イオンミクシングなどで固体表面をアモルファス化することも行われる。(橋本)

* 増本 健, 鈴木謙爾, 藤森啓安, 橋本功二: “アモルファス金属の基礎”(オーム社, 1982).

Ni₃Al*

融点 (約 1,390°C) まで L1₂ 型超格子構造を有し、Ni 基合金の構成相 (η') として高温強度を支えるのに役かっている金属間化合物である。最近、単体としての利用が注目されている。Al を構成元素とするため、比較的軽量で優れた高温耐酸化性を示し、また超格子中での特異な転位の構造と動特性に起因して温度上昇と共に強度が上昇するといった強度特性を有するため、新種の耐熱材料として期待されるようになった。

ところが、この化合物の多結晶体を構成する粒界は極めて脆弱なため他の多くの金属間化合物やセラミックスと同様ほとんど延性を示すことがなかった。近年、この化合物に微量のボロン(B)を添加することにより常温での延性能が発現することが見出された。延性化の機構として、粒界に偏析したボロン原子が、本来弱い粒界(結合)強度を高めることにより、粒内の変形能が十分に引き起こされるためと考えられている。その後、粒界の結晶構造と化学結合環境に基づく合金設計的手法により、マンガン(Mn)の合金添加さらにはベリリウム(Be)の微量添加によっても同様な効果が見出され、塑性に富む耐熱材料としての利用化への研究が進められている。(高杉)

*1) 山口正治, 馬越佑吉: “金属間化合物”(日刊工業新聞社).

2) 和泉 修: 日本金属学会会報 20, 472 (1981).