

Table 8.6. Classification of ultra-high temperature materials.

Metallics	Intermetallics	: TiAl, T ₃ Al, Ni ₃ Al, NiAl, Nb ₃ Al, MoSi ₂ , etc.
	Refractory alloys	: Alloys of W, Mo, Nb, and Ta
Ceramics	Oxides	: Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , Sialon (Si-Al-O-N), etc.
	Non-oxides	: Si ₃ N ₄ , SiC, etc.
Composites	MMC, CMC, C/C composite Functionally Gradient Material (FGM)	

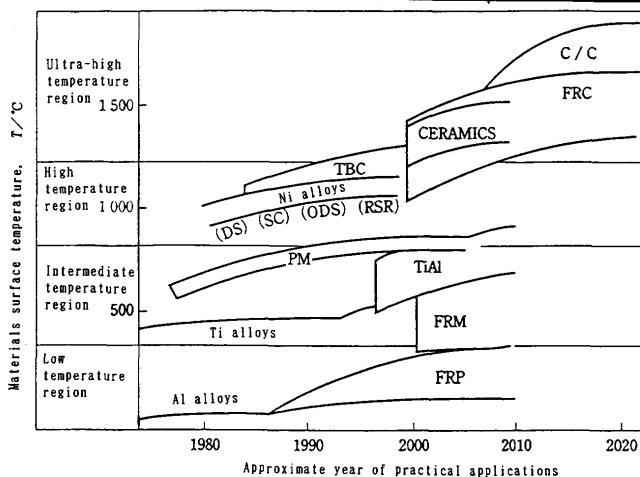


Fig. 8.40. Schematic view of advanced materials for aero-engines. FRP: Fiber reinforced plastics; FRC: Fiber reinforced ceramics; FRM: Fiber reinforced metals; DS: Directionally solidified alloys; TiAl: Titanium aluminides; SC: Single crystal; C/C: Carbon/Carbon composites; ODS: Oxide dispersion strengthened alloys; PM: Powder metallurgy; TBC: Thermal barrier coating; RSR: Rapidly solidified alloys. (IHI Tech. Rev., 34 (1994), No. 3, p. 192)

ものである。

Fig. 8.40 には航空エンジン材料での将来展望を示した。

最も高い温度まで使用できると期待されているのはC/Cである。しかし繰り返し多数回の使用に耐えることが要求されるスペースプレーンのノーズコーンやエンジン部品に実用化するためには、製造方法や耐酸化性の抜本的な改良など、研究課題は山積していると言わざるを得ない。また、C/Cが十分に実用化されればすべて解決というわけではない。C/Cを必要不可欠とする温度領域より低い温度範囲では、C/Cよりもコスト/パフォーマンスの点で勝るといふ材料などに対するニーズがますます大きくなるであろう。「山高ければ裾野は広がる」のたとえのように用途や特性に応じてさまざまなグレードの材料が必要である。「適材適所」の使い方に応えられるような広範囲の材料開発が常に望まれる。

ところで、Fig. 8.40 に見られるように、超合金はセラミックスによる遮熱コーティング(TBC)を施すことによって表面温度 1,200~1,300°C 程度までは可能としても、それ以上の温度では鉄鋼も含めた既存の金属系材料には期待できるものがほとんどない。

一方、金属間化合物(IMC)の研究が盛んであり、なかでもTiAl系の合金は比強度が高いことから 1,000°C 近いところまでは利用できよう。しかし、超合金の一部を置き換えることはあっても、超合金を超える耐用温度の可能性は考えにくい。前記のγ相の主成分であるNi₃AlやNiAlも盛んに研究され、特にNiAlは米国でジェットエンジンの実機に搭載される日も近いと伝えられているが果してどこまで実用化が可能となるか注目される。

高融点金属間化合物としてのNb₃AlやMoSi₂なども精力的に研究されているが、超高温用の構造材料として実用化に漕ぎ付けられるかどうかは今後の進展しだいであろう。

鉄系の金属間化合物としては、Fe₃AlやFeSi₂が研究されている。Fe₃Alは耐酸化性に優れ、安価で製造上にも大きな問題はないとして、ステンレス鋼に代わる耐酸化材料になり得ると期待する意見もあるが、たかだか600°C程度までであろう。またFeSi₂は熱電エネルギー変換材料として応用製品の市販は始まっているが、超高温材料にはなり得ない。

高融点合金は概して密度が大きいため空を飛ぶ機器や回転部品には不利であり、また耐酸化性も劣るものが多い。しかしNb合金は密度がNiよりやや小さく、融点はNiより1,000°Cも高いため開発しだいで有望と考えられる。

セラミックスではSi₃N₄とSiCが最も期待され、特にSi₃N₄は組織制御手法の進歩などで最近の10年間に1,200°Cの曲げ強さが2倍以上に向上し、小形ガスタービンの動翼に利用する国家プロジェクトも進んでいるが、大形の発電用タービンなどへの実用化にはなおかなりの時間が必要であろう。英国ではセラミック強化セラミックス(CMC)を1994年中にもジェットエンジンの回転部分以外の部品にまず採用する模様である。

このような動向から、超高温材料としてはC/Cを頂点として、セラミック系ではSi₃N₄や一部のCMC、また金属系ではAl系とSi系の金属間化合物やNbなどが有力と考えられ、あまり重要でない部品などへの実用化から徐々に進展してゆくものと期待されるが、高温機器の安全性や信頼性などを考慮すればこれらの材料が超合金に大きく取って代わるような事態は予想しにくいように思われる。

また、このような超高温材料の分野では、鉄の役割は残念ながらあまり期待できないように思われるが、鉄の安価で大量に供給できるという特徴から、1,000°C以下の、言うなれば山の中腹以下を受け持つ材料としては用途がますます広がるものと考えられる。

8.4.3 21世紀の表面処理技術はどう変わるか

(1) はじめに

21世紀と言っても遠い話ではない。これから数年間の表面処理技術については、現在すでに顕在化している市場の変化と製造現場での技術課題に基づいておおよその予測が可能であり、「表面処理技術」の章に詳細に述べられている。し

たがって、この項で述べることは21世紀初頭、要素技術としての「表面処理技術」がどのような変化の潮流に洗われ、どちらの方向に進展していくのであろうかという推定である。それゆえ、神のみぞ知るという要素も当然包含される。まず技術の革新を誘発する社会の変化を再認識し、その変化に対応する形で進むであろう「表面処理技術」の動向を考えてみたい。そして次に「表面処理技術」の市場における役割と求められる技術の変革を考察する。そして最後に未来の表面処理技術を支える研究開発の課題に触れたい。

(2) 変化の潮流

昨今の不況は景気の循環ではなく複合不況だと言われている。土地で代表されるストック商品（資産）および需給のアンバランスから生じたフロー商品（消費財）の調整遅れが主因と言われているが、それに加えて消費者の選択が「もの」から「こころ」へと変わってきたことがあると思う。そこに「地球規模の環境変化」や「資源枯渇」への憂慮、そして「継続可能な発展」を支える技術を社会が選択し始めたことが重なっている。

また円高に対応してフロー商品の生産拠点が発展途上国中心に海外シフトし、日本経済がグローバルな政治経済のうねりに直接影響され始めたことは極めて重要である。

以上述べたことを敢えて技術の言葉に翻訳すれば次のようになるだろう。

- ① 地球環境への負荷（資源問題を含む）を低減させる技術が優先的に選択されるようになる。その兆候としてあらゆる商品のライフサイクルについて、その環境負荷性を定量的に評価するLCAが最近ISOに取り込まれた。またエコマテリアル、エコバランスの考え方を商品の機能設計に加える動きが今後いっそう加速されるだろう。
- ② 経済のグローバル化に伴い、コスト低減は生産者のみならず需要家、流通、消費者も含めたトータルコスト低減の方向に進む。また生活様式の変化が商品の機能設計の考え方を変えていく。例えば近年の「クルマ社会」における飲料缶の飛躍的な増加と多様化からもその傾向が分かる。
- ③ このような「環境への負荷低減」、「人間性豊かな社会」に向けた商品造りの動きは将来「表面処理技術」の重要性が増すことを示唆している。

(3) 「表面処理技術」の役割

これまでの表面処理技術は建築、自動車、家電、配管などの応用先にもよるが、一般に①金属構造物、製品を使用環境から守る、②美観を創造する、③潤滑剤としての寄与などが主たる役割であった。しかしこれからリサイクルが進みSnやCuなどの元素が鋼板表面に濃化してくると従来の表面処理技術をそのまま適用することがむずかしくなる。また環境保全の立場から、薄板の防食としては主流であったクロメート処理の代替が必要になる。これは表面処理の考え方を根本的に革新することであり、世界的にインパクトのある技術開

発となろう。しかし環境汚染が発展途上国で進むと鋼材の耐候性そのものが根底から覆ってしまう。

表面層に求められる機能としては上記の項目のほかに光波、電磁波、音波、などの遮断、吸収、あるいは反射機能を載せる検討が進むと思われる。特に輸送、貯蔵、居住などのインフラ整備の観点から、高速道路の遮音板透明化や地下構造物の50年、100年の長寿命化、大都市での鉄骨構造物による防災ベルト建設などが進むにつれ表面処理技術が主役を演じる場合が増える。このほかマルチメディア用インフラ整備、産業機器分野での工作刃物のドライコーティングによる寿命延長、超高真空用材料、また生体適合材料など限りなく広がっていく。

フロー商品は素材のリサイクル性が中心的に問われるが、耐久消費財である自動車はリサイクル性のみならず長寿命化も求められている。建築物で代表されるストック商品は快適性、安全性確保と長寿命化が本命である。

(4) 研究開発の課題

現時点での未解決課題の多くは複数の技術分野に広がっていたり、いくつかの国に関わっていたりする。つまり、一研究者、一企業、一国家のみでは解決できないことが増えてくる。未来の研究開発はいっそう異分野、異文化を結んだネットワーク型のものになっていくだろう。

経済社会における技術の価値は常に相対的であるから環境負荷の低減などの視点から基本条件が変わると伝統的な技術、例えば鋼板スケールの酸洗除去プロセスなどは本能的に変わる可能性がある。最後にこれから期待される研究開発領域についてを二、三私見を述べる。

- ① 材料の属性が見え始めるメソレベルの現象を解析する機器、その反応を測定する機器の開発とメソスコピック材料科学の構築（有機被覆の機能設計、薄膜機能設計など）、
- ② 使用環境の局所条件下でマイクロ反応がマクロ反応に発展する条件の解明（スケール生成や、めっきプロセス、腐食による劣化過程など）と対策確立、
- ③ 計算科学手法による多変量問題のときほぐしと可視化、
- ④ 環境負荷低減や資源有効利用に対応した表面処理技術の見直し（リサイクルによる鋼板表面層の変化、脱クロメート処理など）。

8.4.4 組織と強度の研究・開発の展開

(1) 組織に関する研究

鉄鋼材料の組織に関する研究の歴史は古く、亜共析鋼におけるフェライト・パーライトなどの拡散型変態組織やマルテンサイトと呼ばれる無拡散型変態組織とその焼戻し過程、また、拡散型変態と無拡散型変態の中間的な機構で生成するベイナイトなどに関する研究は極めて多い。しかしながら、炭素鋼マルテンサイトの焼戻し過程で析出する炭化物の構造一