

鋼金型を変更することなくプレス可能となったため、その採用が急速に伸びた。

一方、家電では意匠性も要求性能の一つであり、ステンレス鋼の清潔感を持った質感が好感をもって受け取られデザインマテリアルとしての採用が増加している。この要望に応じてホワイトステンレスとかパール調ステンレスと称されるその微妙な色調を重視したクリアステンレスが開発、実用化されてきた。また、環境問題や健康問題に配慮しそれらの下地処理としてクロメートを使用しない塗装が開発されている。

精密機器へのステンレス鋼の適用も拡大しており、Mnを低減しCrを高めSを安定な硫化物として固定することにより硫化水素発生を抑えた快削性の優れる19Cr系フェライトステンレス鋼がハードディスク部品用として開発されている。

(6) 次なる世代へ

これまでの研究開発で、組織、耐食性、加工性、表面品質などステンレス鋼の性能の大幅な向上が達成され、その適用分野も拡大してきた。さらなる性能向上を目指した研究が国家プロジェクトとしてなされつつある。一つは不純物元素を極限まで低減した超高純度金属によるステンレス鋼の開発であり、従来製造が不可能であった高Cr合金が開発されたり、超高純度ステンレス鋼の特性が一般のステンレス鋼とは全く異なり、高性能であることが報告されている。また、地球上に豊富に存在する窒素を大いに活用するため、従来添加不可能であった量まで添加する技術を開発し、1%以上のNを添加したステンレス鋼の耐食性が極めて優れることが発表されている。

ステンレス鋼は幅広い分野で使用され、限られた紙面ではその特性や材料開発状況を十分に紹介出来なかったが、次々と新しい分野での適用やニーズが発生しており、特性向上研究も継続して行われている。さらなる発展に期待したい。

4.2.6 チタン、チタン合金及び複合材料

(1) チタン、チタン合金

日本でのチタン及びチタン合金の開発の歴史は、第1期：黎明期（1950年頃）からバブル期、第2期：バブル崩壊後から現在まで、第3期：これからの新しい展開、の3つに分けられよう。第1期では日本の高度成長に歩調を合わせて、各産業分野の機器に適合するチタン合金が数多く開発された。第2期では日本経済の後退とも相まって、特にチタン合金の研究は縮退を余儀なくされた。第3期では合金需要の急激な増大を予期させるような新しい市場の動きが出てきそうである。本項ではバブル崩壊後のこの10年のチタン産業の動向、

チタン研究などの動きを振り返り、またこれからの新しい展開について述べてみたい。

(i) 日本のチタン産業の動向

チタン展伸材の出荷量は、年により多少の凸凹はあるが、ここ10年程の間右肩上がりに順調に増加してきた。1992年の出荷量は6,237トンであったが、2002及び2003年の出荷量は、それぞれ、14,481及び13,838トンに増加した。2009年には30,000トンの出荷を予測している。なお2002及び2003年の全世界の出荷量は、それぞれ、59,475及び60,601トンであった。日本の出荷量は全世界の中で約四分の一を占めている。

2003年の7月にハンブルグで開催されたチタン国際会議では日本から77件の発表がなされ、主催国ドイツ（89件）に次ぐ多さの発表件数であった。なお、3位は米国（62件）、4位は中国（51件）、以下英国（44件）、フランス（34件）、ロシア（18件）、韓国（17件）の順であった。

上述のように日本のチタン生産は順調に推移し、また、学術情報の発信も活発に行われており、チタン産業及び研究開発は順風満帆のように見えるが、実は現状では特異な問題点を抱えている。まず、生産は順調に伸びているといっても、競合素材であるステンレス鋼と比較して、生産量は圧倒的に少量である。これは主としてチタンの値段の高さに起因しているものであり、そのため自動車などの大量の使用が期待される産業分野への適用が期待するほど伸びていないからである。このチタンの高コスト体質は、1) 現行の精練プロセスでは電力を多大に消費する、2) 鍛造性、切削性などの加工性能の悪さに起因して部材の製造コストが他の合金と比較して著しく高い、3) 少量の生産のため、スケールメリット効果が見込めない、などの理由が挙げられる。

もう一つの問題は、日本は工業用グレードの純チタン展伸材が中心であるということである。2003年の内需の出荷内訳を見てみると、化学工業：4.9%、電力：4.3%、電解：3.0%、プレート熱交換器：6.6%、建築土木：1.2%、スポーツ・レジャー：1.9%、民生品：5.7%、販売業者：9.1%、航空機：3.5%、自動車：5.5%などである。これらの用途において合金需要は4%に過ぎず、残りは純チタンが用いられている。一方、米国の出荷量は23,600トン（2003年）と日本の倍であり、またその出荷内訳も合金が56%（2000年の場合）である。このように日本は純チタン展伸材が中心であるが、米国は合金展伸材の出荷が過半数を占めるという違いがある。

(ii) チタン研究開発を巡る動き

バブル崩壊後のこの10年の日本経済の低迷に起因して、チタン合金開発も大幅に後退することを余儀なくされた。そのためこの期間はいかにしてチタン合金の需要を増大させる

かという観点から、チタンの低コスト化について多方面から検討がなされた。即ち各製造工程の効率化、粉末冶金法による部材の製造、Al、Feなどの低廉元素のみからなる合金の開発などである。日本鉄鋼協会材料の組織と特性部会チタンフォーラムでも低コスト化を主要な検討課題として採り上げ、「チタンにおける低コスト化材料学の可能性を探る」(平成7年3月～平成9年2月)、「耐環境高機能チタン材料」(平成9年6月～平成11年5月)と題した研究会活動を行ってきた。しかしながら、メーカー側では、既存の製造プロセスは完成の域に達しており効率化の追求による低コスト化は行き着くところまで行ったという認識のようである。残るは革新的な精練技術の出現を待つだけ、という状況にある。

と同時にバブル崩壊後のこの10年は、合金需要は期待できないということで、航空機分野以外での用途拡大を、即ち、純チタン材のより一層の用途拡大を模索した時期でもあった。即ち、建材、スポーツ用品、日用品、装飾品などの分野で新規需要の開拓が積極的に試みられた。この10年間、チタンの研究開発(特に合金開発)に対する意欲が大幅に後退したにもかかわらずチタン生産量は順調に推移したのは、正に純チタン材の生産増加が大きく寄与したからである。

(iii) 日本におけるチタン研究開発の新しい展開

日本のチタン産業が今後も引き続き世界のトップランナーの地位を維持して行くためには、事業規模の拡大が必要不可欠である。また高付加価値チタン合金の研究・開発を継続的に行うなどして、日本が持つ高い合金開発力、技術力を今後も維持し、更には発展させることが重要である。このような状況になるためには、前提として、新たな合金需要の出現が不可欠であるが、ここ数年前より、日本でのチタン合金研究が10年程前のように再度活発化することを予期させるような新たな合金需要の動きが出てきた。具体的には、1) 日本でも航空機開発の計画が複数存在する(新型航空機ほどチタン合金の使用量は増加の傾向)。2) 普通乗用車にチタン部品を搭載する試み(トヨタ、VWなど)。3) 高齢化社会の到来を反映して人工骨などの生体硬組織代替材料や医療・福祉機器へのチタンの適用などの動きである。

このような状況を鑑みて、日本鉄鋼協会「チタン研究開発の新しい可能性」フォーラム(平成11年6月～平成13年5月)では精練・溶解、加工技術、データベース研究、構造用合金、機能用合金、用途開発などの各分野を対象に、現在行われている注目すべき研究、今後に為すべき、あるいは今後の進展が期待される研究開発課題について抽出を試みた。合金開発に限っていうとそれらの課題は次の通りである。

合金開発分野(構造用途)

- (1) 輸送機器用途の高強度、高塑性変形能合金
- (2) 輸送機器エンジン用途の高強度耐熱チタン合金

- (3) 生体用途あるいは自動車スプリング用途の高強度低弾性率チタン合金

- (4) 福祉機器、自動車コネクティングロッド用途などの低コスト組成のチタン合金

合金開発分野(機能用途)

- (1) プラント用途の高温用形状記憶チタン合金
- (2) 生体機能用途の形状記憶チタン合金(Al, Ni, Vフリー型)

上記の新しい構造及び機能用途分野での要求特性を満足する合金は、加工性能に優れた体心立方相(bcc相あるいはB2相)を主体とした体心立方系合金である。体心立方系合金は、従来、室温用高強度合金として多くの研究がなされてきたが、最近の研究活動では、別な組成群の体心立方系合金が注目されている訳である。

すなわち、豊田中研では、従来のチタン合金よりも格段に優れた機械的特性(高塑性変形能、低ヤング率、高強度、超弾性)を示す体心立方系のTi₃(Ta+Nb+V)+(Zr, Hf, O)合金を開発しており(ゴムメタルと命名)、多分野での用途展開が期待されている。また豊橋技術科学大学新家教授らは、生体用の低弾性率高強度チタン合金の開発を精力的に進めており、Ti-29Nb-13Ta-4.6Zrなる組成の合金を提案した。関西大池田教授らは、福祉機器用途の低コスト型組成の合金開発を推進している。またNIMS萩原らは、O相及びB2相を主体とした高靱性高延性軽量耐熱チタン金属間化合物の開発を進めている。この他にも大学を中心に体心立方系の形状記憶・超弾性合金に関する研究が広範囲に行われている。

以上のような状況に鑑みて、日本鉄鋼協会では平成13年6月からはこのような新しいタイプの体心立方系チタン合金に焦点を当ててフォーラム活動を行ってきた。また更に平成16年4月には、このようなフォーラム活動を発展的に引き継ぐ形で「体心立方系チタン合金の新しい展開」研究会が新たに発足した。

(2) 複合材料

複合材料は、21世紀の環境・エネルギー、航空宇宙分野等を支えるキーマテリアルの一つである。複合材料は軽量、高強度さらに従来の単一材料では実現できない特性を有する材料としてその期待度は極めて大きい。

我が国においての金属系複合材料(MMC)の開発は、航空、自動車、スポーツ用品等の分野を対象に活発に進められてきた。繊維強化型のMMCでは、構造材料としての期待は大きいものの低コストプロセス、設計技術、品質保証など多くの課題が残されており、これまで多くの研究がなされてきたにもかかわらず、この10年で実用化に至ったものは見あたらない。しかし粒子強化型のMMCでは、耐磨耗性、耐熱性の付与を意図したものが一部実用化に結びついている。

一方1980年代後半から、エネルギー効率化、環境低負荷、高速輸送・駆動化、軽量化等の観点より、超高温機器部材としてのセラミックス系複合材料(CMC)が注目されるようになった。1993年から始まった先進複合材料利用ガスジェネレータ研究開発プロジェクトなどの研究は、セラミックス材料の欠点である靱性、低熱衝撃性を大幅に改善しCMC部材を高信頼性部材とするための本格的な開発研究である。実用化試験、エンジン組み込み試験などが今後の計画である。CMCの高耐熱性・高強度・高靱性材料化の要求に伴い、強化繊維に対してはより高い比強度・比弾性、優れた耐酸化性が要求されている。さらに細くしなやかであることも必要である。そのためこの10年間は強化繊維自身の研究開発が活発に行われてきた。その結果、1,500Kから1,700K、さらに1,900K以上の温度に耐える耐熱性の炭化珪素系繊維が工業化されつつある。さらに直径が10 μm 以下の極細炭化珪素繊維の開発も行われており、今後の発展が大いに期待されている。

繊維強化プラスチック(FRP)は、平成15年度の総合科学技術会議のナノテクノロジー・材料分野の推進にも挙げられているように、我が国が優位性を持つ材料分野である。その用途は建築土木をはじめ、自動車・車輛、スポーツ・レジャー、医療・福祉、農林・水産業、機械・電子機器産業などのあらゆる産業分野にわたっている。また最近は、より過酷な環境での使用の要請に伴い、高耐熱・高靱性樹脂そのものの開発、それをマトリックスとするFRPの開発、異方性を積極的に利用した最適構造設計技術の開発、損傷許容設計技術や健全性評価技術の開発等の研究が盛んに行われている。2000年のFRP生産量は約60万トンであり、年々増加の一途を示していることから、地球環境保全に伴う廃棄性・リサイクル技術開発も重要な課題となっている。

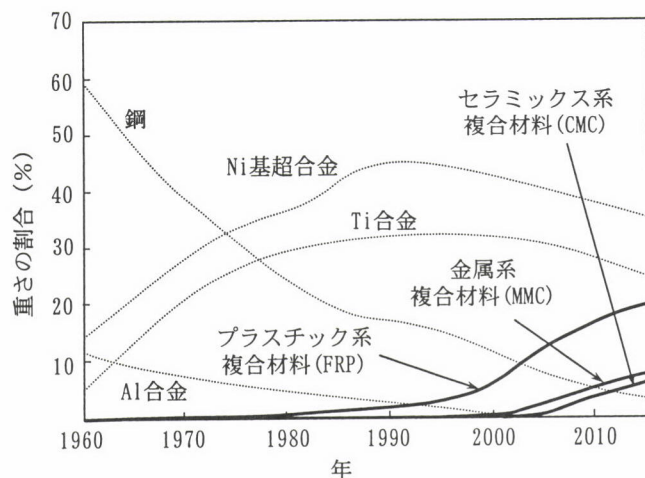


図4.11 航空機エンジン材料の将来予測
(第8回チタン国際会議プロシーディングより引用)

図4.11に航空機エンジン材料を一例に将来予想を示すが、近未来における複合材料の重要性が伺える。すなわち1990年代はNi基超合金が全構成材料の約半数の質量を占めているが、今後は、CMC、FRPもエンジン材料として大いに期待されている。GE社はB777用の超大型エンジンにFRPファンブレードを搭載することを決め、既に実用化に成功した。

以上のようにこの10年で、複合材料の開発・応用研究が活発に進められてきた、解決すべき最大の課題はやはり製造コストの低減であろう。更には最適構造設計手法の確立、信頼性高い設計データ知的基盤整備なども重要である。

4.3 利用、評価技術の進歩、発展

4.3.1 プレス成形・数値シミュレーション

(1) 研究開発の背景と動向

地球温暖化に対する環境規制(例えば京都議定書、欧州CO₂排出規制等)並びに化石化燃料の節約に対して、社会生活に最も密接に関連のある自動車産業では、燃費向上がその重要な役割を担っている。近年自動車業界では、自動車軽量化による燃費向上が大きな課題である。一方、自動車登録台数の増加に伴い交通事故発生率も年間1万件程度に達し、人命保護の観点から衝突安全性を維持、向上しながら自動車車体重量を軽量化する努力が積極的に行われている。鉄鋼材料の観点から自動車軽量化目標を達成するためには、出来るだけ薄い材料を使用することが望まれ、部材の衝突特性の維持、向上には出来るだけ引張強度の高い材料の採用が必要不可欠である。従って、高強度薄鋼板のプレス成形性の向上技術、並びにその数値シミュレーション技術、衝突特性の維持、向上を予測するための数値シミュレーションが、自動車部材開発の面で重要であり従来から積極的に研究されている。本節では、高強度薄鋼板のプレス成形性向上技術と衝突特性予測の精度向上に係わる最近の動向を紹介する。

(2) プレス成形性

プレス成形での主な成形不具合である、破断・しわ・面ひずみに対して、材料面では鋼板材質の高性能化や成形性の低下を補完する高潤滑材料の開発が続けられている。同時に成形技術面では、張力制御成形、対向液圧成形といった新成形技術や、数値シミュレーションを利用した成形不良事前予測技術の開発が進められている。

自動車構造用部材にハイテン材料を採用した際の成形における最大の課題は成形品寸法精度である。この課題に対しては、張力制御成形や成形様式を絞りから曲げに変更しスプリングバックや壁反りを減少させる方法など、成形技術からの