

最も高い温度まで使用できると期待されている軽量耐熱材料は炭素繊維強化炭素複合材料 (Carbon Carbon Composites) である。航空宇宙機器への適用が期待されているが、実用化するためには製造方法や耐酸化性等の課題が依然として残されている。

4.2.5 ステンレス鋼

(1) 需要動向

ステンレス鋼の適用分野は多岐にわたり、その要求性能も分野ごとに異なる。ここでは用途別の動向と最近開発された材料の特徴を述べる。1990年代の10年はバブル崩壊後、経済が低迷していた時期であるが、ステンレス鋼の生産量は図4.9に示すように伸び率は低いものの伸び続けており、熱間圧延鋼材の生産実績は300万トンを超えるまでになっている。

用途別の需要は、1990年頃の統計資料では厨房機器が250千トン前後と最も大きな市場だったが、この10数年で輸送機器が伸び率、量とも大きくステンレス鋼需要の最大の用途となっている。用途別需要の伸びは経済や技術の発展と密接に関係しており、電子機器の進歩や環境問題、消費者意識の変化を反映してステンレス鋼の用途も変遷しつつある。近年では、量は少ないが家電機器用や精密機器で約1.7倍の伸びを示している。

(2) 輸送機器

現在ステンレス用途の20%近くを占め最も大きな市場となった輸送機器分野では環境問題への取り組み、メンテナンスなどの削減を目的としたステンレス鋼の適用拡大が進んだ。

輸送機器の中でも自動車用途が80%以上を占め、排気ガ

ス規制や車体軽量化の動きと併せて、重量のある鋳鋼製エキゾーストマニホールドの軽量化、マフラーなどの腐食環境の厳しい部位での長寿命化などを目的にこの10年で急速にステンレス化が進行し、かつ要求性能に応じたステンレス鋼の開発が積極的になされた。

表4.1に自動車におけるステンレス鋼の開発鋼種を示すが、開発鋼種のJIS化も同時に進行し部位毎に多彩なステンレス鋼が使用されている。例えばエキゾーストマニホールドでは排気ガス的高温化に対応して、高温での熱疲労特性に優れたSUS444系の鋼種が開発され、さらなる高温化には耐酸化性や強度にすぐれたオーステナイト系ステンレス鋼 (SUSXM15J1や23Cr-11Ni-N) を使った2重管エキマニも採用されている。また、コストと性能が両立するSUS429系のステンレス鋼が開発され主流となりつつある。フレキシブルパイプはバルジ加工が施されるため高延性のオーステナイトステンレス鋼が使用され、触媒担体にはセラミックスに代わり高Al系のステンレス箔も採用され、その厚みも20 μmまで薄くできる製造技術が開発されている。

また、近年自動車の燃料給油管においてはメッキ鋼板に代わり耐食性で有利なステンレス鋼の使用が指向されており、SUS436L系の材料が使用されはじめている。燃料給油管ではフェライト系ステンレス鋼としては極めて厳しい拡張性が要求される。この要求に対して素材成分の高純度化と熱間圧延、冷間圧延条件の最適化による素材加工性向上を達成するとともに、溶接管製造技術との組み合わせにより優れた拡張性を達成した材料が開発されている。この技術により一体構造の燃料給油管の製造が可能となっている。

自動車の新しい動きとして、環境問題の高まりから燃料電池車が期待されている。燃料電池のセパレーターには従来カーボンセパレータが使用されてきたが、薄肉化、量産性やコスト問題などを解決するためステンレスセパレータの研究が

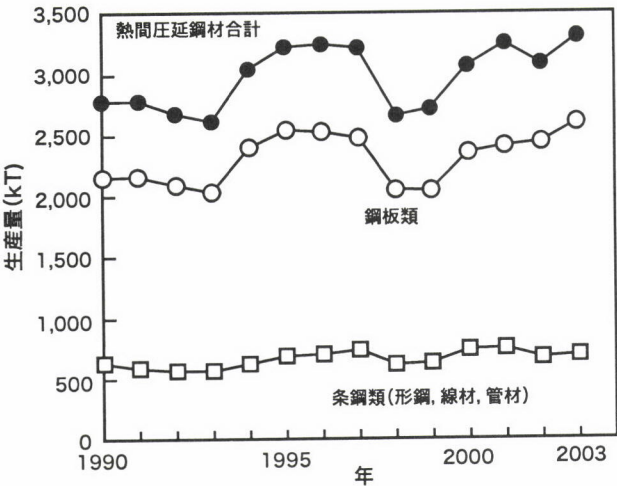


図4.9 ステンレス鋼の生産量推移

表4.1 自動車用ステンレス鋼の適用状況

	1985	1990	1995	2000
エキゾーストマニホールド	鋳鉄			
	SUH409L			
	SUS430J1L			
	SUS444系			
	SUS429系			
フレキシブルパイプ	2重管エキマニ内管			
	SUSXM15J1, 23Cr-11Ni-N			
	SUS304			
触媒担体	セラミック			
	20Cr-5Al			
マフラー	溶融 Al メッキ鋼板			
	SUH409L			
	SUS436L			
燃料給油管	SUS436J1L			
	SUS436L			

精力的に行われている。ステンレスセパレーターではその耐食性を維持している不動態皮膜が電気抵抗を増加させてしまう欠点があった。この問題点を解決するため貴金属コーティングや導電性析出物を利用した材料が検討されている。析出物を利用したステンレスセパレーターは燃料電池試作車に搭載された。今後のステンレス鋼適用の新分野として期待したい。

一方、船舶分野でも軽量化やメンテナンス性の向上が望まれている。ケミカルタンカー用として高強度化したSUS316LNや、耐食性を高めた22Cr-16Ni-3.5Mo-2Cu-0.2Nが開発され、軽量化に貢献するとともに運搬溶液に対する耐食性と耐海水性を両立させることにより各種のメンテナンス作業を大幅に削減できるようになった。

(3) 建築・土木

建築用途の需要はこの10数年で見ると200千トン前後で横ばいの傾向であるが、最近は屋根材としてより過酷な環境へ適用可能な材料の開発や、長期の耐久性を保証した構造部材への適用が進みつつある。従来、屋根材としては内陸部でステンレス鋼が使用されてきたが、22Cr-Mo系が開発され1999年にはJIS化されたため海浜地区の屋根へのステンレス適用も進んだ。さらに耐食性が要求される場合にはより高Cr-Moのフェライトステンレス鋼やスーパーステンレス鋼と呼ばれるオーステナイトステンレス鋼なども屋根材として使用されステンレス鋼の適用拡大が進みつつある。

また、住宅においても長期の使用を前提とした設計が望まれ、構造用部材へのステンレス鋼の適用も進みつつある。2000年に「建築構造用ステンレス鋼材」がJIS規格として制定され、さらに2003年にはいわゆる100年住宅への適用可能なステンレス鋼として11Cr-LowC-LowN鋼が初めて国土交通大臣認定を受けメッキおよび塗装不要の鋼材として注目されている。

(4) 産業機器

食品工業では衛生面からビールタンクなどへ採用されてきたが、食塩を扱う食品工業機器への適用はその腐食問題から進んでいなかった。高耐食性を有する耐孔食指数が40以上のスーパーステンレス鋼(20Cr-18Ni-6Mo-0.2N, 23Cr-25Ni-5.5Mo-0.2N, 25Cr-7Ni-3Mo-2W-0.3Nなど)の開発により、醤油工業などの腐食性の厳しいタンクへの採用が進みつつある。これらのステンレス鋼の開発により、通常使用時の金属イオン溶出の抑制だけでなく殺菌洗浄処理の強化にも対応でき食品の安全性にも寄与している。

原子力分野でも新しいステンレス鋼の開発が行われており、Bの中性子吸収機能を活用した1%B添加ステンレス鋼

が開発されている。Bの多量の添加によりCr₂Bなどのボライドが多量に析出し、硬度が高く製造性が極めて悪くなるが製造方法の工夫により製造可能となった。

(5) 家電・精密機器

本分野においては近年清潔性、意匠性の観点からステンレス鋼が注目され使用量の伸びも大きい。リサイクル性や高速回転ドラムへの対応のため洗濯機にSUS430LX系フェライト系ステンレス鋼が採用された。さらに、CuやAgを添加した抗菌ステンレス鋼も清潔性がアピールされ採用されてきた。

これを契機にステンレス鋼の家電製品への採用が始まり、IHジャー、冷蔵庫外板、炊飯器外板、食器洗浄器などその適用先が広がった。製品形状によってはより高度な成形性や塩化物への耐食性が要求されることが多くなった。この要求に応じて潤滑皮膜を形成したステンレス鋼やCuやSiを添加することにより軟質で深絞り性が良く塩化物に対する耐応力腐食割れ性も向上させた17Cr-7Ni-1.5Si-2Cuや19Cr-13Ni-3Si-1Mo-2Cuなどのステンレス鋼が開発され温水タンク、給湯機や食器洗浄器などに適用されている。

また、オーステナイトステンレス鋼に代わり、Niを含まず価格的に有利なフェライトステンレス鋼の使用が指向されたが、成形性をオーステナイトステンレス鋼並に確保することが従来は困難であった。この要求に応えたのが17Cr-Ti系の高純度系フェライトステンレス鋼である。CやNの低減による高純度化に加え、製造工程や条件の最適化が行われ伸びやr値の向上を達成した。さらなる加工性が要求される場合には図4.10に示すようにBを微量添加することによってその2次加工性が大幅に向上することが明らかになっている。このステンレス鋼は軟質でプレス成形性も良く、従来の普通

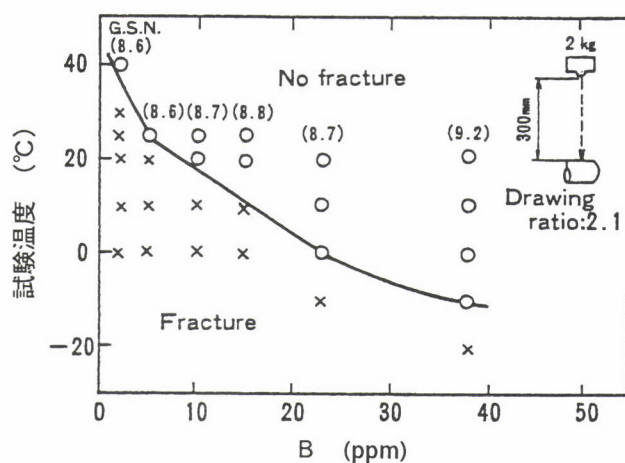


図4.10 17Cr-Ti系高純度フェライトステンレス鋼板のB添加による二次加工性の改善
(鉄と鋼, 84 (1998), 42.)

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