

チタン事業における製造技術開発と用途開拓

Development of Manufacturing Technology and its Application in Titanium Business at Nippon Steel Corporation

村 上 靖^{*(1)} 酒 井 和 夫^{*(1)}
Yasushi MURAKAMI Kazuo SAKAI

抄 録

世界のチタン工業45年の歴史の中で新日本製鐵のチタン事業は1994年6月で参入以来丸10年になる。これを機会にチタンマーケットの動向を概観し、新日本製鐵の需要開拓への取組並びに製造技術確立への取組について概説した。需要開拓については新日本製鐵の基本方針、体制、実行努力、成果について分野毎に紹介し、今後の方向を示した。製造技術については工程別に新日本製鐵の技術の特徴について触れ、品質向上、コストダウンへの取組内容を紹介し、将来展望を述べた。

Abstract

In a 45-year history of the titanium industry in the world, it is full 10 years since Nippon Steel Corporation advanced into the titanium business in June 1994. Taking this opportunity, general trends in the titanium market are summarized and the efforts made by Nippon Steel for the creation of demand for titanium products and the development of manufacturing technology are outlined. Regarding the creation of demand, the paper describes the basic policy, organization, efforts made for titanium application and the results achieved at Nippon Steel, and the future course of the titanium business. Regarding the manufacturing technology, the features of the technologies developed by Nippon Steel are described by process, followed by the efforts being made for quality improvement and cost reduction and future prospects.

1. 緒 言

新日本製鐵が複合経営の一環としてチタン事業に参入したのは1984年であり、以来丸10年が経過しようとしている。この間、市場で使える品質の造込み、新しい需要開拓のための商品開発、利用加工技術開発を続け、今や先行他社に追いつき追い越すところまで成長した。チタン事業に参入するに当たっての基本方針は、小さなパイを取り合うのではなく、新しい商品の開発や利用加工技術開発を通して新たな需要を開拓し、そこへ新日本製鐵材を供給していくことであり、今もその精神に則り事業拡大を図っている。

我が国のチタン展伸材の出荷量は1990年に過去最高の8964tを達成した¹⁾が、冷戦の終焉による軍縮と世界的な景気後退によりチタン需要が減退し始め、加えてソ連の崩壊による余剰スポンジチタン・半製品の自由圏への放出、更には直近の急激な円高と輸出が50%を占める我が国チタン産業にとっては正に受難の時代に突入した。しかしながら、この素晴らしいチタンが伸びないはずがないとの信念のもと、チタニウム協会チタン需要研究会(TSG委員会)では展伸材のマーケットは2001年には少なくとも見積もっても13 000t以上に成長するとの予測を立てており²⁾、需要家が期待している新用途、新商品をタイミングよく開発し、かつ抜本的なコストダウンにより需要家の手の届く価格で提供していくことがチタン製造に携わる我々に課せ

られた最大の課題である。

ここでは新日本製鐵のこの10年間の製造技術確立への取組と新日本製鐵独自の用途開拓への取組について振り返り、今後を展望する。

2. チタンの需要動向

2.1 チタンのマーケットと需要予測

チタンは“軽くて・強くて・錆びない”という三大特徴の他にも表1に示すごとくいろいろと素晴らしい性質を持っている³⁾。最近でこそ一般人達にもメガネフレームやゴルフクラブ等で知られるようになってきたが、まだまだ素材として十分な理解が得られているとはいえない。金属チタンが世界で初めて工業化されたのは、米国デュボン社がスポンジチタンの生産を開始した1948年であり、日本では4年後の1952年に大阪チタニウム製造(株)(現住友シチックス(株))がスポンジチタンの工業生産を開始⁴⁾、住友金属工業(株)が1954年に、(株)神戸製鋼所が1956年にチタン展伸材の工業的規模の生産を開始した^{4,5)}。今からわずか40年程前のことである。米国では航空機(軍需・民間)を主体に比強度の高いチタン合金が主流として育ち、日本では純チタンの持つ耐食性を生かした化学・電力分野で需要を伸ばしてきた。発電プラントのコンデンサーへのチタン管の適用、中近東の海水淡水化装置へのチタン管の大量採用、ソーダー工業におけるチタン電極の開発、プレート式熱交換器へのチタン薄板の適用等、

^{*(1)} チタン部 担当部長

表 1 純チタンの物理的性質

溶融点	1 668°Cで高い (鉄よりやや上)
比重	4.5で軽い(鉄の約60%, アルミニウムの約1.7倍)
熱膨張係数	$8.4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ で小さい (18-8ステンレス鋼の約半分, アルミニウムの1/3)
熱伝導率	$0.041\text{cal}/\text{cm}^2/\text{sec}/^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ で小さい(18-8ステンレス鋼とほぼ同じ)
電気抵抗	$55\Omega\text{-cm}$ で大きい(18-8ステンレス鋼以外の純金属に比べて大きい)
透磁率	1.0001で非磁性体である
結晶構造	変態点 (885°C) 以下では稠密六方格子, 以上では体心立方格子である
縦弾性係数	$10\ 850\text{kg}/\text{cm}^2$ で小さい(鉄の約半分, アルミニウムの約1.5倍)

これらの分野でチタンの用途開拓を進められてきた先達に心から敬意を表すものである。

図1は日本国内主要金属材料圧延品とチタンの生産・出荷実績推移を対数目盛りで示したものである¹⁾。ステンレス鋼やアルミニウムは普通鋼と同様の勾配で伸びているが、チタンの伸びはかなり緩やかである。これだけ良い性能を持っているチタンの伸びが低いのは、非常に高価であることから特殊分野でのみ採用され、一般産業分野や民生分野への展開が遅れていることも原因の一つである。チタンは上述の良い性能を持っている反面、曲げ難い、削り難い、焼き付きやすい、溶接が難しい等一般の加工業者からは敬遠される面も持っている。マーケットを拡げるためには、手の届く価格に抑えることに加え使いやすくなるための利用加工技術の開発も重要である。そしてチタンの性能を分かりやすく解説し、使い方によっては従来材よりも安価であることをPRしていくことが肝要である。表2及び図2はチタン展伸材の中長期需要見通しを示したものであり²⁾、図3は純チタン国内出荷材の用途別需要の推移を示したものである。化学・電力・造水分野で主力を伸ばしてきたが、1988年頃から新しく土木・建材分野(図中黒塗り部分-新規分野)で採用され始め、メンテナンスフリー(3Kの低減)、高級化、地球環境保護という時流に乗ってその後急速な増加傾向を示している。TSG委員会の需要予測の中で大きく伸びると予想しているのがこの土木・建材分野であり、2001年の需要予測は1 500tとチタンのマーケットの大きな柱になる

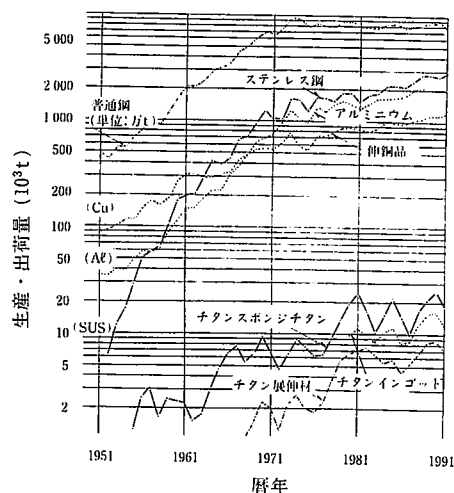


図 1 日本国内主要金属材料圧延品とチタンの生産・出荷実績推移

ことを想定している。また、もう一つの旗頭が自動車分野であり、2001年には少なく見積もっても300t、大幅なコストダウンが達成されれば6 000t という数字も出されている。昨年9月米国では政府と自動車メーカーが共同で10年後をめどに現状の燃費効率を3倍に改善すると発表した³⁾。地球環境保全の観点から自動車軽量化のニーズは高まる一方であり、チタン大量採用の可能性は大きい。これまではレーシングカーに限定使用されていたチタンが1989年発売の高級限定車三菱ギャラン GTX のスプリングリテーナーに初めて採用され⁴⁾、翌年ホンダ NSX のコンロッドに採用された⁵⁾。自動車用途向けチタ

表 2 チタン展伸材の中長期需要見通し (単位: t/年)

区 分	暦 年	実 績			1992年 予 想	2001年 予 測	備考
		1989年	1990年	1991年			
出 荷 量	米国(*1)	24 997	23 924	15 600	14 000		
	EC(*2)	5 000	5 000	4 500	4 000		
	日 本	8 469	8 964	7 317	7 000	13 000	
自由世界合計		38 466	37 888	27 417	25 000		
国 内 需 要 内 訳	化学工業	1 822	1 472	1 389	1 400	2 000	
	電力造水	642	1 372	959	680	1 500	
	航 空 機	232	266	237	250	500	
	販売業者	529	455	536	550	700	
	建築土木	78	76	141	200	1 500	(*3)
	自 動 車	14	39	90	100	300	(*4)
	海 洋・ エネルギー	—	—	—	—	200	
	民 生 品 そ の 他	149 348	173 318	223 316	250 470	600 700	
内 需 計		3 814	4 131	3 891	3 800	8 000	(*5)
輸 出		4 655	4 833	3 426	3 200	5 000	
合 計		8 469	8 964	7 317	7 000	13 000	(*6)

備考 * 1 米国の1989, 1991年実績はTDA 資料による, 1992年の数字は事務局推定

* 2 ECの数字は事務局推定

* 3 ~ * 6 チタンの大幅なコストダウンが図られた場合, 建築土木で3 000 t/年, 自動車で6 000 t/年へと, それぞれ需要の拡大が見込まれるという意見も出された。その場合, 内需計は15 000 tに, 合計は20 200 tとなる。

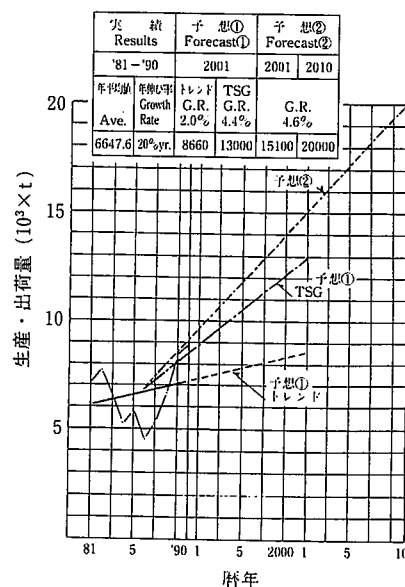


図 2 チタン展伸材の中長期需要見通し

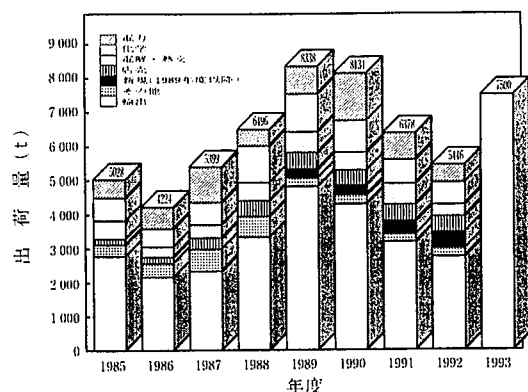


図3 純チタン全国用途別出荷推移

ンの出荷実績も1989年の14tから1991年の90tへと順調に伸びてきた。今後の展望としては、エンジン運動部品のような構造部材の軽量化の手段として、更にはドアミラーの振動板（既にトヨタの高級車にオプション採用されている）や圧力センサー等の機能部材として採用される可能性が高い⁹⁾。アルミニウムの使用量も年々増えており、軽金属協会第4回自動車部品のアルミニウム化調査報告によると、1990年に日本で発売された20車種のアルミニウムの使用量は1台当たり平均100kgを超えている¹⁰⁾。その1%即ち1台当たり1kgのチタンが採用された場合を想定しても年間1万tのチタンが使われ、現状と同規模のマーケットが新たに出現することになる。因みにホンダNSXに採用されたチタンコンロッドは1本470gで6気筒全部で2.82kgであり⁸⁾、チタンの現状のマーケットはそれほど小さい。チタンの性能が良いのはレーシングカーで実証済みであり、既に高級限定車にも採用され始めていることから、価格さえ下れば大幅に採用されるのは自明である。自動車用チタン合金の低コスト製造技術の開発は、その利用加工技術の開発（耐磨耗性付与等）と合わせチタン用途開拓のための最大の課題である。

2.2 チタンの価格とコスト

図4はスポンジチタンと展伸材の輸出価格(FOB)の推移を示したものである¹¹⁾。1981年頃kg当たり5,000円(t当たり500万円)を超えるレベルまで急騰したが、余りに急激な価格上昇のためチタン離れが起き1983年以降の不況突入と同時に出荷量が落ち込む(図1)引き金となった。図中のチタン展伸材の価格は全品種の平均価格で年により品種構成が大きく変動し、更には為替変動の影響が含まれているため直接比較するのは無理があるが傾向は読み取れる。国内価格にはこのような統計が無く議論しにくい3mm厚の板が1970年頃t当たり300万円¹²⁾と言われていた。景気により多少上下するが国内では今でも大きく変わらないものと思われる。20年間の物価上昇を考えると、相当なコストダウンがなされてきたものと思われるが、実

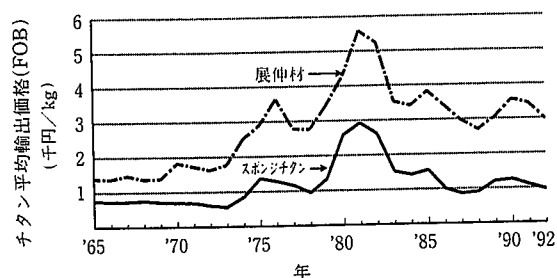


図4 価格の足取り

態は大部分のスポンジメーカー・展伸材メーカーが赤字か良くてとんとんといったところである。最近の数値としては、0.3mm厚の薄板でt当たり平均価格は300万円¹³⁾である。チタンの価格は単純にはステンレス鋼の10倍であるが、比重が6割であること、腐食食を除いてサイズダウンできること、長寿命でメンテナンスフリーであること等、用途毎にサイクルコストの観点で評価すればむしろ割安である。例えば、これまでの最高級金属屋根材である弗素樹脂コーティング・ステンレス鋼屋根材では加工費込みでm²当たり15,500円に対し、チタンは35,000円で高々2倍強である。メンテナンス費用を含めると25年以上使用される場合にはチタンの方が安くなる³⁾。このようなことを需要家の方々には十分ご理解頂く必要があるが、それでも一般的には相当に高価と感じるし、不況になれば見送ろうということになりがちである。

チタンの製造コストはスポンジでt当たり概略100万円（電力・鉍石等40万円、製錬費60万円）、0.3mm厚への加工費200万円（インゴットの溶解費を含む）、溶接管への造管費100万円である¹³⁾。我々展伸材メーカーにとっては、板を造る場合40~45%が素材費であり素材をいかに安く調達するかが一つのポイントである。又、素材費が高いために、展伸工程においては歩留向上がコスト削減に効果的である。

チタンは一般的には多品種小ロット生産であり、且つ新日本製鐵においては鉄の設備を共用しているためインゴット溶解から製品製造まで約6か月かかる。そのため大部分が見込み生産であり幅歩留が悪く、余材が発生し、更には複雑な工程を経ることによる疵の多発等により対インゴット注文歩留は平均すれば70%以下とかなり低いのが現状である。チタニウム協会の出荷統計においても展伸材とインゴットの出荷量比(歩留)は平均65%である。複雑な工程を見直して効率のよい生産工程を構築するとともに、各工程における歩留向上を図ることが当面の最大の課題である。

3. 新日本製鐵の需要開拓への取組

3.1 純チタン

新日本製鐵のチタン事業は基本的には鉄鋼設備の有効活用として開始した。純チタンの製造から手掛け、現在は厚中板・熱間圧延(以下、熱延と記す)薄板・冷間圧延(以下、冷延と記す)薄板・溶接管・棒・線材・熱間押し出し品とほぼ全品種についてプロパー生産している。需要開拓に当たって特筆すべき点は営業の第一線にエンジニアを配したことである。チタンの技術説明を深めるとともに、需要家の質問にその場で答え、場合によっては研究部門や製造部門へ課題を投げ掛け、価格、納期もその場で決める速戦即決主義をとったことである。社内外の各部門からも認められた営業体制である。

需要開拓に当たっての第一のターゲットは世界的に需要が伸びることが確実視されている発電プラントの復水器用チタン溶接管への参入であった。復水器は海水漏洩対策(プラントの稼働率向上)として従来のAl黄銅管からチタン管に変更される機運にあり、全チタン管復水器が日本で初めて稼働したのが新日本製鐵参入の4年前、1980年である¹⁴⁾。光製鐵所にチタン専用TIG溶接管ラインを新設し、化学用熱交換器チューブの製造から始めた。新日本製鐵の各製鉄所が関係している共同火力向け復水管のリチューピング用に造管して問題点の摘出を行い製造技術を確認した。新日本製鐵名古屋製鐵所の自家発電設備のオールチタン復水器で実績を積み、各電力会社へのPRで新日本製鐵の実力が次第に評価され、マレーシア/ポートケラ

ンII期・3～4号火力発電所復水器用に初めて大量採用された。その製造に当たっては全社挙げてプロジェクト・チームを組み万全の体制で造り上げたが、国内火力発電所更には最終目標であった原子力発電プラントにも採用されるようになり、現在までに火力発電39基、原子力発電5基に新日本製鐵のチタン溶接管が採用されている。輸出の処女地であった中国、東欧(チェコスロバキア)への大型商談の成功と継続拡大は、製品の優秀さと技術営業の具体的成果である。チタン管板についても八幡製鐵所の厚板設備で製造体制を確立した。チタン溶接管とセットで納入することが多い。

第二のターゲットは高加工性を要求されるチタン薄板分野であり、鉄鋼で培った技術を駆使してプレス成形性の良い薄板の製造技術を確立した。プレート型熱交換器用素材として高い評価を受けている。一方第29回(1992年)の東京モーターショーでは日産自動車の未来の車 TRI-X のアウターパネルの一部(フェンダー、ドア等の下部)に採用され展示された¹⁵⁾。厳選製造された純チタン薄板の深絞り成形性はむしろ鉄鋼の深絞り鋼板より優れている面もある¹⁶⁾。

第三のターゲットは土木・建築分野への進出である。チタンが屋根材として初めて採用されたのは1973年大分県の早吸日女神社である¹⁷⁾が、新日本製鐵が参入した当時は金属屋根が伸びている最中であり高級カラー鉄板からステンレス鋼製屋根へと高級化が進んでいるところであった。ウォーターフロントや温泉地ではステンレス鋼でさえ錆びるトラブルを経験し、メンテナンスフリーの材料としてチタンが注目されはじめた時であり、沖縄馬天小学校の体育館屋根に採用されたのを皮切りに、世界真光教団本殿チタン屋根・竜骨・破風板への参画等実績を積み重ね、昨年オープンした福岡ダイエードームの開閉式屋根への採用と新しいマーケットが広がる中でチタンの出荷を伸ばしてきた。昨今では、施主、設計者、施工者からチタンの指定が数多く出るまでに成長した。又、文化財保存の観点から佛数奇屋研究所に協力してチタンを推奨材料とすべく諸データを取りまとめ中である。最近の酸性雨の影響で銅屋根はかつてのような綺麗な緑青が発生せず、黒色化してついには孔があくという問題が起こっている。銅に代わってチタンが文化財に大量に採用される日も遠くないものと期待している。土木分野においては、新日本製鐵が独自に開発した低コストチタンクラッド鋼板が東京湾横断道路の橋脚に橋梁防食法として世界で初めて採用された^{18,19)}。耐食性の評価から防食システムの確立、橋脚への接合方法の確立までプロジェクトチームを組んだ取組の成果が認められたものである。負の遺産を残さない社会資本の充実という観点からこれからの海洋環境での土木構造物への適用拡大が期待される。

その他、化学分野、民生分野等においても着実に需要開拓を進めてきた。純チタンのあらゆる分野で新日本製鐵材が評価され採用されるようになってきている。

3.2 チタン合金

次いで世界的に需要の多い航空機分野にも進出すべく、1986年にチタン合金について米国 TIMET 社から製造技術を導入し、厚中板を主体に製造技術を確立した。今では国内外主要航空機メーカーからその品質の良さを認められている。並行してチタン合金の鍛造及び棒・線材の製造技術も独自に開発してきたが、その技術を海洋分野に生かしている。深海10 000mを目指す無人探査機の圧力容器に新日本製鐵製チタン合金(6Al-4V)鍛造材が採用された²⁰⁾。又、東京大学海洋研究所の依頼で鈴木金属工業(株)、古河電工(株)と組んで海洋ケーブルの開発を進めてきたが、1992年12月白鳳丸に搭載され世界

最深のマリアナ海溝で10 000mを超える深海から貴重なデータを取り出すことに成功した²¹⁾。

国内航空機産業における需要は表2からも分かるように2001年における予測はわずか500tであり、B777のような共同開発の中でチタン材料の日本調達が大幅に増えないかぎりこの分野での需要拡大は期待出来ない。新日本製鐵としては最も厳しい品質を要求されるこの分野で製造技術を認められたことをベースに低コスト化を図り、自動車等の新しいマーケットを開拓すべく努力している。

自動車分野のマーケットは価格さえ下がれば大きく広がるとの考えから、製造コスト削減と利用技術開発に的を絞った研究開発に取り組んでいる。主としてチタン合金の棒・線材が対象であるが、開発途上で多くの知見が得られている。コスト削減の課題の一つは素材をいかに安く調達するかである。新日本製鐵は TIMET 社のチタン合金に関する日本における総代理店であり、TIMET 社の開発した安価な素材を活用することも可能である。又、低コストの展伸・精整技術の開発も課題の一つである。低コストで工業化の容易な耐磨耗性付与技術については開発のめどを得ており、実機での長期確認テストの段階に到達している。更に、高能率圧延技術、長寿命 SF 技術、寸法精度・真直度向上技術の改善や開発についても一歩一歩着実に前進している。

3.3 粉末冶金

又、粉末冶金技術についてもその将来性に着目し、1987年米国 DYNAMET TECHNOLOGY INC.から素粉末混合法の技術を導入、新たなマーケットを創出すべく新日本製鐵での独自開発を進めてきた。CHIP 法(CIP 成形+HIP 処理)については内質欠陥、表面欠陥のないニアネットシェイプの製造技術を確立しており、一部素形材について商品化²²⁾するところまでできている。更に、低コスト製造法として HIP 省略技術に挑戦しており強度、耐力に加え疲労強度においても鍛造材と大差のない製造技術を確立中である^{23,24)}。ニアネットシェイプ化により二次加工コストの大幅な低減が期待できるだけでなく溶解法では調製不可能な複合材を成形できる等、粉末冶金の特徴を最大限に活かし展伸材の弱点を補完した総合的なチタン事業の拡大を図るべく努力している。

3.4 金属間化合物

Ti-Al 金属間化合物については1989年に発足した我が国の次世代国家プロジェクトの一環として状態図・合金設計に関する研究を分担している²⁵⁾。まだ研究室レベルであるが新日本製鐵独自の基礎研究も終了しており、マーケットの動向に注目しているところである。

4. 新日本製鐵のチタン製造技術開発への取組

表3に新日本製鐵における展伸材製造品種と製造箇所を示す。新日本製鐵では原則としてインゴットを東邦チタニウム(株)から購入し、純チタンのほぼ全品種の生産を行っている。鉄鋼設備の有効活用としてスタートしたことから、4製鉄所(スタート時点では5製鉄所)で分散製造しており鉄鋼の一貫製造体制に比べ極めて非効率である。しかしながら、このような非効率な製造工程の中でそれぞれが努力し、新日本製鐵独自の製造技術を確立している。以下に主要工程の特徴を紹介し、今後の技術課題を概観する。

4.1 インゴット

新日本製鐵向けインゴット製造に関しては東邦チタニウム(株)と緊密な関係を保っている。定期的な技術連絡会を開催し、各種不純物や表面疵等受入れ条件の詳細な取決めを行ってきた。コストダウン

表 3 新日本製鐵における製造品種と製造箇所

	分塊圧延 (鍛造)	熱延	冷延	造管
厚中板	八幡 (日本鉄鍛鋼)	八幡	—	—
薄板	八幡 (日本鉄鍛鋼)	広畑	光	—
溶接管	八幡 (日本鉄鍛鋼)	—	—	光・関連先
棒・線	君津	光	関連先	—
熱押	君津	光	光	—

に関しても協力体制をとり、トータルでコストダウンが図れる方法を探究しており研究部門の交流も行っている。このような中で、発想の転換により本来は不純物元素である Fe, N, O を有効に組み合わせた新合金 TIX²⁶⁾を開発してきた。現在は更に改良を加えた新シリーズの開発に取り組んでいるところである。

4.2 スラブの圧延・精整

厚板及び薄板用のスラブは八幡の分塊ミルで圧延している。インゴットは消耗電極式アーク溶解法 (VAR) で作られており円筒型である。当初は日本鉄鍛鋼(株)で委託鍛造していたが、コストダウンの観点から分塊圧延に切り換えてきた。インゴットの最大径は1 250mmφであり、それ以上の幅については厚板ミルでの幅出し圧延法を開発中である。円筒型インゴットの分塊圧延は、鉄鋼の角型インゴットに比べ作業性が悪く歩留も低い。歩留向上の諸対策を講じてきているが、更なる改善が今後の課題である。又、各工程の歩留向上を狙ってインゴットの大型化を推進中であるが、チタンのように多品種小ロット注文の場合には余材が発生し却ってマイナスとなる。成分集約、インゴット大型化による素材統一と製品造り分け技術の開発が今後の課題であり、それを考慮した最適製造工程、最適スラブサイズの検討を進めている。

分塊圧延時に発生する酸化硬化層は次工程の熱延で表面疵の原因となる。その対策としてスラブ精整に砥石研削法を採用しているが、湿式研削法を開発した²⁷⁾。表面性状改善・砥石寿命延長・能率向上・粉塵対策に多大の効果を発揮している。しかしながら熱延疵については今なお改善の余地があり、コストダウンも折り込んだ分塊圧延条件の見直しやスラブ精整法の再検討に取り組んでいる。

かつてはチタンの電子ビーム (EB) 溶解は得策でない²⁸⁾と言われていたが、最近米国においてリターンスクラップの不純物除去に効果のある方式として見直され、航空機の機体あるいはエンジン部品等の品質の厳しい素材の溶解に、EB 溶解又はプラズマ溶解が二次溶解として指定されるようになってきた²⁹⁻³¹⁾。米国では両方式ともチタン溶解用に実用化されているが、日本では大同特殊鋼(株)がプラズマ溶解炉を実用化³²⁾しているだけである。新日本製鐵では100%のチタンスクラップを EB 溶解したものを圧延に供し種々の圧延特性を評価した。インゴットは角型で均熱炉や分塊圧延での取扱も容易であり歩留も向上する。適当な圧下比と焼鈍条件を選定すれば分塊圧延を省略して直接厚板や熱延薄板の製造も可能である。展伸工程のコストダウンには有力であり、溶解工程を含めた一貫製造コストを評価中である。

4.3 厚板の圧延・精整

八幡製鐵所のステンレス鋼用厚板圧延機で圧延しているが、最大板幅4 500mm と日本では NKK (株) と並ぶ最大幅を誇っている。しかしながら、形状矯正能力が小さいため形状向上対策が課題であった。チタンはヤング率が鉄の約半分であり、ローラー矯正には限界がある。プレス矯正や、炉内で重しを乗せたクリープ矯正等、各社形状

矯正に苦勞しているところである。1993年4月国内他社に先駆けて Vacuum Creep Flatten (VCF) を導入した。現在順調に稼働しているがその形状矯正能力は素晴らしく、1mm/m 以下の急峻度を保証できるレベルである。熱処理設備として国内航空機メーカー三菱重工業(株)及び川崎重工業(株)の承認も取得した。純チタン、合金チタンを問わず新日本製鐵の厚板製品の形状の良さは国内随一と自負しているが、これにより最大板幅における最小板厚も従来の8mm から更に薄手化が可能になってきている。4.0mm 厚の場合従来の最大板幅は2.0m であったが、今後は相当広いところまで可能になるであろう。従来一般的に行われている寸法精度要求を満たすための切削加工は省略あるいは削減される可能性が高く、ローラー矯正やプレス矯正等による内部歪みがないので溶接歪みが抑制される等需要家にとっても大きなメリットが得るものと考えている。

VCF の導入と同時に広幅研磨機を設置し能率向上と表面品位の向上を図っているが、これは VCF で形状が改善されたことにより可能となったものである。

4.4 薄板熱延

薄板の熱延は広畑製鐵所の新鋭ホットストリップミルを用いている³³⁾。参入当時は室蘭製鐵所でも圧延していたが1991年室蘭製鐵所の熱延休止に伴い広畑製鐵所に集約した。仕上げミルは全スタンドベアクロス方式であり形状制御性が極めて良好である。熱延工程で発生する疵の種類は多く、発生原因を特定し的確な対策を実施することは難しい。デスケーリングは光製鐵所の焼鈍酸洗ライン (HAP) で行っているが、このデスケーリングでも除去できない熱延疵はコイルグライNDERラインで全面研磨除去してきた。これは相当なコストアップ要因であり、この作業の省略が直近の重要課題であった。まずは熱延疵の撲滅であり、そのために研究陣をも巻き込んだワーキンググループを結成し原因究明と対応策の確立に取り組んだ。圧延板表面の詳細分析と圧延作業の徹底した観察により個々の疵の発生原因を突き止めて着実に対応策を講じたことと、HAP ラインでの処理条件を見直し最適化したことと合わせ、取組前はほぼ全量研磨除去していたものが、現在はほとんどのものを次工程の冷延に直送できるまでになっている。今後はこの直送率を100%にまで上げることが分塊・熱延工程での課題である。

4.5 薄板冷延

チタン板の冷延はステンレス鋼を圧延している光製鐵所の20段ゼンジミルを使っている。熱延時の酸化硬化層あるいは疵取りのためのコイルグライNDERによる加工硬化層が冷延時の疵発生に大きな影響を与えており、酸洗ラインでこれらの硬化層を確実に除去することが重要である。焼鈍・ショットブラスト・硝酸酸洗の構成である HAP ラインで酸洗しているが、それぞれの作業条件を徹底検討し現在では非常に美麗な表面肌の板を冷延ミルに供給している。チタンはリムド鋼に比べ冷間加工性がかなり悪い。拘束変形抵抗はステンレス鋼とほぼ同じある³⁴⁾が、圧延ロールと焼き付き易く圧延時の発生熱を低く抑えることが肝要である。圧延荷重低減の目的で50~80mmφの小径ワークロールのゼンジミルを用い、低速でかつ1パス当たりの圧下率を低く抑えているが生産性がかなり低い。将来生産量が飛躍的に伸びる場合を想定して能率のよい大径ロールのタンデムミルによる圧延を検討しているが、焼付きやオイルピット等の表面欠陥の改善、通板性の改善、オフゲージの削減等多くの解決すべき課題がある。

焼鈍はバッチ式真空焼鈍炉によっているが、形状要求が厳しい材

料には6Hi-SPMによる調質圧延, テンションレベラーによる形状矯正を行っている。建材向けや電極用途には表面性状として酸洗仕上げ肌を要求されるものもあり, コスト削減も含め最適プロセスを検討中である。

4.6 溶接管の製造

2基のTIGラインを新設し最高級品質の溶接管を製造している。発電プラント向け溶接管の品質要求は厳しく, その品質造込みのため溶接速度も0.5mmt×25mmφの標準サイズで3.5m/minと低く抑えてきた。そのため新日本製鐵の造管コストはかなり高いものになっており, その削減が直近の最重要課題であった。大幅コストダウンを目的に溶接速度のアップに挑戦し, ストリップエッジのかえりの極小化, 洗浄法の改善, 溶接条件の見直し, 成形ロール材質の改善等により, 最大8m/minまで増速可能となった。精整工程においても空圧試験設備の増強によりネックを解消し, 現在は平均速度6m/minで処理している。この生産性の向上により月間処理能力は倍増し造管コストは業界レベルに到達するところまでできている。発電プラント向けはともかく, 一般管については過剰品質によるコストアップを抑え, 用途に見合った品質レベルの製品を適正な価格で供給することが理想であり, そのための需要家との話し合いも必要と考えている。更なるコスト削減に努力したい。

4.7 棒・線材圧延

棒・線材用のピレットは熱間押出用も含めて君津製鐵所の分塊ミルで圧延し, 光製鐵所へ送っている。光製鐵所の線材ミルは大量生産用高速ミルで最終圧延線速は90m/s(5.5mmφ)である。このような高速ミルで小ロットのチタンを圧延するのはかなり困難で, まとめ圧延等で対応している。チタンの棒圧延用の改造等を実行してきたが今後も種々の対策が必要である。例えばIH加熱のチタン合金への適用テスト結果, 短時間雰囲気加熱が酸化硬化層を抑制し圧延疵の減少に大いに役立つことが立証された。更に, 寸法精度の向上, SF技術の確立(工具の寿命延長対策等), 細径直棒の矯正技術等低コスト化のための対策に取り組んでいる。新日本製鐵の線材出荷量はわずかであり, 今後チタンの新規マーケット開拓にはこの分野を無視するわけにはいかない。棒・線材の低コスト製造技術の確立は今後の最重要課題である。

5. 結 言

本特集号では, 新日本製鐵がチタン事業に参入以来推進してきた代表的な用途開拓, 製造技術開発, 研究開発について特集した。Ti-Al関連を含めこの10年間で発表した論文は総数286件(内訳は表4参照), 出願特許総数227件(1992年までの公開件数), 保有特許28件と相当な件数に及んでいる。

これまで品質の造込み・新用途開発に最重点をおいて進めてきた結果, 業界でも認められ出荷量についてもそれ相当の実績を上げてきた。新日本製鐵の複合経営の一端を担い, その付託に応えるべく現在はコストダウンに最重点を置き, 収益性のある体質へ変換すべく努力中である。将来の新しいマーケット開拓のためにも大幅なコストダウンを図り一般の需要家に手の届く価格で提供していくことが, 現在最も要求されていることである。

新日本製鐵チタン事業が短期間にここまで成長できたのは一重にユーザーの方々をはじめ関係各位の並々なぬご指導とご鞭撻の賜

表 4 新日本製鐵の論文発表件数

	プロセス	メタラジ	表面・界面	二次加工	商品開発	計
純チタン関連	8	23	24	4	4	63
チタン合金関係	10	117	7	9	7	150
チタンクラッド関連	10		20			29
粉末冶金関連	1	6			2	9
Ti-Al 関連	7	27				34
計	36	173	51	13	13	286

物である。又, チタニウム協会の中では同業各社との開発会議等での共同ワーク, 技術委員会での技術交流等の中でいろいろと勉強させていただいた。日本鉄鋼協会・金属学会等の学協会では大学の先生方や公的研究所, 他社研究部門の方々との積極的な研究討論を通して技術レベルの高揚を図ることができた。

我が国チタン産業の発展のためには, 同業各社が協力し切磋琢磨して技術レベルの高揚を図ることが極めて重要である。積極的な技術交流を進め, 手を携えてチタン産業の発展に貢献したいと考えている。今後とも一層のご指導ご鞭撻を賜りたい。

参 照 文 献

- 1) チタン21世紀へ(40周年記念誌), 資料編, チタニウム協会, (1992) 310
- 2) TSG委員会: チタン21世紀へ(40周年記念誌). チタニウム協会, (1992) 296
- 3) チタンの世界. 5版, 東京, チタニウム協会, p.22
- 4) 成富辰雄 ほか: チタン21世紀へ(40周年記念誌). チタニウム協会, (1992) 32
- 5) 住友金属工業(株)東京技術部: チタニウム・ジルコニウム. 27(4), 23 (1979)
- 6) Wald, M. L.: New York Times, 9.29.1993, "Washington Joins Big 3 Auto Venture"
- 7) 虫明守行: チタニウム・ジルコニウム. 38(2), 123 (1990)
- 8) 松原敏彦 ほか: HONDA R&D Technical Review. 3, 12 (1991)
- 9) 水野邦明 ほか: チタン21世紀へ(40周年記念誌). チタニウム協会, (1992)210
- 10) 第4回自動車部品のアミニウム化調査報告. 軽金属協会, (1991)
- 11) 井関順吉 ほか: 工業レアメタル. 106, 57 (1993)
- 12) 木村啓造 ほか: 神戸製鋼技報. 21(2), 2 (1971)
- 13) 西村孝 ほか: レアメタル・ニュース. 1702, 2 (1993)
- 14) 慶良雄: チタン21世紀へ(40周年記念誌). チタニウム協会, (1992) 42
- 15) 今田憲行: チタニウム・ジルコニウム. 40(1), 32 (1992)
- 16) 森口康夫 ほか: 神戸製鋼技報. 32(1), 24 (1982)
- 17) 生長明: チタン21世紀へ(40周年記念誌). チタニウム協会, (1992) 80
- 18) 山本章夫: 鉄と鋼. 79(1), 62 (1993)
- 19) 片脇清士: チタン21世紀へ(40周年記念誌). チタニウム協会, (1992)217
- 20) Takagawa, S.: Proc. 3rd Japan International SAMPE Symposium. Chiba, 1993-12, SAMPE, 1
- 21) 平啓介: 月刊海洋/号外. 5, 188 (1993)
- 22) 素形材, 34(1), 39 (1993)
- 23) 高橋一浩 ほか: 材料とプロセス. 6, 1602 (1993)
- 24) 高橋一浩 ほか: 材料とプロセス. 7, 663 (1994)
- 25) 近藤靖彦: レアメタルニュース. 1556, 1 (1990)
- 26) 進藤卓嗣 ほか: 製鉄研究. (336), 46 (1990)
- 27) 日本特許出願公開 昭62-282870. 1987年12月8日
- 28) 宮本一雄 ほか: 神戸製鋼技報. 21(2), 10 (1971)
- 29) AMS, 4911E (Revised 10.1.1984)
- 30) AMS, 2380B (Revised 10.1.1991)
- 31) Buttrill, W. H. et al: Proc. 3rd Japan International SAMPE Symposium. Chiba, 1993-12, SAMPE 1660
- 32) 山田博之 ほか: 電気製鋼. 54(1), 53 (1983)
- 33) 広橋一明: 日本鉄鋼協会共同研究会, 第10回耐熱強靱チタン研究部会
- 34) 福田正人 ほか: 塑性と加工. 24(1), 59 (1983)