

チタンの製造技術開発と用途開拓

Development of Manufacturing Technology and Its Application in Titanium



木 村 欽 一^{*(1)}
Kinichi KIMURA



正 木 基 身^{*(1)}
Motomi MASAKI



村 山 正 俊^{*(2)}
Masatoshi Murayama



加 古 幸 博^{*(3)}
Yukihiro KAKO

抄 録

我が国のチタンの工業生産が始まって約50年を経過し、新しい商品開発や利用加工技術を通して新たな需要を開拓することを目的として1984年に参入した新日本製鐵もその1/3の期間に至っている。素材コストの低減をはじめとして、各種の対策によって低コスト化を実現してきた。一方、建材、自動車、船舶等の新規需要開拓にも傾注し、従来にも増して身近な金属となっている。板、管、線の各品種についての用途開拓の現状を述べた。

Abstract

Approximately fifty years have passed since the industrial production of titanium started in Japan. One third of this period also has elapsed since Nippon Steel's entry into the titanium business in 1984 for the purpose of cultivating new demand through new product development and application processes. The company has succeeded in lowering the cost of titanium use, starting with raw titanium cost reduction and developing various application technologies. It also expended efforts in opening up new demands for titanium in building materials, automobiles and ships. As a result, titanium has become a metal familiar in daily life. This paper describes the present state of new applications for titanium as flat rolled, tubulars and wires.

1. 緒 言

チタンは地球上に4番目に多く存在する金属であり、その有効埋蔵量は約3億トンと見込まれており、資源が枯渇することはほぼないと言ってよい。日本でチタン鉱物が使用されている分野別割合をみると、約7割の大半は酸化チタンとして塗料等に使用されており、金属チタン向けのスポンジチタンとして利用されているのは、10~15%程度である。

チタンは、英国のW. グレガーが1791年にチタニウム元素を発見し、1795年にドイツのM. H. クラプロートがギリシア神話のタイタンに因んでこの金属をチタンと命名した。チタンは酸素との結合力の強さ故にその分離が容易ではなく、1910年に米国のM. A. ハンターがNa還元法によって金属チタンの分離に成功している。そして、1946年にルクセンブルグのW. J. クロールがMg還元法による工業化に成功をおさめ、この方法が現在のチタン分離法の主流と

なっている。

日本における生産は、W. J. クロールがMg還元法による工業化に成功をおさめて6年後の1952年に開始されている。そして1984年に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。チタンが工業的生産を開始してまだ50年程度しか経過しておらず、新日本製鐵はその1/3の期間にわたって携わってきている。近年、ゴルフクラブをはじめとするスポーツ用品や眼鏡、最近ではキャンプ用品やフライパンにまで使用され、身近な金属としての市民権を得つつある。それに伴い、国内外の展伸材需要は著しく伸びており、1997年には13千トンを出荷している。今後もその伸びは続くものと予想されており、(社)日本チタン協会は、2009年には現在の2倍強の30千トンの出荷規模になるものとのチタン中長期ビジョンを発表している。

分野別の需要見込みを表1に示す¹⁾。その中では、化学プラ

^{*(1)} チタン事業部 マネジャー
東京都千代田区大手町2-6-3 ☎100-8071 ☎(03)3275-7982

^{*(2)} (株)ニッタイ 野田工場 部長

^{*(3)} チタン事業部 部長

既存分野	航空機	PHE	電力、造水	化学工業	建築、土木	販売業者	民生品	その他	計
1998年	567	2 252	2 742	3 180	176	901	852	1 798	12 468
2009年	800	5 000	4 900	4 300	2 700	3 600	2 200	1 500	25 000

新規分野	自動車	船舶、海洋	環境	医療	その他	計
1998年	133	114	-	25	-	272
2009年	700	1 700	800	1 000	800	5 000

ト、プレート式熱交換器等の既存分野での量的伸びは著しいが、伸び率でいうと、自動車、船舶等の新規分野での伸長が際だっている。その新規分野の中でも環境およびその他項目が、現状ではあまり需要のないもの、今後の大きな需要の伸びが見込まれている。この中で環境項目では、排煙・脱硫装置、上下水道、温泉関連があり、その他は核燃料、食品関連での需要拡大を見込んでいる¹⁾。

チタンは、耐食性に優れ軽量であるすばらしい金属である。最も多く使用されている金属材料である鉄を基準とした、チタン特性の相対評価を図1に示す。これを見ると、比重は鉄の約6割、ヤング率は約半分、熱伝導率は約3割である。そして強度はほぼ同程度で、深絞り加工性の評価指数であるr値は高いが、n値は低いことが分かる。一般に金属加工は鉄が基準にされており、これらの相対評価でチタンは鉄に比べて、加工時のスプリングバックが大きく、深絞り加工性は良いが、張出加工は難しい等の現象が定性的に理解できる。

しかし、国内での需要は伸びているもののステンレス鋼、アルミニウムに比べてまだ遥かに少ない。それはやはり高価であることが大きな要因である。そのため、製造コストダウンを図り価格を下げるのがチタン市場の拡大に貢献するものと考えている。

新日本製鐵の代表的なチタン製品である厚板、薄板、溶接管および線材の主な製造工程を図2に示す。素材であるインゴットは他社より購入しており、その後、分塊、厚板圧延を経て厚板製品、冷間圧延、焼鈍を経た冷間圧延製品、この冷間圧延製品を成形、造管した溶接管製品、そして線材圧延した線材製品がある。

新日本製鐵がチタン事業に参入するにあたっては、新しい商品開発や利用加工技術を通して新たな需要を開拓することを方針としており、現在もそれに則り事業拡大を図っている。

本報では、純チタン製品に関わる最近の新日本製鐵の製造コスト

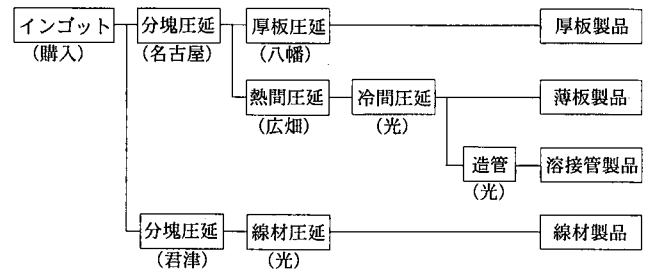


図2 主な製造工程

削減への主な取り組み、商品開発とそれにかかわる製造技術開発の概要について紹介する。

2. 素 材

新日本製鐵はチタンの溶解設備を有していないため、素材は溶解インゴット或いはスラブ等として大半を東邦チタニウム(株)より購入している。しかし、特に純チタン冷間圧延薄板等の新日本製鐵製品コストに占める素材コストはかなり大きく、その素材費削減によるコストダウン効果は大きい。特に素材供給メーカーは、国内には2社しかなく、新日本製鐵は海外に素材供給ソースを求めてきた。その結果、用途等を考慮しつつ、また、その製品の特性を確認して実績を積みあげ、適用範囲を拡大してきている。海外素材メーカーも含めた購入ソースを獲得したことによって、低コストの素材を構成している。

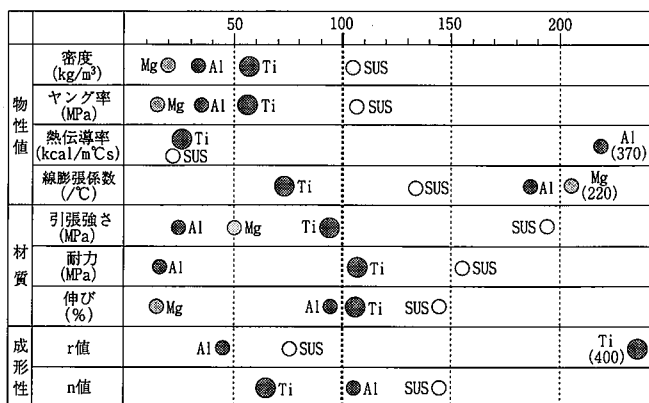
3. 品種毎の取り組み

3.1 冷間圧延薄板

新日本製鐵の冷間圧延薄板は、インゴットを購入後、名古屋製鐵所でスラブに分塊して広畑製鐵所で熱間圧延し、光製鐵所で冷間圧延以降を行い製品まで仕上げていく。また、電子ビーム(EB)溶解スラブも購入しており、その場合は広畑製鐵所での熱間圧延より製造している。

製造コストダウンについては、工程省略を図るとともに冷間圧延製品の表面疵低減を重点的に技術開発してきた。具体的には、インゴットの表面手入れにはじまり、分塊スラブの研削基準、熱間圧延条件等の疵発生に及ぼす影響を明確化した。そして特に、熱間圧延疵の低減を図るとともに、光製鐵所での疵除去の効率化を図った。当初、光製鐵所では、熱間圧延コイルの疵を除去するために、コイルグラインダーを用いていたが、熱間圧延工程等での疵発生低減および熱間圧延コイルの酸洗工程以降での効率的な疵除去技術を開発することによって、コスト負担であったコイルグラインダーによる研削工程をほぼ省略することができた。

これらの低コスト化を図るとともに商品開発にも傾注してきた。冷間圧延製品の大きな需要分野はプレス成形材である。従って、プ



Fe: キルド鋼
SUS: SUS304
Ti, Al, Mg: 工業的純金属

図1 代表的金属の特性相対評価

レス成形性の向上に関し、成分および製造条件の影響を定量的に試験調査した。一方、成形材のニーズとしては、プレート式熱交換器のような張り出し成形が主体なものと、マグカップのような深絞り成形主体なもので造り込み技術が異なる。さらに最近では、パーソナルコンピュータ(PC)等のIT機器にチタンが使用されるようになってきている。この分野では、プレート式熱交換器などの機能材、つまりチタンの耐食性を重視した表面意匠性をあまり問われない用途とは異なり、表面意匠性が厳しく要求される。小さな表面疵でも皆無であることはもとよりプレス成形時の肌荒れ、また、研磨性などの厳しい要求品質がある。

これらの要求に対して、具体的にはプレート式熱交換器には張り出し成形性の優れた成分系を開発し、製造条件、特に焼鈍条件の適正化を図った。またマグカップのような深絞り材には、スキンパス加工を行い表面をダル状にするとともに異方性を軽減し、プレス時のチタンの均一変形および成形性も有する材料を開発し、特に新潟県の燕地区に多く出荷している。PC等のIT機器向けには、表面性状の厳しい要求品位に応えるため、熱間圧延以降の製造条件の適正化を図った。

プレス成形材のほかに、建材向けの冷間圧延製品にも力を注いでいる。25年ほど前にはじめて建材にチタンが採用され、当初は、耐食性を目的としたものであったが、表面の意匠性を重視してチタンが採用されるケースが多くなっている。各設計デザイナー趣向に応えるため、新日本製鐵では様々な表面仕上げのメニューを開発している。その代表的な製造工程を図3に示す。代表的な表面仕上げとしては、スキンパス圧延時のロールにショットブラストで凹凸を施して圧延することによって表面をダルとしたものや、アルミナブラスト材、発色材などを開発してきた。また、最近クローズアップされている建材の課題として、施工後、数年を経過すると次第に施工当初の銀色から茶色味を帯びた色に変わっていくとの指摘がある。

新日本製鐵では、成分、材質等詳細に分析し、また、変色の程度を定量的な評価方法を確立した。これらによって、従来、変色有無の評価は暴露試験によって数年要したものをわずか数週間で評価し、製造条件との関係も定量的に評価することが可能となり、変色に及ぼす影響因子を明確化した。この結果、従来材に比べて格段に変色し難い材料を開発し、既に大分スポーツ公園メインスタジアムの屋根には新日本製鐵の耐変色性の優れた材料が使用されている。

さらに建材の場合、建物としての見映えの均一性が重要視される。つまり、屋根等の外装の表面色調が部分的にも異なると、見映えが悪くなる場合がある。新日本製鐵ではロット管理を徹底して行い、また施工に際しては、各ロット(コイル)の表面色調を把握して、施工を行うファブリケーターへ提示するなどの対応を行って、建物としての均一性を確保している。

3.2 厚板製品

厚板製品は、購入したインゴットを名古屋製鉄所で分塊圧延してスラブとし、その後八幡製鉄所で厚板圧延して焼鈍と矯正を行って

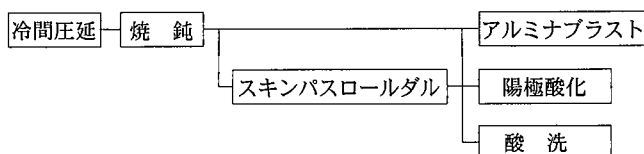


図3 各種表面仕上げメニュー

製品としている。また、一部では、分塊済みスラブを購入して直接、厚板圧延して製造する場合もある。

品質面では製品の高い平坦度を確保するため焼鈍と熱間形状矯正が同時に行える真空クリープ矯正装置(VCF: Vacuum Creep Flatteners)を10年前に導入した。その形状矯正能力はユーザーから高い評価を得ており、現在はフルに活用している。

商品開発の面では、電解銅箔製造用ドラムに用いられるチタン厚板が挙げられる。電解銅箔はIT機器用のプリント基板に用いられ、需要が急増している。そのため世界各地で銅箔製造工場の新設や増強が進められている。電解銅箔は硫酸銅水溶液中でチタン製ドラムを陰極として電解し、ドラム上に金属銅を析出させ、それを連続的に巻き取る事により製造される。従って、チタン製ドラムの表面緻密性が重要視される。ドラムの表面に模様があると銅箔の表面にそれらが転写されてしまうため、箔製品の厚さ均一性が損なわれ、その結果プリント基板用銅箔としての品質に悪い影響を与えられている。従って、陰極ドラムに使用されるチタン厚板にはその金属組織にマクロ的な模様が無いことを要求される。

このような要求特性を満足するため、インゴットの分塊以降の各製造工程を見直し、特殊工程を追加して従来材にない均一なマクロ組織を有するチタン厚板の製造技術を構築する事に成功した。当該技術を用いた製品は既に市場に出荷を始めており、ユーザーより高い評価を得ている。また、当該技術を発展させて半導体や液晶製造時に用いられるスパッタリングターゲット用厚板の製造技術も確立した。更に、新商品としては、耐食性チタン合金TICOREXシリーズを厚板の製品メニューに加えた。これについては、本特集号の別報“耐食性チタン合金TICOREXの特性と使用例”で詳しく説明しているので参照されたい。

3.3 溶接管

チタン溶接管も、新日本製鐵がチタン事業に参入した当初から市場拡大に力を入れている品種である。光製鉄所にチタン専用のTIG溶接管製造2ラインを新設して、高品質のチタン溶接管を製造しており、化学プラント用熱交換器向けをはじめ、海外はもとより国内の原子力発電所復水器にも採用されている。

原子力発電所向けの溶接管といえども、高品質を維持しつつ低コスト化が必要であり、生産性の向上、具体的には造管速度アップを図ってきた。特に、事業用電力向けには厳しい真円度管理も要求されており、そのため、チタン溶接管の各部位の残留応力を把握して、その低減技術等を開発した。造管ロールは、チタン溶接管に疵を付けないよう軟らかい銅合金製のロールを使用している。そのため、局部的にロールが僅かながら摩耗してくる。摩耗が激しくなると、真円度等の形状に悪影響を及ぼすので、摩耗量と形状との関係を定量的に把握し、ロール摩耗量を絶えず管理している。

溶接管素材のフープのエッジに塵、汚れなどが付着していると、ブローホールなどの溶接欠陥を引き起こす可能性があるため、溶接欠陥を防止するため、フープの洗浄や、フープエッジのバリ除去を行っている。このような諸対策、操業技術の向上によって高品質のチタン溶接管を提供することができている。チタンの低ヤング率等の機械的特性や、TIG溶接の原理等から現在の造管速度はかなり限界に近いものと考えている。従って、今後は造管ミルを抜本的に見直し、サイズフリーを指向してサイズ変更によるロール組み替え時間の短縮等の作業能率の向上を図っていくことが必要である。

新規用途開発としては、軽量化、意匠性の観点から二輪車、四輪

車の排気マフラー用チタン溶接管が急激に伸びている。マフラーでは、加熱によってチタン独自の発色を行う場合があり、表面性状によって微妙に色彩が異なる場合がある。そのため、発色後の色合いに及ぼす冷間圧延板製造条件の影響を明確化し、ユーザーニーズに応えた製品を出荷している。マフラー用の管は、外径25.4mmを主体とする熱交換器用管に比べて外径が大きく、一部サイズは光製鉄所のチタン専用の造管ラインでは製造不可能なものがある。そのため新日本製鐵の品質管理のもと、外部に委託造管を行って提供している。

また、昨今の環境対策として二酸化炭素削減のための省エネルギーニーズが強い。(財)省エネルギーセンター主催の2000年度省エネルギー大賞経済産業大臣賞を受賞した高効率家庭用ガス給湯暖房熱源機“エックスプリオール・エコ(大阪ガス(株))”および“エコテックQ(高木産業(株))”にチタンフレキシブル管が使用された。このチタンフレキシブル管は新日本製鐵で製造したチタン溶接管を(株)ティグにてフレキシブルに加工したもので、器具内の熱交換器に使われている。新日本製鐵は(株)ティグと共同でチタン0.3mmの薄肉フレキシブル管を開発した。通常のチタン製熱交換器の管肉厚は0.5~0.7mmであり、0.3mmの肉厚は殆ど実例がない。しかも、伝熱性能向上のため、管に凹凸を付けるフレキシブル加工を施すため、通常の熱交換器に使用されるチタン管では割れが発生していた。

そこで、新日本製鐵は(株)ティグと協力して、まず管の素材であるチタン板の加工性向上のため、特殊成分の設計、さらに圧延・焼鈍条件の最適化等による素材の軟質化、加工性向上を図った。次に造管工程においては、フレキシブル加工時に溶接部で割れる確率が高いため、フレキシブル加工時に溶接部も含めて均一な変形となるように溶接部の形状を滑らかにした。そして溶接雰囲気であるアルゴンガス圧力コントロールと引っ張り力を加えながらの成形により滑らかなビード形状の安定化を確立した。これらの製造技術開発に加えて新日本製鐵では、ガス器具内環境における腐食健全性の検証、配管強度検証等も実施している。このような廃熱回収の腐食環境下ではチタンのニーズが今後広がるものと期待している。

3.4 棒・線材製品

棒・線材製品は君津製鉄所の分塊圧延機でインゴットをピレットにし、光製鉄所の高速圧延機で線材に圧延している。当初は圧延量も少なくコイル単重も小さかったが、昨今、線材の用途として眼鏡用に伸びが著しくなり、それに伴って圧延量も増大してきている。製造量の伸びとともにサイズ別の圧延量も増大しそれらをまとめて圧延する事が可能となり、圧延技術の向上と相俟って低コスト化につながってきている。

棒・線材の用途は、眼鏡用が中心で、純チタン以外にTi-3Al-2.5V合金が使用されている。最近では、ファッション性を重視して高強度で細径化が可能なTi-15V-3Cr-3Sn-3Al合金が縁無し眼鏡のリムに使用されている。

眼鏡以外では深海調査船の探査ゾンデ懸垂用のケーブルに β c(Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr)合金線材の適用開発に成功しており、東京大学などの海洋観測船に搭載されている。また、チタンの自動車分野への適用は環境負荷低減に大きな役割を果たしている。例えば、自動車エンジンの往復運動部品にチタン材料を用いることで、エンジンの軽量化、高出力(=小型化)により車両の走行時のエネルギー消費と二酸化炭素排出量を低減できる。更に、エンジンの静粛性も向上するといわれている。新日本製鐵は自動車用エンジンの吸気・排気バルブ用のチタン合金線材(例えば、Ti-6Al-4V、TIMETAL 1100(Ti-6Al-2.75Sn-4Zr-0.4Mo-0.45Si))の国内製造体制を構築しユーザーの要請に応じてきている。

3.5 その他の新製品開発

新日本製鐵は既存分野の純チタン材にとどまらず、箔の開発、需要開拓にも力を入れている。また超電導磁気シールド用のTi-Nb-Cuの板状多層複合材を世界に先駆けて開発した。これを深絞り加工して円筒状にすることによって全く接合のない多層円筒シールド材も開発している。これらは、医療MRIやリニアモーターカー実験車両等に使用されており、今後の市場の拡がり期待できる。

さらに、製品の用途開発として、船舶用へのチタン適用を手がけており、オールチタン船を造船メーカーと一緒に開発している。1985年にオールチタン製ヨットが建造されて以来しばらくチタン船の注文はなかったが、1998年にオールチタン製の漁船が建造され注目を集めている。(社)日本チタン協会に船舶ワーキンググループが結成され、さらなる広がりをみせている。

チタン合金についても、もっとも一般的なTi-6Al-4V合金や、眼鏡向けのTi-3Al-4V合金、Ti-15V-3Cr-3Sn-3Alをはじめとして、最近では、高強度 β 合金の β c(Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr)、耐熱性の優れたTi-1100(Ti-6Al-2.7Zr-0.4Mo-0.4Si)、安価な β 合金であるLCB(Ti-1.5Al-4.5Fe-6.8Mo)の研究開発を行っており、眼鏡、ゴルフ、自動車への適用技術開発を行っている。

4. 結 言

チタンは優れた耐食性を有することから発電所復水器を始めとする熱交換器や化学プラント、また比強度の高いチタン合金は航空機分野に多く使用されている。その伸びは著しく、2009年には現在の2倍強の30千トンの出荷規模になるものとの予想がある。

以上のように新日本製鐵は、純チタンの板、管および線材製品を中心として、製造技術の開発、操業改善を行って、上述のように新規用途開発に力を入れて需要拡大の一翼を担っている。今後とも、諸々の技術開発を通じて我が国のチタン産業発展のため貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 金属チタンの中長期ビジョン。(社)日本チタン協会, 1995-5