

熱交換器用高品質チタン管の製造技術

New Techniques for Manufacturing High-Quality Titanium Tubes for Heat Exchangers

西田 祚章^{*(1)} 原 光男^{*(2)} 沖中 忠之^{*(1)} 土居 雅春^{*(3)}
Toshiaki NISHIDA Mitsuo HARA Tadayuki OKINAKA Masaharu DOI
 藤井 敏雄^{*(4)}
Toshio FUJII

抄 録

新日本製鐵のチタン分野への進出に伴って最新鋭技術を駆使したチタン溶接管工場が1984年6月に光製鐵所で稼働を開始した。以来優れたチタン管製造技術によって熱交換器用途等の多くの製造実績を積み重ねてきた。本工場の特徴は、(1)完璧な品質保証体制、(2)先端技術を最大限に取り込んだ製造技術、(3)全ライン、オンライン製造工程の三点で構成されている。本報ではこのチタン管製造設備の新開発技術、製品の品質保証体制、本設備による製品の特性を紹介した。

Abstract

With Nippon Steel's advance into the field of titanium products, a new titanium tube mill, incorporating a variety of new techniques developed by Nippon Steel, was put into operation in July 1984 at Hikari Works. Since then, titanium tubes for heat exchangers and other uses have been satisfactorily produced by employing the innovative techniques. The feature of this mill are 1) the perfect quality assurance system, 2) the tube manufacturing process incorporating a variety of advanced techniques, and 3) the full on-line manufacturing process. The paper describes the techniques newly developed for the production of titanium tubes, the product quality assurance system established for the mill and the properties of the products manufactured by the mill.

1. はじめに

チタンは他の金属材料と比較して各種環境中における耐食性が著しく優れているため各種化学反応塔や容器などの構成材料として発展してきたが、近年では火力・原子力発電所等の蒸気タービン復水器や蒸発法海水淡水化装置の伝熱管としても多量に使用されている。

新日本製鐵光製鐵所は、従来からステンレス鋼溶接管の製造を行ってきたが、チタン分野への進出に伴い1984年からチタン溶接管の一貫製造を開始した。チタン管の製造においては、良質の純チタンインゴットを購入し、他所にて分塊圧延、熱間圧延を行った後、光製鐵所にて冷間圧延及び真空焼鈍を実施し、そこで得た素材を用い、優れたチタン管製造技術によって熱交換器用途等の多くの製造実績を積み上げてきた。

本報はこの工場の製造設備、品質保証体制、製品特性についてその特徴を述べる。

2. チタン溶接管製造設備の特徴

2.1 製造範囲と工場仕様

この工場は既存規格のチタン管製品の製造を基本とし、そのため

に当初から十分な市場開発、業界での技術課題、品質レベルを調査した。その上で、最新鋭のチタン管専用工場を設定し、電力事業用途の熱交換器用チタン管として最も信頼性の高い製品を市場に提供できるように設備面での対応をとるようにした。図1に製造可能範囲、表1に製造品種、規格を示す。

造管ラインは高寸法精度を確保できる成形技術と極めて高品質の

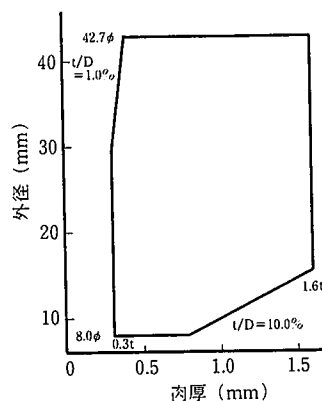


図1 製造可能範囲

^{*(1)} 光製鐵所 生産技術部 室長
^{*(2)} 光製鐵所 鋼管部 部長代理

^{*(3)} 光製鐵所 生産技術部 部長代理
^{*(4)} 光製鐵所 生産技術部 掛長

表 1 主な製品品種及び規格

製造品種	規 格
熱交換器用	TTH28W~TTH49W
	B338 Gr.1~Gr.3
配 管 用	TTP28W~TTP49W
	TTP28PdW~TTP49PdW
	B337 Gr.1~Gr.3

溶接技術を適用し、かつこれらの設備は工場建屋の中の建屋内いわゆるクリーンルーム内に設置され、チタン管を製造している。又、チタン管の熱処理においては、オンライン中で高純度の不活性ガス雰囲気中で行う焼鈍設備を備えており、精整・検定工程には全本、全長にわたっての品質を検査し保証する非破壊試験(NDI)設備を有し、個別管理による完全な品質保証体制がとれる連続ラインが構成されている。

2.2 成形技術の特徴

2.2.1 高寸法精度成形

成形設備は高寸法精度の確保を目的に計画した。図2にTi-TIG造管ライン、図3にロールカリバマップと製品曲率を示す。普通鋼やステンレス鋼と比較して成形が困難なチタンではスケルプのエッジ領域を十分に成形するため、又、薄肉材のエッジバックリングを抑制するためにブレイクダウン・ロールには専用のダブルベンド・ロールを採用している。その後のフィンパス成形は2スタンドを設置し、溶接前にハイドロ・ロールを4スタンド設けTIG(Tungsten Inert Gas)溶接時にエッジのバックリングやラップ状態ができるだけ解消されるよう設計している。スクイズ・ロール以降には2ロール型のサイザーを4スタンド設けて高精度の外径、真円度を確保し、又、オンライン曲がり取り矯正用の軽サイザーを2スタンド設けて下工程における管の曲がり取り矯正を省力化している。

2.2.2 高品質表面性状

チタンスケルプをステンレス溶接管のような工具鋼材質のロールでロール成形した場合、チタン管表面とロール表面との間の周速差によってその部分に焼付き疵が発生することがしばしばある。このため本工場のロール成形においては、全て特定の銅合金ロールを採用して良好な表面性状を確保している。又、同時にこれら銅合金のロール交換時期の管理は圧延累計長さを基準に行っている。

2.3 溶接技術の特徴

2.3.1 溶接施工環境

チタンは酸素や窒素との親和性が極めて大きいため溶接時にはArガス等の不活性ガス中で溶接することが必須である。又、チタンスケルプの清浄度が悪い場合には溶接時に溶接欠陥が発生することが多い。たとえばスケルプエッジに微量に付着したチタン粉や油脂類、あるいは成形、溶接時に周囲から入るダスト等起因する溶接欠陥が発生してしまう。このために本工場では成形前にスケルプエッジのカエリを写真1に示すようにカエリ取り装置を適用している。更にスケルプエッジ部はブラッシング洗浄装置によって溶接品位を確保すべく高清潔に保っている。これらの諸対策と同時に良好な環境を保持するためアンコイラーから溶接までの工程は、全体を囲んだクリーンルーム内に収め、ダスト等の混入を防止している。

2.3.2 溶接技術

チタン溶接管の溶接にはTIG溶接法が使用されるが、本工場に採用したのはハイパルスTIG溶接法である。直流電流に高周波パルスを重畳させたいわゆるハイパルスTIGでは、5kHz以上の周波数帯域でアルゴンアークの硬直性、指向性及び集中度が著しく強化される。又、これらのことが母材に対するアークの挙動を安定し、円滑な溶接ビードを形成している。図4に周波数とアーク圧力との関係を示し、写真2に溶接部の組織及び形状を示す。

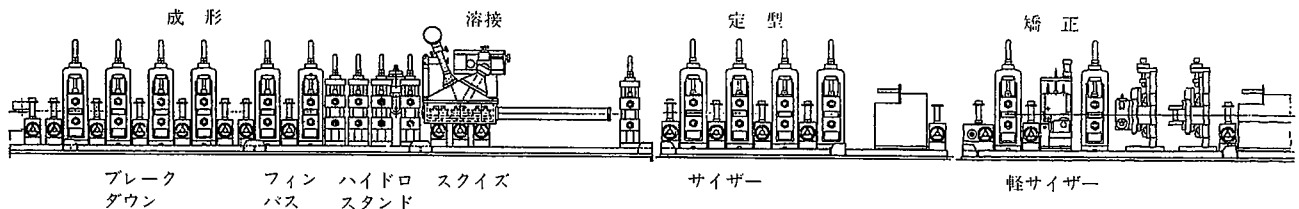


図 2 Ti-TIG造管ライン

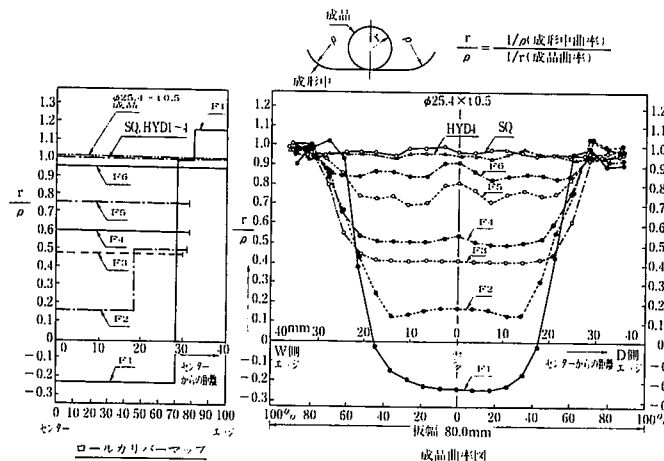


図 3 ロールカリバマップと製品曲率

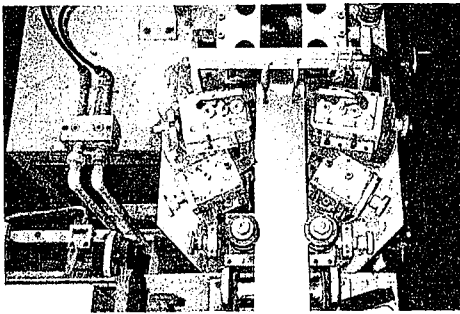


写真 1 カエリ取り装置

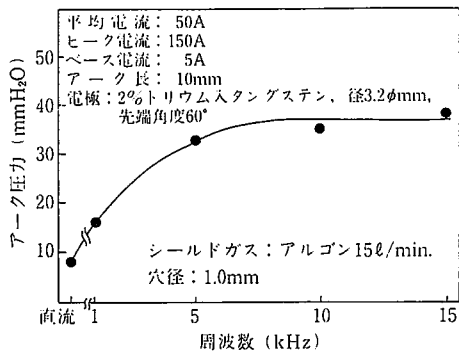


図 4 周波数とアーク圧力との関係

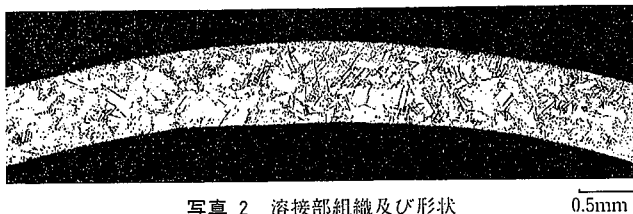


写真 2 溶接部組織及び形状

又、本工場では生産性の向上を狙い、溶接品質を確保しながら高速溶接が可能となるように、溶接電極を造管方向に対して前傾にし、かつスクイズ・スタンド部全体をシールドボックスで囲い Ar ガス雰囲気

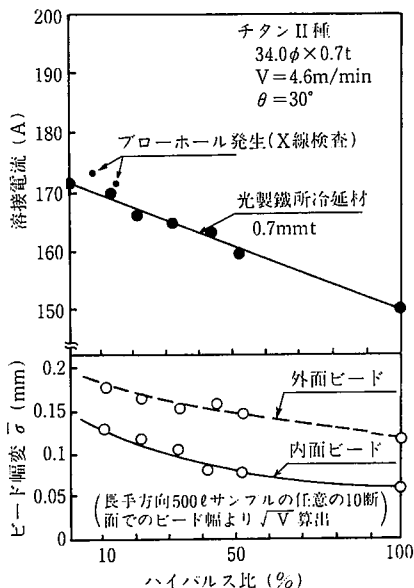


図 5 ハイパルス比の溶接電流とビード幅

表 2 溶接条件 (TTH35W 31.75φ×0.5t)

溶接速度 m/min	総合電流 A	HIP 電流 A	電 圧 V	トーチ角度 °	電極径 mm	電極高さ mm	トーチガス L/min	外面ガス L/min	内面ガス L/min
5.5	220	95	10.0	35	2.4	1.8	15	13	30

気中で溶接している。溶接条件の一例を表 2 に示す。溶接条件の最適領域は実機による多くの実験結果から定めており、それらの例を図 5 及び図 6 に示す。

2.4 熱処理技術の特徴

本工場での熱処理方法の特徴はオンライン焼鈍が実施できる設備を備えていることである。チタンは約400℃以上の高温状態では酸化して管表面が着色された状態になってしまう。一方、ASTM 規格にも規定されるよう溶接管は最低482℃(900°F)で焼鈍 (Anneal) することが規格で要求されている。このため本工場の焼鈍装置は電磁誘導加熱法による加熱部とその後の冷却帯を全て外筒状のもので囲い、同時に Ar ガス雰囲気中で実施している。この結果、管表面の酸化は全く発生せずに極めて綺麗なチタン管表面を呈している。この雰囲気焼鈍状態は放射温度計により計測され、自動的にチャート記録され、顧客や第三者検査等への実証も可能である。

3. 品質保証体制の特徴

3.1 トレーサビリティ

最終出荷製品の品質保証を考えた場合、トレーサビリティを確保しておくことは極めて重要である。特に電力プロジェクト物件における原子力発電所用の熱交換器用などではその意義は大きく必須条件となってくる。

本工場は二基の造管ラインを有しているが、造管直後の粗切断工程に自動マーキング装置を有している。この自動マーキング装置では、JIS, ASTM で要求される表示項目のみならず、溶解番号や管番号等を管一本一本に自動的に表示することができる。特に管番号までも表示できるので造管工程以降にあるNDI, 空圧試験及び最終検定の各下工程でも個別管理を実施することができる。

更に図 7 に示すように梱包断面図システムを採用しているので合

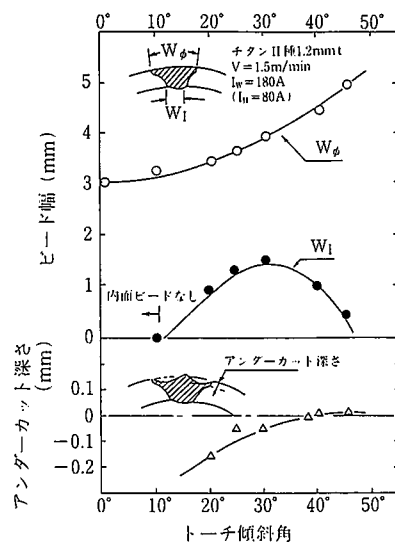
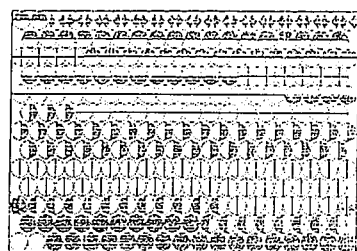


図 6 トーチ傾斜角度とビード幅およびアンダーカット深さの関係

梱包番号: 8 1990年8月20日



84-BB-62 (31.75×0.5×15 682) 241本

図7 梱包断面図例(31.75φ×0.5t)

格製品を箱詰めした後、箱のどの位置にどの管番号のものが梱包されているかまでも識別管理できトレーサビリティに万全をついている。

3.2 非破壊検査システム

チタン溶接管の主要用途である熱交換器の場合、肉厚は0.5mm から0.7mm と管の外径にかかわらず非常に薄く設計される場合が殆どである。このため管の溶接部はもちろんのこと母材部を含め全面、全長にわたる管の健全性を確実に保証することが必須条件となってくる。JIS, ASTM の製品規格では非破壊試験として渦流探傷試験(ET)もしくは超音波探傷試験(UT)が要求され、管の耐圧試験としては水圧試験あるいは空圧試験(NT)が要求されている。

本工場での保証体系では図8に示すようET, UTを同一工程で実施し、その後にNTを実施しており、その特徴は、非破壊試験や空圧試験で合格となった良品の管だけが下工程に自動的に搬送されることである。不合格となった管は非破壊試験、空圧試験の各段階の直後にある不合格品クレードルに自動的に排除され、良品と隔離して不合格材料の混入を完璧に防止しようとしている。

4. 製品の特徴

4.1 寸法精度

本工場で製造する製品の寸法精度は、JIS, ASTM等の規格に対し設備の高い工程能力を実証している。これらの実績の一例を図9から図17に示す。又、本工場の製品の特徴は良好な真円度形状が確保



図8 NDI, 空圧試験工程配置図

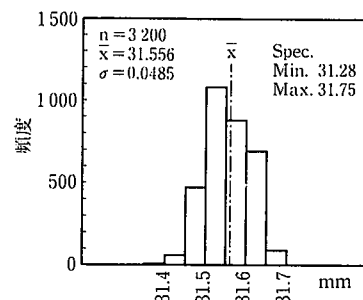


図9 外径精度(31.75φ×0.5t)

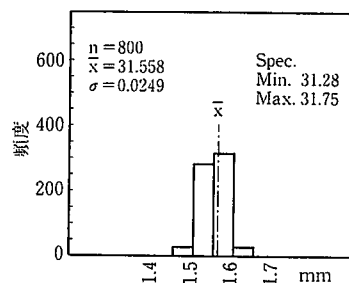


図10 平均外径精度(31.75φ×0.5t)

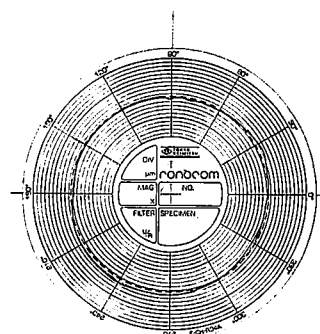


図11 真円度チャート(31.75φ×0.5t)

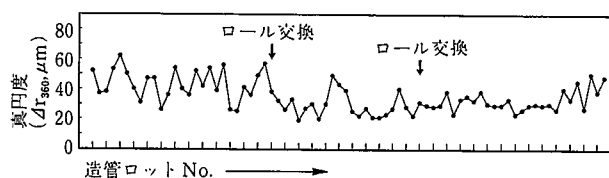


図12 造管時の真円度推移(31.75φ×0.5t)

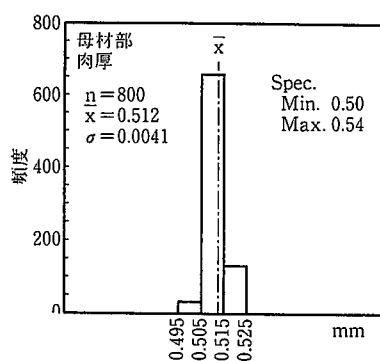


図13 肉厚精度(31.75φ×0.5t)

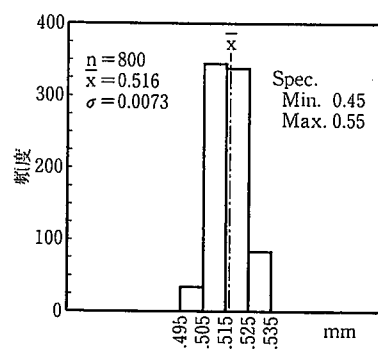
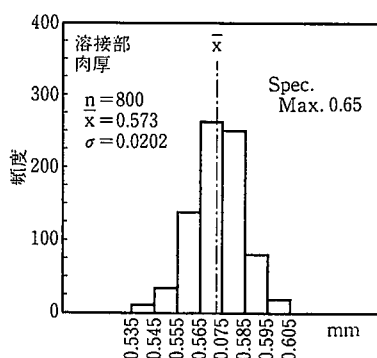


図14 トウライン部肉厚(31.75φ×0.5t)

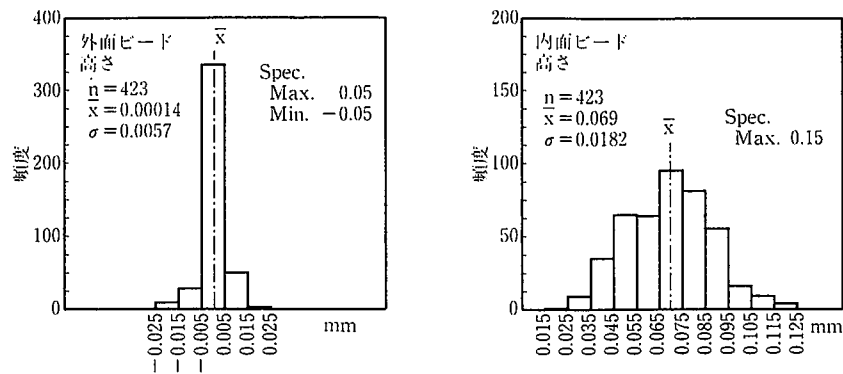


図 15 ビード高さ(31.75φ×0.5t)

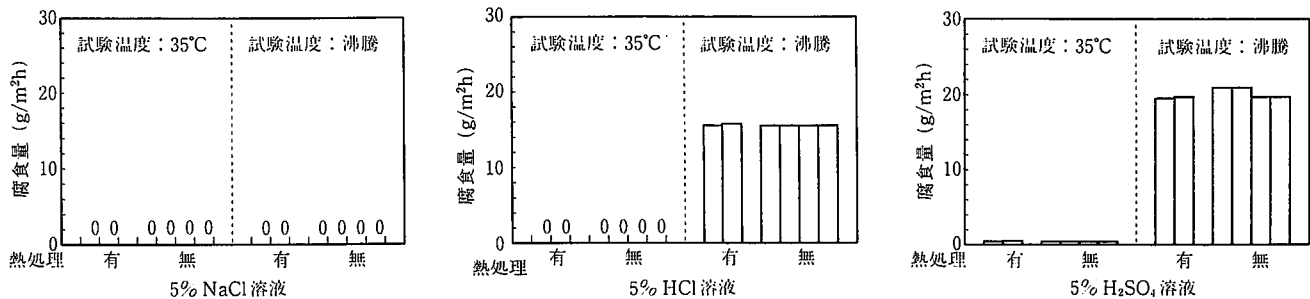


図 16 チタン管の耐食性試験結果

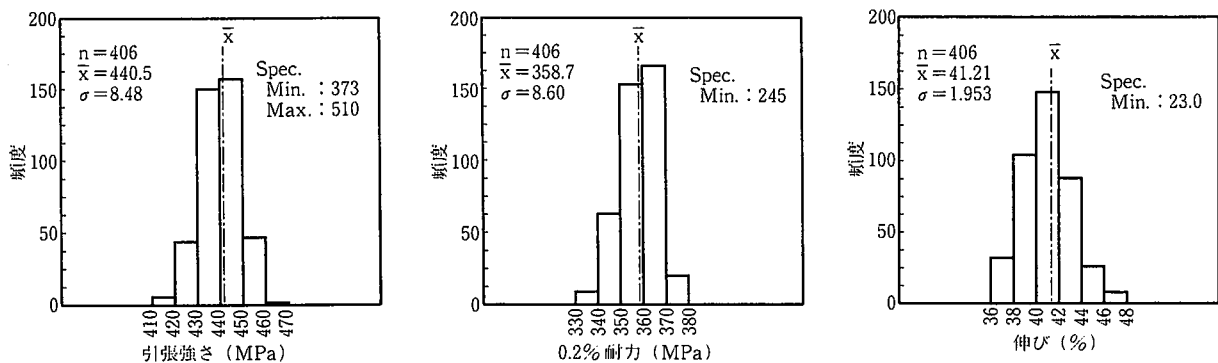


図 17 機械的性質(TTH35W 31.75φ×0.5t)

され管理されていることである。電力事業用熱交換器用途の場合、復水器の管板に管を装入した後、拡張して管周方向の保持力が均一に確保されなければならないことを考慮すると、製品の真円度の確保は重要な品質要因となってくる。このために本工場では真円度測定器を保有して一定頻度で真円度の把握管理を行っている。又、同時に造管時の成形、定型に使用する特殊銅合金ロールの磨耗状態の把握にも併用している。

4.2 ビード形状

チタン溶接管のビードは溶接ままの形状で製品となり、ビードを切削や研削によって除去することは行わない。このため特に外面ビードは管の外周曲線に沿って滑らかにつながっていなければならない。溶接時のアンダーカットを含め、この外面ビード形状を決定する要素はTIG溶接トーチの傾斜角度に依存していることがわかってるので、最適傾斜角度は実機での実験結果により定めている。

一方、内面のビード形状については、特に内面ビード高さの制御は溶接入熱管理とは独立して、管内面側のガス圧力を制御することによって管理している。これらは製造中に管理しているので、図15

に示すように内面及び外面のビード寸法は常に高精度に確保されている。

5. 結 び

チタンが工業材料として実用化され約40年が経過し、その優れた耐食性が活かされて各種産業分野における使用実績が着実に増加しつつある。その中で、本工場は新日本製鐵のチタン事業の一貫として発足しチタン溶接管の営業運転以来、上記で紹介した高性能、高品質の商品の提供を可能にしている。又、長年にわたって蓄積してきた造管技術と徹底した品質管理、品質保証のもとで、造管から精整・検定工程までをオンライン工程とし、その中に自動化技術を導入し、新鋭チタン工場として1984年以来順調に稼働している。