

チタンおよびチタン合金の製造技術

Manufacturing Technology in Titanium and Its Alloys

木村 欽一*
kinichi KIMURA片山 俊則
Toshinori KATAYAMA

抄 録

新生“新日鉄住金(株)(NSSMC)”のチタン事業は、旧新日本製鐵(株)および旧住友金属工業(株)において各々培ってきた高い技術力を引き継ぎ、それを効果的に融合させている。一般工業用の純チタン分野において世界でトップクラスの高品質で且つ広い製造可能範囲を有し、さらに、より高い品質を要求される航空機向け分野においては機体およびエンジンのプレミアムグレードも含めたチタンおよびチタン合金製品を製造、出荷している。

Abstract

Newly born “Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation (NSSMC)” has taken over high-level technologies on titanium, which have long been cultivated in each company, Nippon Steel Corp. and Sumitomo Metals Industries, Ltd. Moreover, by effectively combining both technologies, NSSMC is now manufacturing and supplying highest quality commercial pure titanium products of quite wide range of size, and NSSMC is also manufacturing titanium and its alloys for aircraft industries, which demand quite high quality, including airframes and engine parts for which what is called premium grade is required.

1. はじめに

2012年10月、新日鉄住金(株)が誕生し、製品出荷ミルとしては、旧新日本製鐵(株)(以後「旧新日鉄」と記す)での光製造部(山口県)、八幡製鉄所(福岡県)に加え、旧住友金属工業(株)(以後、「旧住金」と記す)の直江津製造所(新潟県)および製鋼所(大阪府)の4ミル体制となり、それらの技術開発面を支える研究所は、旧新日鉄のREセンター(千葉県)および旧住金の尼崎研究開発センターの2箇所体制となった。ここでは、統合後の新日鉄住金(株)におけるチタンの製造体制・技術について紹介する。

2. 統合前の2社におけるチタン事業の歴史と統合新会社の特徴

日本におけるチタンの生産は、W.J. クロールがMg還元法による工業化に成功をおさめた6年後の1952年に旧住金系列の大阪チタニウム(株)(当時)にてスポンジチタンの試験生産を開始し、1954年にその量産を開始した。その後、1968年に旧住金の直江津製造所にてチタン冷間圧延(以後、冷延と記す)材の生産を開始している。

一方、直江津製造所での冷延板の製造開始から16年後の1984年に旧新日鉄はチタン事業に新規参入した。

旧住金においては、直江津製造所で純チタン冷延材を中心として製造し、一般工業用分野はもとより高品質で且つ厳しい品質管理体制が要求される航空機向け純チタン冷延コイルについて航空機メーカーの認証を受け、現在、該社が使用しているほとんどの純チタン冷延コイルを製造、出荷している。

また、1984年旧住金の製鋼所にチタン合金用の製造設備を設置し、1985年から国内外の航空機関連の重工業メーカー等の認証を取得しており、その後、高品質を要求される航空機エンジンのファンブレード用チタン合金を製造出荷している。一方、旧新日鉄では光製造部において冷延、溶接管、線材を製造、出荷し、新日鉄住金ステンレス(株)(以後、NSSCと記す)八幡厚板工場にて厚板製品を製造出荷している。その多くは一般工業用向けの純チタンである。

3. チタン需要と統合新会社の対応力

国内でのチタン展伸材の出荷量の推移を図1に示す。2011年の出荷数量は19千トンとなり、旧新日鉄がチタン

* チタン・特殊ステンレス事業部 チタン技術部 チタン技術・管理室長 東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071

事業に参入した1984年の5千トンに比べ4倍近い伸びを示している。同じく国内の2011年の需要分野別の出荷比率を図2に示す。

チタンは、特に海水に対しての耐食性に優れており、海水との熱交換器に多く使用され、プレート式熱交換器(Plate Heat Exchanger : PHE)や発電所復水器に多く使用されている。2011年には大型の海水淡水化プラント向けに約6千トンものチタンが使用された。ただ、2011年の東日本大震災以降、原子力発電所の建設が遅れ、さらに欧州の金融危機等による景気落ち込み等もあり、2012年は国内のチタン展伸材の出荷量は12千トン程度に留まっている。国内需要の多くは純チタンであり、国内での航空機向け需要は5%程度である。しかし、世界的には、航空機向けの需要は約半分と言われており、その多くはチタン合金である。今後、航空機分野の伸びが期待され、航空機にはチタンが多く使用される傾向にあり、また一般産業用についても市況の回

復に伴いチタン需要の伸びが期待される。

旧新日鐵と旧住金の統合は、鉄鋼分野において互いに補完する分野が多いとされているが、チタンにとっても同様であり、上述のように、旧住金では純チタンおよびチタン合金において、一般工業用の純チタンのみならず高い品質を要求される航空機向けの製品を製造出荷している。一方、旧新日鐵においては、一般工業用の純チタンが多く、チタンが優れた耐食性を有することから薄手材が求められ、より薄くより幅の広いチタン薄板製品の製造を得意とし、加えて溶接管や線材を製造出荷している。

旧両社の特長を最大限に活かして、純チタンを中心とする一般産業用のみならず、今後の成長が見込まれる航空機分野でのチタン合金開発も拡大させるべく技術開発を進めている。

4. 製造技術

4.1 製造体制

2011年の製品形状別の国内出荷比率を図3に示す。薄板、厚板の板系列が約7割を占めている。その他、溶接管、棒、鍛造と続き、チタン製品のほぼ全ての品種の製造出荷を手掛けている。チタンの製造には鉄鋼設備を主に活用しており、また板、管、線、棒など多品種であるため、冒頭に記した直江津製造所、製鋼所、光製造部、および八幡厚板工場(NSSC)の4つの製品出荷ミルに加えて、名古屋製鉄所、広畑製鉄所(兵庫県)の計6箇所のミルが製造にかかわっている。

製造設備としては、電子ビーム式溶解炉(以後、EB溶解炉と記す)を保有し、分塊圧延、鍛造、コイルの熱間圧延(以後、熱延と記す)、冷延、厚板圧延、さらには溶接管の造管ライン、棒線材圧延といったチタン製品のほぼ全ての品種の製造を手がけており、インゴットから様々な製品形状の製造を行う世界でトップクラスの一貫製造メーカー

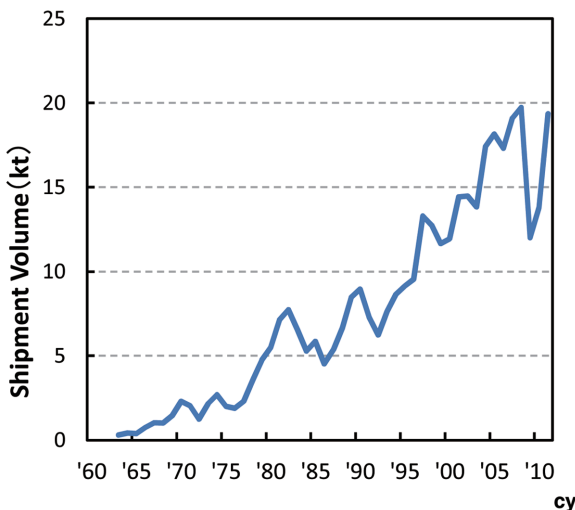


図1 国内展伸材出荷量

Temporal changes in the volume of domestic shipments of titanium products

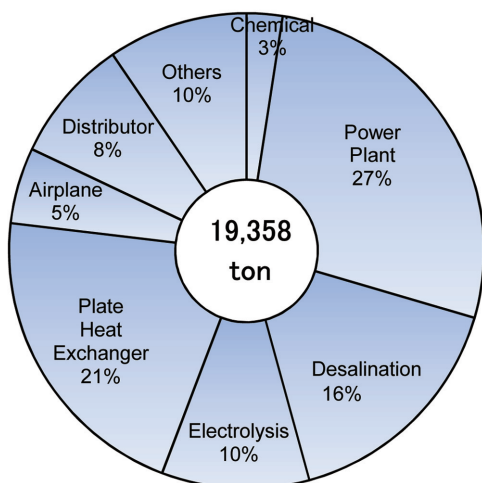


図2 2011年需要分野別の国内出荷比率
Domestic shipment of each products in 2011

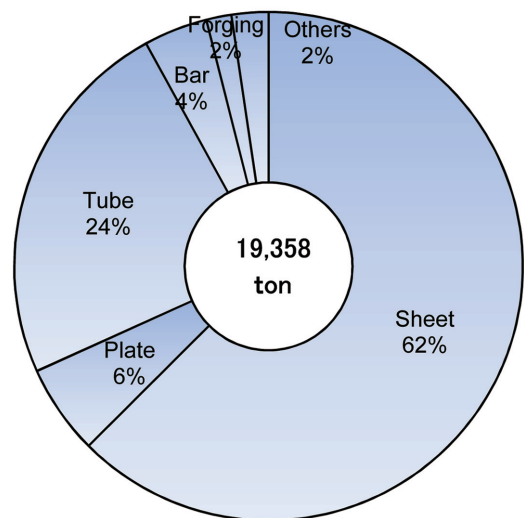


図3 2011年製品形状別国内出荷比率
Domestic shipment of each applications in 2011

である。

4.2 素材

チタンは、地球上で4番目に多い金属元素とされている。チタン鉱石を還元した金属チタンであるスポンジチタンは、国内では東邦チタニウム(株)および(株)大阪チタニウムテクノロジーズの2社が製造しており、それを消耗電極式真空溶解炉(以後、VARと記す)やEB溶解炉にて、インゴットを製造している。この2社のインゴットの品質は世界のトップクラスであり、新日鐵住金(株)は主にこの2社よりインゴットおよびスポンジチタンを購入している。

一方、自社で発生するスクラップの活用を主な目的として、2012年に直江津製造所に新型のEB溶解炉を新設し、稼働を開始した。これまでVARでは、構造上、溶解が困難だった塊状のチタンスクラップも直接溶解することが可能で、スクラップの利用対象を拡大することができる。これには新日鐵住金(株)の溶解、精錬、凝固に関する技術と経験、特に数値シミュレーションによる熱流体解析技術が活用されている。

4.3 薄板製品

薄板の生産工程を図4に示す。スラブは名古屋製鉄所での分塊圧延と直江津製造所での鍛造工程の両方で製造しており、その後、広畑製鉄所にて熱延コイルを製造し、熱延コイルからの冷延、焼鈍、精整は、直江津製造所と光製造部の2箇所で行っている。直江津製造所での鍛造スラブは、加工シミュレーションを活用しつつ、現場での長年の経験をもとにした鍛造パススケジュール等にて高い歩留を達成している。一方、名古屋製鉄所での分塊圧延では、20トンの大型インゴットでも1ヒートにて250mm厚のスラブを高効率に仕上げている。

その後、広畑製鉄所にて熱延薄板コイルを製造している。この熱延ミルはコンパクトなミルながら垂直ロールでの幅方向の圧延スタンド(VRM)や、仕上げスタンドにはペアクロスロールを採用しており、熱延コイルで生じる幅方向の板厚偏差(クラウン)を抑制するこれら技術をチタンにも適用し、熱延および冷延製品での幅精度および板厚精度を向上させている。直江津製造所および光製造部において、熱延コイルが脱スケール、冷延、焼鈍等の工程を経て、薄板として出荷されている。

純チタンは優れた耐食性により、熱交換器等に使用されており、より薄くより幅広い冷延製品が求められ、板厚は0.3mmまで、幅は1524mmまで製造可能である。板厚と幅との関係を図5に示す。純チタンのJIS1種(ASTM Gr.1)や2種(ASTM Gr.2)においては、板厚0.3mmで幅1219mm、また板厚0.6mmで幅1524mmの冷延コイルまで製造可能であり、世界トップクラスの広い製造可能範囲を有する。現在、さらにこれを拡大するために実機試作中である。

直江津製造所では、さらに板厚の薄いチタン箔も製造でき、JIS1種相当材では板厚20 μ mの箔まで製造可能であり、板厚0.1mmでは幅630mmまで製造可能である(図6)。いずれのミルともISO9001および航空機認証のJISQ9100、さらに工程認証であるNadcap(国際航空宇宙産業界の特殊工程認証プログラム)も取得しており、特に直江津製造所では、優れた品質および品質管理体制が認められ、2.項で述べたように航空機メーカーの認証を取得し該社で使用する多くの純チタン冷延コイルを製造出荷している。

薄板工程での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延製品の表面疵低減対策において特に熱延疵低減対策に関して重点的に技術開発してきた。具体的には、熱延疵の発生メカニズムを金属学的に探究し、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、熱延条件等の疵発生に及ぼす影響を明確化した。さらに、スラブ製造工程の鍛造、或いは分塊圧延の省略技術を東邦チタニウム(株)とともに開発し、世界に先駆けて、EB溶解炉にて直接熱延可能なスラブ(DCスラブ™)の casting、これを直接熱延し、その後冷延、焼鈍等を行った冷延コイルの商業生産に成功した。

純チタン薄板の最大の用途であるPHEについては、プレス成形性が重要であり、そのための成分設計、さらに冷延および焼鈍などの品質管理により、顧客が満足する強度、成形性で且つ材質ばらつきの小さい薄板を造り込んでいる。

また、長年に亘り開拓してきた屋根および外壁の建材向けチタン薄板については、表面の意匠性が重要であり、設計デザイナーの趣向に応えられる様々な表面仕上げメニューを開発している。代表的な表面仕上げとしては、スキンプラスの圧延ロールをショットブラストで凹凸を施して、それで圧延することによってチタン表面に凹凸をプリント

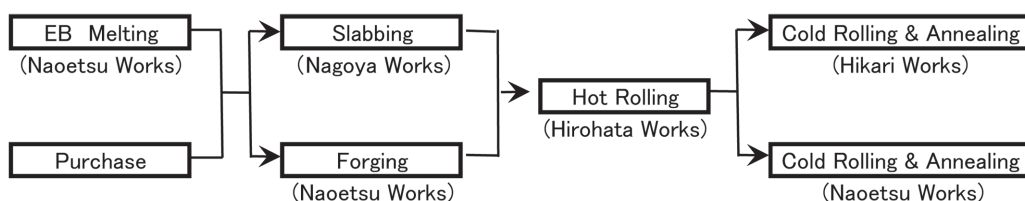


図4 薄板の生産工程
Manufacturing processes of sheet products

させてダル仕上げとしたものや、アルミナブラスト材および陽極酸化による発色材なども開発している。

1990年代の後半に、屋根および外壁に使用されたチタン材の表面色調が経年変化する問題が顕在化した。この問題について、世界に先駆けて、原因の解明と防止対策を確立し、その技術を織り込んだ変色し難いチタン薄板を市場に提供している。なお、この技術に関しては、本誌“耐変色性に優れた建材用チタン板の開発とその適用例”に詳細が記されている。これらの結果、この分野において新日鐵住金(株)のチタン材は極めて高い市場シェアを占め、これま

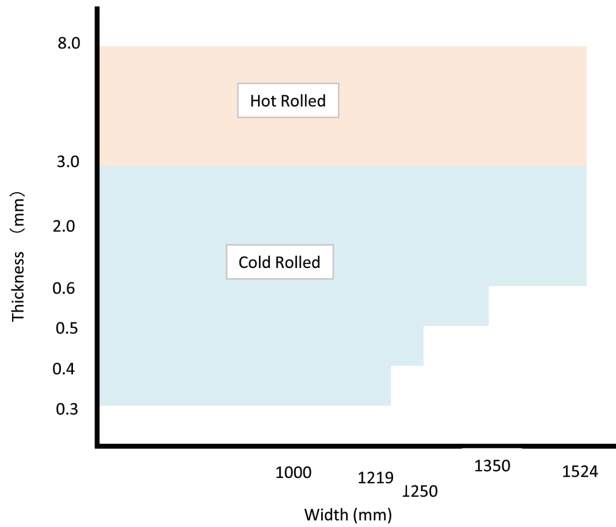


図5 熱延および冷延板の製造可能範囲 (JIS 1, 2種)
Available size of sheet (hot and cold rolled products) JIS Class 1&2 CP titanium

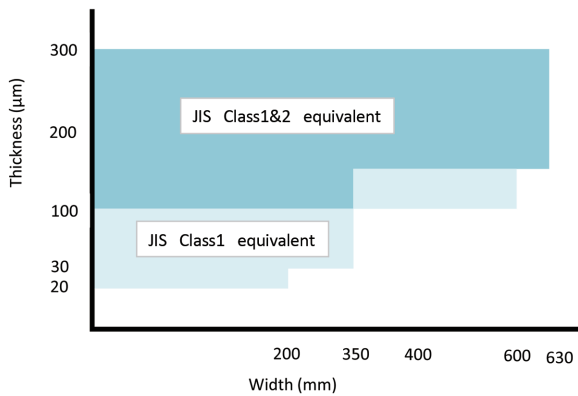


図6 箔の製造可能範囲
Available size of thin foil (JIS Class 1&2 CP titanium)

でに累計約 570 件の物件を受注し約 1700 トンのチタン薄板を出荷している。

また新日鐵住金(株)が独自に開発した合金として Super-TIX® シリーズを取り揃えている。これらの合金については、本誌“新日鐵住金(株)の独自チタン合金”に詳細技術が示されているので、参照いただきたい。その中、Super-TIX®51AF (Ti-5Al-1Fe) は、高強度の $\alpha + \beta$ 型チタン合金としてはあまり例のないコイル化に成功し、それがゴルフクラブに採用され多くのゴルファーに愛用されている。また、Super-TIX®800 の冷延薄板は、700 ~ 800MPa の強度を有しており、それが防刃材に採用されている。さらに、二輪、四輪にも、軽量化・燃費向上のため、またチタンの意匠性が好まれて、排気系部材にチタンが採用されており、Super-TIX® シリーズの Super-TIX®10CU (Ti-1.0Cu) および Super-TIX®10CUNB (Ti-1.0Cu-0.5Nb) が二輪車、四輪車用マフラー材等に適用されている。

4.4 厚板製品

厚板向けスラブについても薄板と同様に、直江津製造所ではインゴットを鍛造し、名古屋製鉄所ではインゴットを分塊圧延してスラブを製造し、その後の厚板圧延に供している (図7)。直江津製造所で製造したスラブは、主に直江津製造所で厚板圧延しており、名古屋製鉄所で分塊圧延したスラブは主にNSSC 八幡厚板工場で厚板圧延している。

直江津製造所の厚板圧延機はコンパクトであり且つ加熱炉以外に均熱炉も併設されており、圧延途中での再加熱が比較的容易で、Ti-6Al-4V および硬質の純チタン (JIS 4種) の厚板も製造している。

一方、NSSC 八幡厚板工場の厚板圧延機は製造可能範囲が広く (図8) 品質的にも世界的にトップクラスであり、さらにチタン専用として、高い平坦度を確保するため焼鈍と熱間での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: 写真1) を導入している。その高い形状矯正能力はユーザーからも高い評価を得ている。

IT 機器用のプリント基板に用いられる電着銅箔製造用ドラム向けのチタン厚板は市場の高い評価を得ている。電着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。そのため、チタン製ドラムの金

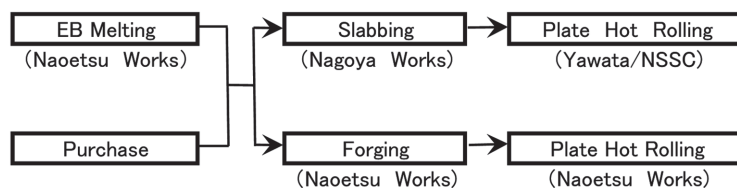


図7 厚板の生産工程
Manufacturing processes of plate products

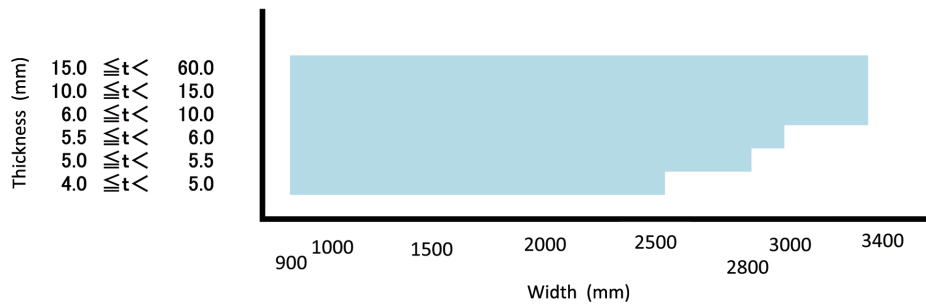


図8 厚板 (JIS 2種) の製造可能範囲
Available size of plate (JIS Class 2 CP titanium)



写真1 真空クリープ矯正装置
Vacuum creep flattener (VCF)

属組織が均質であることを要求される。このような要求特性を満足するため、インゴットの造り込みをはじめスラブ製造以降の各製造工程にて均質になるように工程設計を行い、極めて均質性の高い組織を有するチタン厚板の製造技術を確立している。

4.5 溶接管

チタン溶接管には、化学プラント等での比較的外径の大きい配管用と外径 25mm 程度の薄肉溶接管があるが、チタンは優れた耐食性の点から、海水を使用する発電所復水器等の熱交換器に薄肉溶接管が大量に用いられている。光製造部に薄肉溶接管の造管ラインを有しており、高い品質を要求される原子力発電所の復水器をはじめとする各種熱交換器用薄肉溶接管 (外径 12.7 ~ 38.1mm) を製造出荷している。

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の向上を図ってきた。チタンは、ヤング率が低くスプリングバックが大きい。従って、造管速度を上げると、溶接部の溶融プールが未凝固の状態での円周方向の張力がかかり、溶接部のビード割れなどの品質不良発生の可能性がある。また、溶接部は研磨等の手入れをせず溶接ままの状態での出荷するので、滑らかな溶接部形状を得るためには、前述の凝固と造管速度等との関係のほか、酸化防止のため

に使用しているアルゴンガスシールドの圧力制御も必要である。

さらに、造管ロールは溶接管に沿ったロールカリバーの形状であり、ロール部位によってロール周速と溶接管との速度差が生じるため、部分的に溶接管とロールが擦れて表面疵が発生したり、或いはロールが摩耗する。従って、ロールカリバー形状やロール材質が重要である。光製造部の造管ミルは、それら様々な要因を適正化、或いは制御し、生産性が高く且つ高品質の溶接管を安定的に製造しており、国内外の原子力発電所および火力発電所の復水器をはじめとして各種熱交換器に使用されている。さらなる品質向上、安定化のために、自動外径測定器の設置および突き合わせ溶接状況の自動監視技術などを開発中である。

4.6 線材

旧新日鐵では、インゴットを外部委託にて鍛造した後、君津製鉄所の条鋼圧延ミルにて線材圧延に供するビレットを製造していた。2012年の統合によって製鋼所での鍛造が可能となり、インゴットから鍛造にて、線材圧延に供するビレットを製造するべく製鋼所への移管を進めている (図9)。このビレットから光製造部の鉄鋼設備である高速圧延機でチタン線材を製造しており、圧延技術の向上と相俟って低コスト化を図ってきている。製造可能範囲は外径 6mm ~ 15.5mm で、表面仕上げとしては、特殊皮剥きのスーパーフィニッシュ仕上げや酸洗仕上げなどのメニューを有し、様々な顧客ニーズに対応している。線材の用途は、眼鏡用が中心で、純チタン以外に Ti-3Al-2.5V を製造している。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 も眼鏡のリムに使用されており、その素材として同合金線材も光製造部にて製造している。



図9 線材の生産工程
Manufacturing processes of titanium wire

4.7 ビレット，棒製品

大阪のユニバーサルスタジオジャパンに隣接する製鋼所は、1901年の旧住金の発祥の地であり、主に車両の車輪、車軸等を製造している。製鋼所では、3000トンプレス(写真2)のほか、高速鍛造機、さらに孔型圧延機を有しており、純チタンおよびチタン合金の丸棒、ビレット(～外径350mm)もそれら設備を用いて製造している(図10)。そこでは、航空機向けチタン合金の製造を手掛けており、極めて高い品質が要求されるエンジン回転部材向けのPremium GradeTi-6Al-4Vビレットについて航空機エンジ

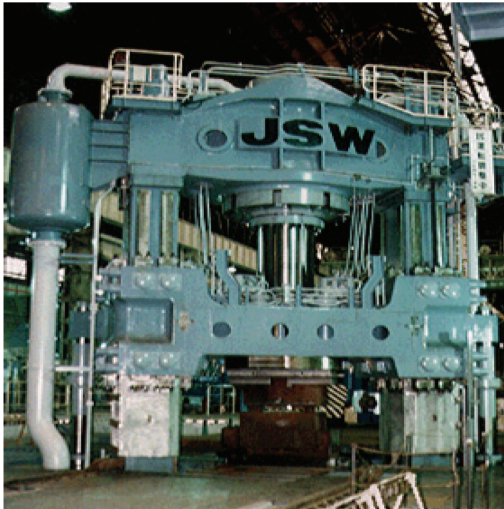


写真2 製鋼所の鍛造機
Forging machine in Osaka Steel Works

ンメーカーからの認証も取得している。出荷されたビレット等は客先にてエンジンのブレードなどに加工される。航空機向けチタン合金に関しては、本誌“航空機用チタンの適用状況と今後の課題”に詳報されているので参照いただきたい。

また、上記のほか、自動車(二輪、四輪)エンジンパーツ材(エンジンバルブ、コンロッド他)向け、ゴルフクラブフェース向け等にSuper-TIX[®]523AFM(Ti-5Al-2Fe-3Mo)およびSuper-TIX[®]51AF(Ti-5Al-1Fe)等の丸棒製品を製造している。このSuper-TIX[®]523AFMについては、本誌“高強度チタン合金Super-TIX[®]523AFMの機械的特性に及ぼす熱処理条件の影響”を参照いただきたい。

5. 結 言

新生、新日鐵住金(株)のチタンは、溶解から最終製品まで、また、板、管、線、棒などあらゆる品種を手掛け、さらに旧両社の強みを活かして、それらを有機的に融合させ、一般産業用の純チタンのみならず、最高級品質が要求される航空機分野においても、その技術力をもって高い品質と低コスト化を指向していく世界のトップランナーとして、需要家の期待に応えるべく今後も邁進していく。

なお、ここで記した新日鐵住金(株)開発の独自合金、建材用チタン材および航空機向けチタン合金については、本誌の技術論文にて詳細技術が記されているので、そちらも参照いただきたい。

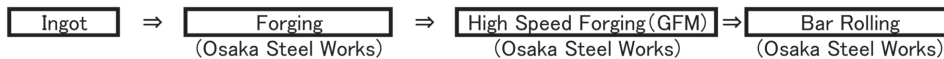


図10 ビレットの生産工程
Manufacturing processes of titanium billet



木村 欽一 kinichi KIMURA
チタン・特殊ステンレス事業部
チタン技術部 チタン技術・管理室長
東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071



片山俊則 Toshinori KATAYAMA
チタン・特殊ステンレス事業部
チタン技術部長