

## チタン材に関する最近の技術動向

水 永 正 雄

## 1. はじめに

チタンは「夢の金属」と言われて久しいが、これは①軽い(比重は4.51)、②強い、③海水に対する耐食性が抜群等、金属素材として優れているところからくるものである。

また、その用途分野は当初は航空機用素材として急速に発展し、現在では化学工業分野、建材分野等の一般産業用途に加えて一般消費材分野まで幅広く使用されるに至っている。

その一つの例として、本年米国において開催された自転車の展示会ではチタンの“ハーフアロイ製”が多数展示されていたように自転車はもち論のこと、ゴルフクラブのヘッド、メガネフレーム等一般消費材分野でも利用技術の発展に伴い様々な製品に利用されるようになってきている。

一般的にチタンと呼ばれるものの中には、「スポンジチタン」、「酸化チタン」、「展伸材」がありそれぞれ使用分野が異なっているが、ここでは「展伸材」について紹介したい。

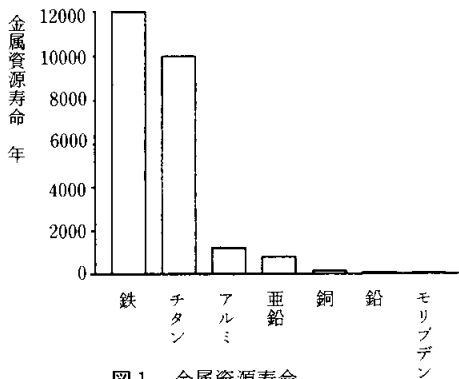


図1 金属資源寿命

## 2. チタンの製造

チタンの原料は、「ルチル鉱石」または「イルメナイト鉱石」であり、我が国は主にオーストラリアから輸入している。その資源としての地殻中の存在度は酸素、シリコン、アルミ、鉄等に次いで第10位(宇宙における存在度は水素、ヘリウム等に次いで第21位)と豊富である(図1)。

その製造工程は、「鉱石」を塩素ガスで塩化し「四塩化チタン」とし、蒸留を行い、更にマグネシウムまたはナトリウムで還元して金属である「スポンジチタン」とする。

展伸材は、このスポンジチタン(形状はヘチマを乾燥した状態のイメージ)を破碎し、加圧成型して「電極」を作り、真空中で溶解して丸型の「チタンインゴット」とし、更に鍛造・圧延等の工程を経て「厚板」、「薄板」、「溶接管」等を始めとして鉄のできるすべての形状が製造される。

インゴット以降の工程は、極く一部を除いて通常の鉄鋼製造設備、ステンレス製造設備が使用される。

・塩化工程  $TiO_2 + C + Cl_2 \rightarrow TiCl_4 + CO_2$

・還元工程  $TiCl_4$  (気体) +  $Mg$  (液体)

$\rightarrow Ti$  (固体) +  $MgCl_2$  (液体)

## 3. チタンの特性

チタンは軽くて強く、耐食性に富むが、以下に代表的な種類の特性を紹介する。

純チタンは鉄、クロムモリブデン、ステンレスに比べ、比重は60%、ヤング率は約50%であり、(表1)この辺が

表1 物理定数

	純チタン	合金チタン	クロムチタン
比重	4.51	4.48	7.85
溶融点	1,668°C	1,700°C	1,580°C
ヤング率	10,850	10,500	21,000

表2 化学成分

		H	O	N	Fe	C	Al	V	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
JIS 2種	#1	≦0.013	≦0.20	≦0.05	≦0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3種	#1	≦0.013	≦0.30	≦0.07	≦0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ASTM Gr-4	#1	≦0.015	≦0.40	≦0.05	≦0.50	≦0.10	-	-	-	-	-	-	-	-
Gr 5	#2	≦0.015	≦0.20	≦0.05	≦0.40	≦0.10	5.5~6.75	3.5~4.5	-	-	-	-	-	-
Gr 9	#3	≦0.015	≦0.15	≦0.05	≦0.25	≦0.18	2.5~3.5	2.0~3.0	-	-	-	-	-	-
JIS SCM430	#4	-	-	-	-	0.28~0.33	-	-	0.15~0.35	0.60~0.85	≦0.03	≦0.030	0.90~1.20	0.15~0.30

(単位: %)

#1: 純チタン、#2: 合金チタン(俗称ロコロン 64)、#3: 合金チタン(俗称ハーフアロイ)、#4: クロムモリブデン鋼

自転車に使用された場合「軽い」、「ペダルに入れた力が後輪にスムーズに伝わる」等の評価を得ているゆえんである。ただし、プロ等が使用するような特殊な自転車は、ペダルに入れる力が更に大きいことから、Gr-4、合金等の種類を選定する必要がある。(表2、3)また、使用後に洗車のまま放置しておいても、発錆の心配はまったくない。(図2)

4. チタンの生産量及び用途

上記のように生産量としては、ステンレスの約400分の1程度で金属としては少ない部類であるが、'90年は史上最高の生産量となった。これは、電力向けの溶接管が大幅に増大したためである。(表4、5)

今後の見通しとして、年率3%程度の伸びが見込まれるが、直近では中近東向けの海水淡水化のプロジェクトにチタン採用をPRしており、成功すればばく大な需要量が想定される。

電力：発電所の復水器用が主な用途で、溶接管・厚板が使用される。

化学：化学プラントのタンク、反応塔、配管が主な用途で、各種の板・パイプ等が使用される。

電極・熱交換器用及び各種の電解用電極が主で薄板が使用

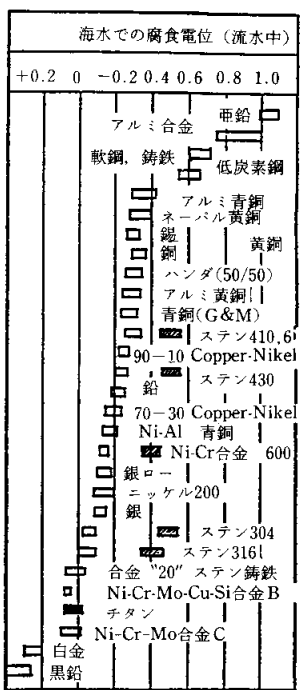


図2 耐食性

される。  
航空機：エンジン部品、配管、ダクト等多くの部分に使用されているが、部品が多数あるため、使用素材も鍛造品・厚板・パイプ等各種ある。

販売業者：在庫販売を行っている業者で棒・板等各種の形状のものを保有している。

その他：建材用、土木用、一般消費材用等であるが、量的には建材、土木の伸びが著しい。

5. 最近の技術動向

最近の技術動向を見ると、①チタンの製造コストを下げるためのもの、②チタンの性能向上を目指すもの、例えば自動車部門、自転車部門での重要なファクタである対摩耗性向上、耐熱性向上を主眼とするもの、上記とも関連するが③低コストを目指すニアネットシェイプを目指すもの等々盛んな開発が進められている。

その中で主なものをピックアップすると――

(1)精錬法

チタンのトン当たり価格が高いのは製造がバッチ式であることから生産性、エネルギー効率が低いこと(図3)、電力原単位が高いこと(図4)、圧延工程でのt/Hrが低いこと等があるが、これらを抜本的に改善する必要がある。

現在、我が国に於ける精錬法は「クロール法」が一般的で、この方法はルクセンブルグのクロール氏によって開発されたもので、前述の還元工程に於いて800~900℃の四塩化チタン(気体)にマグネシウム(液体)を加えて反応させ、固体のスポンジチタンを得るものであるが、前述のようにバッチ式であり、消費エネルギーも膨大なこ

表3 機械的性質

		T. S. (MPa)	Y. S. (MPa)	EI (%)	
JIS 2種	#1	343~510	≥216	≥23	
	3種	481~618	≥343	≥18	
ASTM Gr-4	#1	≥550	485~655	≥15	
	Gr-5	#2	≥895	≥830	≥10
	Gr-9	#3	≥620	≥485	≥15
JIS SCM 430	#4	≥834	≥686	≥18 #5	

#1: 純チタン、#2: 合金チタン(俗称: 073N 6-4)、  
#3: 合金チタン(俗称: ハ-7704)、#4: 加工硬化鋼  
#5: 焼鈍後の値

表4 チタンの生産量

(単位: トン)

	'85	'86	'87	'88	'89	'90
全国出荷量	5,860	4,519	5,371	6,645	8,469	8,964
内国内向	2,767	1,901	2,749	3,153	3,814	4,131

表5 国内向出荷用途別比率 (%)

	'85	'86	'87	'88	'89	'90
電力	32.4	23.4	32.9	17.8	16	33.2
化学	22.7	27.1	18.6	28.2	32	22.6
電極・熱交	19.1	15.9	11.3	12.8	17	13.0
航空機	5.6	9.3	6.6	8.8	4	5.5
販売業者	3.7	9.5	9.3	12.5	14	11.0
その他	16.5	14.8	21.3	19.9	15	14.7

とから、これを連続式にすべく電解法等が検討されている。電解液としてはハロゲン化物が望ましく、四塩化チタンを還元するのに効果的で、チタンは陰極に析出し塩素が陽極に析出する。

最近では東京大学生産技術研究所にてアルゴン雰囲気中で酸化チタンを溶融し、アルミ及びフッ化カルシウムを加え、チタンを製造する方法が発表され注目を浴びている。

### (2)溶解工程

現在は、還元工程で得られたスポンジチタンをブリケットに加工し、溶接接合を行って陰極とし、真空の水冷銅ルツボ内に吊り下げてアークを発生し、陰極が溶け落ちてルツボ内で凝固し円筒形のインゴットとなるものである(消費電極式アーク溶解が、不純物や空洞のないインゴットを作るために2回溶解を行うのが一般的である)。

最近では15トンもの大型インゴットが登場し、生産性が一段と向上している。これは陰極製造方法の関係からスクラップ使用に制限があるが、スクラップを原料に使える方法としてEB炉(Electron Beam Hearth)やPA炉(Plasma Arc Melting)法がある。

我が国に於いてチタン消費量が着実に伸びている現在、スクラップのリサイクルを行い、少しでも廉価なチタンを製造すべくこれらの方法の実用化が期待されている。

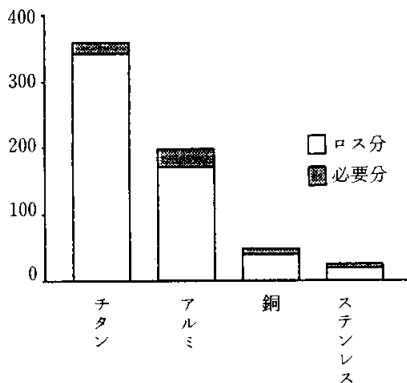


図3 エネルギー効率

### (3)利用加工技術

一般的にチタンの機械加工は難加工で、切削等は留意が必要であり、特に合金の冷間での加工が困難な場合が多い。そこで、最近注目されている加工法に粉末成型、精密鑄造等がある。

粉末成型は予め原料を粉末にし、「型」に充填、CIP(Cold Isostatic Press:冷間静水圧プレス:約4000気圧)後焼結し、HIP(Hot Isostatic Press:約1000気圧)にて密度を上げ、組織の微粒化を行って精密加工品(Near Net Shape)を作る方法である。

この方法は、純チタン粉末に母合金粉末を簡単にブレンドできることから、特に合金の精密加工品の製造の場合有利となる。また、疲労強度についても、圧延品、鍛造品とほぼ同等である。

精密鑄造としてはロストワックス法が注目されているが、これは「ロウ」で模型を作りその外側に鑄型用材料を充填した後加熱して「ロウ」を溶かして鑄型を作る方法であり、繊細なものの製造に適している。また、チタンは溶融時の湯流れが鉄等に比べて悪いので遠心鑄造法が有用である。この方法は、鑄型を回転させ溶けたチタンを注ぎ込む方法で、複雑な形状でも製造可能である。この技術が一段と向上したことによりクラブヘッド等の実用化が可能となった。

また、耐磨耗性を向上させる方法としての表面処理の開発も進んでいる。チタンに応用されている方法はイオンプレーティング、溶射、窒化等が一般的で、イオンプレーティングとしては窒素ガス中で処理し、窒化チタンとしてコーティングするのが一般的であり、表面硬度はHv1000以上を確保できるが、処理に時間がかかるのが難点である。

最近注目されている方法として肉盛りがあるが、これは硬度の高い金属粉を対象物に肉盛りする方法で、下地

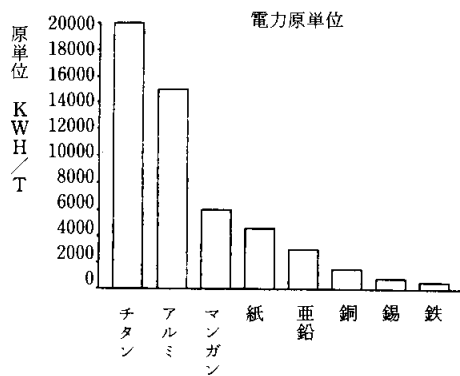


図4 電力原単位

にNiをおくことによって強い表面が得られている。

溶射は窒化チタンを予め溶かしておき、対象物に吹きつけ後焼鈍することにより、ある範囲で硬さを選べるといった利点があるが、精密仕上げの物にはあまり向いていない。

上記とはまったく異なるが、チタン表面の酸化膜厚みを変化させ、光の干渉色を利用した「発色」も実用化され、建材部門を始めとして民生品等に大きく利用されている。チタンの表面はにぶい銀灰色で落ち着いた色調を持っているが、発色することによって一味違う色調となり、ファッション性を一層高めることができる。この処理方法による装飾品等への適用も多くなりつつある。

#### (4)素材の動向

チタンの特性を更に向上させたり欠点を補うために日夜研究開発が行われているが、中でも最近特に目立つものとして、超塑性材、耐熱性の向上材、対摩耗性向上材等がある。

超塑性材とは、通常金属の伸びのレベルである10%のオーダーを大きく超え、数100%以上の伸びのレベルを持つもので、チタンに於いて600~900℃で1000%も伸びるものが開発されている。すべて合金となるが、添加する金属と率により温度と伸びの関係は異なっており、航空機部門で非常に注目されている材料である。

ジェットエンジン、自動車エンジン部品として需要を拡大するためには耐熱性の向上が必須であるが、現在の合金は長時間使用の場合400℃前後までであり、(高温クリープ強度)これを500℃以上にも耐えられるように開発が盛んである。ただし、当該用途向の素材に要求される特性は複雑で、単にクリープ強度を上げて引張強度が下がっては使えず、各特性を損なわずに耐熱性を向上させる点が開発の困難な点である。

一方、複合素材としてのクラッドについては、従来より爆着法が完成されているが、これは母材(鉄、ステンレス等)の上にチタンをのせ、その上に爆薬を乗せて起爆させ、そのエネルギーによって圧着するもので完成された技術であるが、最近爆着品ほどの接合強度を必要としない分野にはロール法によるクラッドが登場した。この方法により、例えば橋脚等の土木部門へのチタン利用が大幅に増加するものと期待される。

#### 6. おわりに

以上チタン産業の現状と最近の動向について紹介したが、「夢の金属」と言われているゆえんは前述した通りであるが、更なる耐食性、強度、加工性の向上及び廉価への可能性を持った金属であると言う意味も含んでいると言うことができる。

マウンテンバイクの爆発的なブームに象徴されるように世の中は“ゆとり”、“豊かさ”を求めて急速に変化し、そのニーズも多様化している現在、チタンについてもより一層の飛躍に向かって努力がなされていると言える。一方、従来は加工メーカーでの利用技術であるチタン溶接、ろう付等に於いてもその技術の進歩は急速でありまた、底辺も広がってきている。

また、“ミネルバ”(MINERVA:ローマ神話の女神にちなんでMetal Industry Engineering Research Vitalization Activity)と称して官民一体となって技術開発が検討されているが、その中で低コスト化を実現する連続精錬法、新溶解法の開発、高機能材の開発、スクラップリサイクルの開発が示唆されている。

以上のような動きを十分に認識した上で、素材面からだけでなく、利用技術面からも更なるチタンの需要拡大について発展を期待したい。

(筆者は、新日本製鐵㈱ チタン部 部長代理)