

高強度低合金チタン「KS100」,「KS120」

武村 厚

鉄鋼カンパニー・チタン技術部

High-strength Low-alloy Titanium 「KS100」 and 「KS120」

Atsushi Takemura

Titanium and titanium alloys are becoming indispensable for the manufacture of watches, sporting goods and many other consumer products. However, there are problems to be solved with regards to fineness and productivity. Kobe Steel and Citizen Watch have developed two new titanium alloys: KS100 and KS120. These alloys are characterized by high tensile strength (KS100: 700~760MPa, KS120: 830~890MPa) and superior surface finish with a minimal loss in workability. This excellent combination of properties was achieved with addition of a small amount of oxygen, iron and silicon (KS100: Ti-0.35O-0.35Fe, KS120: Ti-0.30O-0.50Fe-0.60Si)

まえがき = チタンおよびチタン合金は時計, 眼鏡などの装身具, ゴルフクラブなどのスポーツ用品に代表される民生品には欠かせない素材となりつつある¹⁾。しかし表面仕上げの品質や加工性の改善が課題であった。

KS100 および KS120 は美しさと強さを兼ね備えるチタン製品を目標としてシチズン時計株式会社と当社とで共同開発したチタン合金である^{2~5)}。本開発合金は酸素, 鉄およびシリコンの低合金組成により, 加工性を犠牲にすることなく高強度と美しい仕上げを実現したものである。

現在, 「ファインチタン」の名称で腕時計のケースとバンドに使用されているほか, 美しさを求められるゴルフクラブヘッド, ボトルにも採用されている。またソムリエナイフあるいはスプーン, フォークなどのカトラリ類の試作も進められている⁶⁾。

さらに, 従来の純チタンでは強度・硬さが不足し, また, チタン合金では加工性やコストに難点があるということで, チタン採用に踏みきれなかった製品にも本合金の適用が検討されており, そのほか各種の工業用機器類への適用も検討されている。本稿では KS100 および KS120 の材料開発と用途展開について紹介する。

1. 開発の背景

チタンの採用理由は時代・流行を反映し様々に変化しており, それにともなって使用されるチタンの材質や要求特性も変化してきた。その例としてシチズン時計株式

会社における時計の開発思想と時計ケースにもちいるチタンの変遷を第 1 図に示す。

チタンの導入の初期 (1980 ~) では航空宇宙素材のハイテクイメージ, 高比強度および耐食性の特性が採用の理由であった。次に生体適合性と非アレルギー性が注目されるようになり (1990 ~), さらにミラー仕上げやヘアライン仕上げといった装飾性も重視されるに至っている (1995 ~)⁷⁾。

現在, 時計素材に要求される特性は美しい表面仕上げ, 生体適合性, 耐疵性 (疵つき難さ), 鍛造性, 成形性, 通常の使用条件に耐える機械的性質などきわめて多様である⁷⁾。最近では素材が人体に及ぼす影響に対して関心が高まり, 身の回りにどのような材料が使用されているかが重視される中で改めてチタンへの期待は増している。

チタン製腕時計はすでに 2~3 百万個が世界の市場に出荷され, ウォームグレーのいわゆるチタンカラーの製品が定着しているが, 最近になってメタリックな仕上げ (鏡面, ヘアラインなど) も求められるようになってきた。しかし従来の純チタンではメタリックな仕上げを施した場合, 日常生活での使用中に疵がつかず, 装身具としての美しさが失われただけの耐疵性や堅牢性が不足していた。

いっぽう, 従来のチタン合金は多量の合金元素を添加し固溶強化および熱処理強化をはかっているが, 合金元素には加工性を劣化させる場合があるほか生体に与える

Year	1972 ~	1980 ~	1990 ~ 1994	1995 ~
Generation				
Material		CP-Ti	Ti-Alloy	Fine-Ti (KS 100)
Technology	(Trial & Error)	• Glass Multi-coating • Hot Forming	Ionplating	• Solar Cell • One Piece Case
Theme		Light Weight & Corrosion-resistance	Bio Compatibility	Beauty & Toughness Ecology

第 1 図 時計外装とチタンの変遷 (シチズン時計株式会社)

Fig. 1 Evolution of watch technology and titanium (Citizen Watch Co., Ltd.)

影響が懸念されるものもある。そのため生体適合性、精密加工性および強度・硬さを同時に満足できるような材料設計が求められていた。

2. 合金設計

開発合金の強度レベルは、時計用途に代表される疵に対する抵抗力と加工性という相反する要求に対応するため、引張強さ（TS）でおよそ800MPa程度（硬さでHV250前後）を想定した。また時計の美しい表面仕上げをえるうえで、硬さのほか熱間における各種の処理後においても結晶粒が約10μm以下に保たれることが求められた。

高い変形能をえるには粒界相や粗大粒など高温破壊の原因になる組織の生成を防止する必要がある。そのため粒界相を生じやすいTi-6Al-4Vのようなα系は候補から除外した。β系は合金添加量が多く熱間変形抵抗が大きくなるほか高い原料コストも難点である。

以上のように加工性とコストの点から合金添加量はできるだけ抑制し、かつ、組織はα系とすることが適当であると判断された。しかし単相組織は結晶粒が粗大化し易い欠点があるためこれを抑制する最小限の第2相を分散させることとした。

添加元素の選択に際しては皮膚に長時間接触する時計用であることを第一に考慮した。近年、素材が健康に及ぼす影響に対して関心が高まっており、生体適合性はきわめて重要な合金設計の要素になりつつある。皮膚障害の約3割が金属アレルギーとされており、ニッケル、コバルト、クロムなどのほかパラジウム、白金、金さえも障害を引き起こすと報告されている³⁾。また従来のチタン合金に一般的に使用されている元素にも有害性が指摘されている元素（バナジウムなど）があるほか、アルミニウムのように安全性について再検討され始めている元素もある。本合金の開発目標から、これらの生体適合性に問題がある元素は無論のこと疑わしいとされる元素も添加元素として使用しない方針とした。

以上のような観点から酸素をα相の主要な固溶強化元素とするとともに、α相への固溶量の少ない鉄およびシリコンの添加により微小なβ相を効率的に形成し分散相とした。なお鉄、シリコンは合金添加原料として安価な

製鋼用フェロシリコンが使用できる利点がある。

3. 開発合金の特性

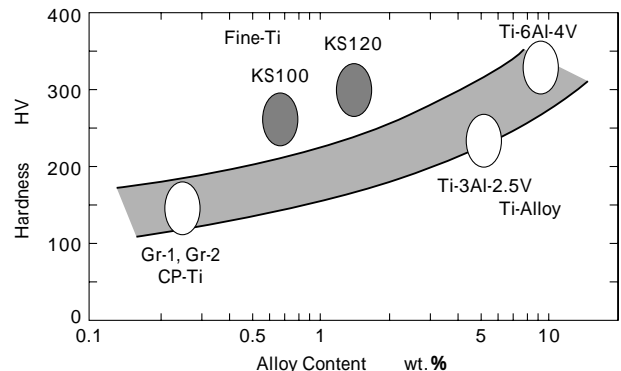
KS100, KS120の主要な組成および物性を第1表に示す。合金添加量が少ないため比重は純チタンと差がない。

安定化元素の酸素の効果により変態温度は950および930と比較的高く、熱間加工あるいは熱処理などの加熱時の組織変化や粗大化は変態温度の低い純チタン(880)や合金(750~800)よりも抑制される。高い変態温度と相の分散による粒成長の抑制との相乗効果によって、熱間加工材においても粒径が10μm以下の微細組織がえられた。

第2図に本開発合金と純チタンおよびチタン合金の添加元素量と硬さの関係を示す。KS100の総合金添加量は0.7%、同じくKS120は1.4%と少ないが、合金添加量が約6%のTi-3Al-2.5Vと同等以上の硬さがえられている。さらにKS120は合金添加量が約11%のTi-6Al-4Vに近い硬さである。これは添加している酸素が安定化元素の中でも固溶強化能が大きい元素の一つであり、また鉄およびシリコンも固溶強化能の大きい安定化元素であるためである。

第2表にKS100, KS120の室温における引張り特性を示す。耐力（VS）と引張強さ（TS）はTi-3Al-2.5Vを越えTi-6Al-4Vに近く、硬さも同様の傾向である。延性は従来のチタン合金とくらべて遜色がない。

第3図は本開発合金と純チタンおよびチタン合金の



第2図 合金添加量と硬さの関係

Fig. 2 The Relationship between alloy content and hardness

第1表 KS100, KS120の組成と変態点および密度

Table 1 Chemical composition, transus and density of KS100 and KS120

	Composition wt. %				Transus	Density g/cm ³
	Oxygen	Iron	Silicon	Titanium		
KS100	0.35	0.35	—	Re	950	4.51
KS120	0.30	0.50	0.60	Re	930	4.51

第2表 KS100, KS120の機械的性質

Table 2 Mechanical properties of KS100 and KS120

	Tensile Properties*				Hardness	Young's Modulus
	TS MPa	YS MPa	El. %	RA %		
KS100	700 - 760	580 - 630	20 - 30	35 - 50	230 - 280	105 - 115
KS120	830 - 890	730 - 790	15 - 25	30 - 45	270 - 320	105 - 115
Ti-3Al-2.5V	620	510	15	30	200	95 - 105
Ti-6Al-4V	890	820	10	20	300	110 - 120

* Tensile Properties of Ti-3Al-2.5V and Ti-6Al-4V are ASTM Specification

高温変形抵抗と合金添加量の関係を示している。変形温度は各合金の変態点より50℃低い領域あるいは+領域である。全般に合金添加量の少ないチタン合金ほど変形抵抗は小さい傾向にある。KS100およびKS120は合金添加量が少ないほか、酸素および鉄がチタン中では高温において拡散し易い元素であるため、室温における強度が高いにもかかわらず熱間の変形抵抗は抑制され純チタンに近い。

4. 開発合金の使用例

KS100をケースとバンドに採用した腕時計はステンレス製に対し遜色のない表面仕上げと日常生活環境における耐疵性を示した。写真1はケースとバンドにKS100が採用された腕時計の例である(シチズン時計株式会社提供)。

写真2は加工性と研摩性が評価されゴルフクラブのソールとクラウンに使用された例である(マルマンゴルフ株式会社提供)。

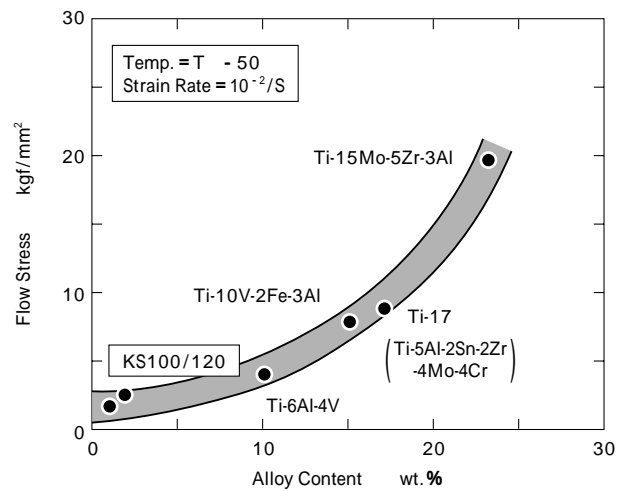
写真3はスキットル(アウトドア用のウイスキーボトル)に採用された例である(三宝産業株式会社提供)。このミラー仕上げのスキットルは従来の純チタン製のプラスト仕上げのものとはまったく異なり、ステンレス製品とくらべても遜色のない外観であるだけでなく、質感が従来のプラスト仕上げのチタン製品や、ミラー仕上げのステンレス製品類とも異なるもので独特の素材感を有している。

写真4はカトラリ(スプーン、フォーク)、鏡面板などの試作品の例である。金属臭がしない、軽く扱い易い、



写真1 KS100をケースおよびバンドに使用した腕時計(シチズン時計株式会社)

Photo 1 Watches with the case and bracelet made from KS100 (Citizen Watch Co., Ltd.)



第3図 合金添加量と高温変形抵抗の関係

Fig. 3 The Relationship between alloy content and hot flow stress

熱容量が小さく冷たさや熱さが緩和される、金属アレルギーの原因であるニッケルがない、などのチタンの特徴はカトラリに適していると考えられる。デザインの面でもチタンは重量が抑制されるためボリュームの大きいものも可能になるなど自由度が増す利点がある。これらの美しい仕上げのチタン製品から受ける新しい素材感の理由として次のことが考えられる^{2)β)}。

従来のミラー仕上げの金属製品に使用されているステンレス・銅などにくらべて軽いほか、熱容量と熱伝導率が小さく接触時の冷たさが緩和されるために感ずる



写真2 KS100をソールおよびクラウンに使用したゴルフクラブ(マルマンゴルフ株式会社)

Photo 2 Golf club heads with the sole and crown made from KS100 (Maruman Golf Co., Ltd.)



写真3 KS100を使用したスキットル(三宝産業株式会社)
Photo 3 Pocket skittle made from KS100 (Sampo Sangyo Co., Ltd.)

暖みがある。

強度はステンレスを上回るためアルミやプラスチックなどの従来の軽量素材の柔さとは異なる剛性感がある。

従来のブラスト仕上げのチタン製品にはないミラー研磨表面の滑らかさと、コーティングされていないチタンの地肌の感触がある。

最近はいしやすさの概念を福祉関連の領域に限定せず一般消費者も視野に入れ、誰もが使い易くという「ユニバーサルデザイン」あるいは「共用品」が提唱されている。その場合はニーズも多様でありデザイン、仕上げなどの美的部分も重要な製品要素である。目的、用途によっては美しさ、装飾性も一つの機能と考えられ、チタンもこれらに対応してより一層の材質、加工技術の改良が求められる。

今後は福祉分野から一般日常の用途までの幅広い必要条件、嗜好に対応できる素材としてのチタンが求められることになり、本開発合金の活用が期待される。さらにKS100およびKS120は、従来の純チタンでは強度、硬さが不足し、チタン合金では加工性やコストに難点があ



写真4 KS100を使用したカトラリーなど各種のミラー仕上げ加工品
Photo 4 Cutlery and other mirror finish products made from KS100

ってチタンを採用できなかった製品にも適したコストパフォーマンスの高い素材として、医療機器、工具、精密機器、自動車などの幅広い用途において適用の可能性が検討されている。

むすび=当社がシチズン時計株式会社と共同開発したKS100およびKS120は、民生用途に重要な特性・加工性に絞り込んだ材料設計により、鏡面やヘアライン仕上げとその保持が可能な装飾性と強度を有し、加工性や生体適合性にも問題の少ない材質を実現した。日常生活に美しさと強さを兼ね備えた新しい素材感のチタン製品を広めるために今後も努力していきたい。

参考文献

- 1) 特集/身近にあるチタン製品:特殊鋼, Vol.47, No.11(1998)
- 2) 串田八郎ほか:日経デザイン, No.8(1996) p.90.
- 3) A. Takemura et al: Proceedings of the 1996 ITA Conference (1997), p. 167.
- 4) 武村 厚:チタン, Vol.45, No.4(1997) p.28.
- 5) 武村 厚: R&D 神戸製鋼所技報, Vol.48, No.1(1998) p.89.
- 6) 武村 厚:チタン, Vol.47, No.3(1999) p.56.
- 7) 串田八郎:チタン, Vol.43, No.2(1995) p.1.
- 8) 山縣英朝生:チタニウム・ジルコニウム, Vol.42, No.2(1994) p.32.