

(技術資料)

熱間鍛造性に優れた高強度 - 型チタン合金 KS EL-F

New - Type Titanium Alloy, KS EL-F, for Forging, Having Mechanical Properties Comparable to Ti-6Al-4V



大山英人* (工博)
Dr. Hideto OYAMA



逸見義男*
Yoshio ITSUMI

Ti-6Al-4V is one of the most popular - type alloys with its well-balanced mechanical properties. However, the alloy's low productivity and high fabrication cost, caused by its relatively poor hot-workability and high flow-stress, prohibit its use in high-volume applications such as automotive parts. To overcome this shortcoming, Kobe Steel has developed a new titanium alloy, KS EL-F, based on a design concept, "quasi-Ti-6Al-4V workable like CP titanium".

まえがき = 高強度な - 型のチタン合金で最も代表的な材料は Ti-6Al-4V である。この合金は各種力学的性質のバランスが優れていることから使用実績が多く、航空機などの既存分野で利用されているチタン合金の 90% 以上を占めるといわれている。また今後は、Ti-6Al-4V は性能上、航空機分野のみならず、軽量化の観点から量産自動車のコンロッドやバルブなどへの適用も期待される。量産自動車などへの適用を想定した場合、いかに高い生産性で素材を製造し、かつ、2 次加工コストも含めた部品としてのトータルコストをどこまで下げられるかが重要な点として上げられる。しかし、Ti-6Al-4V は熱間加工性が必ずしも良好ではない。そのため、ピレット製造段階での歩留り低下はもとより、型打鍛造での鍛造割れや、温度低下に伴う変形抵抗の上昇による塑性流動性の低下で金型に材料が部分的に充填しない欠肉などの問題も生じる。したがって、加熱を複数回に分けて鍛造する場合も少なくなく、部品形状によっては高い生産性と低いトータルコストを実現するには不向きなチタン合金である。また、鍛造部品の素材としては丸棒が主要な製品形態であるが、- 型チタン合金は強度と延性のバランスから等軸組織が望まれる一方、棒圧延は放熱が少ないため、変形抵抗が高い Ti-6Al-4V では加工発熱により変態点を越えてしまう場合がある。そのため、25mm 程度以下の細径の丸棒圧延では純チタンの半分程度まで圧延速度を落とす必要があり、素材の生産性が良くないという問題もある。

このような状況に鑑みて当社では、純チタンのように熱間鍛造が可能で、かつ、力学的性質は Ti-6Al-4V と同等ということ合金設計のコンセプトとして新しい高強度 - 型チタン合金を開発¹⁾、KS EL-F との商品名で上市した。EL-F は Extra Low Flow-stress の頭文字からきて

いる。本稿では、KS EL-F の開発データの一部を報告するとともに、型打鍛造品の試作例を紹介する。

1. KS EL-F の物性と材料学的特徴

表 1 に KS EL-F の物性を Ti-6Al-4V との比較で示す。KS EL-F の公称組成は Ti-4.5Al-4Cr-0.5Fe-0.2C で、常温での構成相は 相と 相に加え、微量の TiC が存在している。変態点は約 970 で、一般的な Ti-6Al-4V より若干低めである。密度は 4.49g/cm³ と若干 Ti-6Al-4V より高めであるが、純チタンの 4.51g/cm³ よりは低密度である。

図 1 に KS EL-F の常温から高温までの引張試験結果を Ti-6Al-4V との比較で示す。素材は 20mm の圧延丸棒 (700 焼鈍材) である。常温から 500 までは Ti-6Al-4V と同等である。一方、700 以上では温度上昇に伴う強度低下が Ti-6Al-4V より大きく、850 での 1 点のデータ比較ではあるが、JIS2 種クラスの強度と同等まで低下する。これが KS EL-F の最大の特長である。この特長は、従来、チタンにとっては不純物元素として扱われていた C は、常温引張性質に必ずしも悪い影響を与えないように、固溶強化能が常温では高く高温では低い格子間元素であることに着目し、C を固溶限まで多量に添加したことで常温と高温での大きな強度差を引出せたことによる。

ベース組成の成分系としては、500 程度までの高温強度は Ti-6Al-4V と同等の強度を維持すべく Al 添加は必

表 1 KS EL-F の物性
Table 1 Physical properties of KS EL-F

Physical properties	KS EL-F	Ti-6Al-4V
Phase	+ + TiC	+
transus ()	970	995
Density (g/cm ³)	4.49	4.42

* 鉄鋼部門 加古川製鉄所 技術研究センター

須と考え、また、安定化元素としては比較的安価で高温強度には比較的寄与が小さいといわれている遷移元素であるCr, および、将来的には低品位なスポンジチタンも有効活用することを想定した少量のFeを選定した。公称組成を中心に各添加元素量を種々変えた場合の常温強度、および850での高温強度への添加元素量の影響を、それぞれ図2 (Al量依存性), 図3 (Cr量依存性), 図4 (Fe量依存性), および図5 (C量依存性)に示す。Al量の4.5%はTi-6Al-4Vの常温での強度レベルを維持できる最低量であり、高温での強度上昇を抑えている。一方、Cr量は高温強度という観点からは4%より増やした方が下げられるが、これは、変態点が低下することによる850での相量の減少によるものと考えられる。実際の鍛造を考えた場合は加熱温度を下げる必要があることから、Cr量増加見合いの低変形抵抗が実際の鍛造では期待できないため、Cr量に関してもTi-6Al-4Vの常温強度レベルを維持できる最低量に抑えた。FeはVAR溶解でのマクロ偏析を考慮して0.5%としている。Cは常温では添加量の増加に伴い強度上昇している。しかし、850の強度にはほとんど影響をおよぼしていない。

図6にKS EL-Fの疲労強度特性をTi-6Al-4V文献データとの比較で示す。KS EL-Fは若干のTiCが存在すると前述したが、疲労強度特性に問題となるような悪影響はもたらさず、Ti-6Al-4Vと同等の疲労強度特性が得られる。

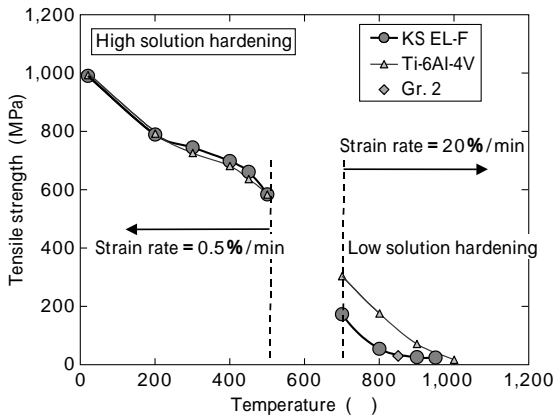


図1 KS EL-Fの変形抵抗の温度依存性(20mm 圧延丸棒の引張試験)
Fig. 1 KS EL-F temperature dependence of tensile strength (20mm rolled bar)

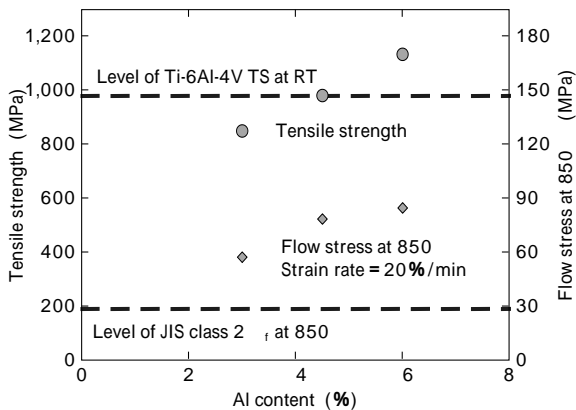


図2 Al量が常温および850での引張強さに及ぼす影響
Fig. 2 Effects of Al content on tensile strength at room temperature and 850

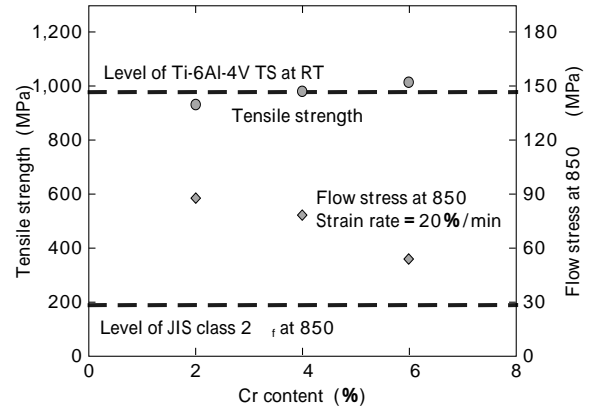


図3 Cr量が常温および850での引張強さに及ぼす影響
Fig. 3 Effects of Cr content on tensile strength at room temperature and 850

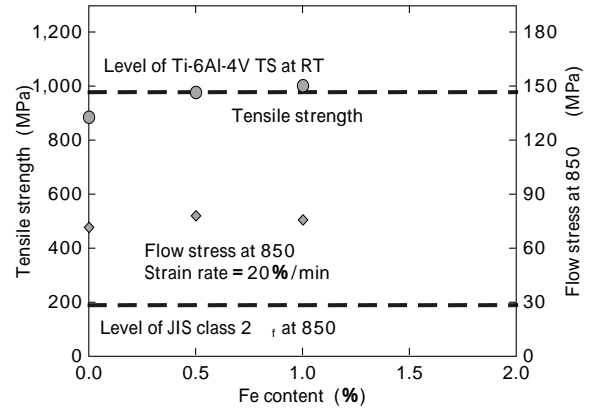


図4 Fe量が常温および850での引張強さに及ぼす影響
Fig. 4 Effects of Fe content on tensile strength at room temperature and 850

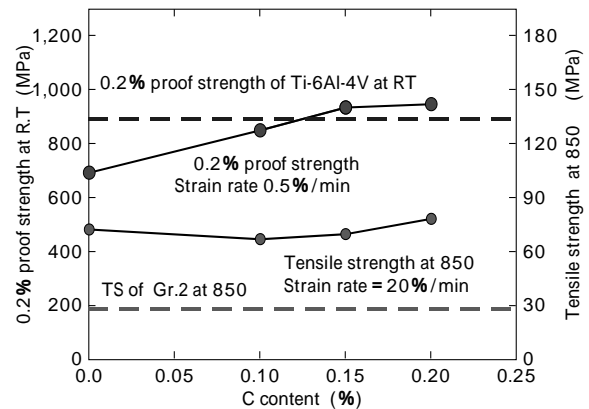


図5 C量が常温および850での引張強さに及ぼす影響
Fig. 5 Effects of C content on tensile strength at room temperature and 850

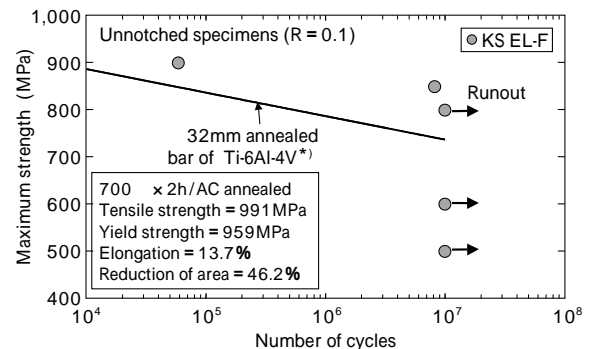


図6 KS EL-Fの疲労強度特性(32mm 丸棒, Ti-6Al-4V との比較)
Fig. 6 Smooth axial fatigue of 32mm KS EL-F bar in comparison with 32mm annealed Ti-6Al-4V bar

*Material Properties Handbook Titanium Alloys, ASM, 1994, p.548

2. KS EL-F の熱間鍛造性

図7にKS EL-Fの据込み鍛造時の最大荷重より求めた変形抵抗の温度依存性をTi-6Al-4VおよびJIS2種クラスの純チタン(図中ではGr. 2 Class CPと表記)との比較で示す。図1に示した比較的低ひずみ速度での引張試験結果では850でJIS2種純チタンの変形抵抗と同等であったが、実際の鍛造のようにひずみ速度が大きくなるとJIS2種純チタンよりは高変形抵抗であり、同じ温度で見ると、KS EL-Fの変形抵抗は、Ti-6Al-4VとJIS2種純チタンとの中間に位置する。しかし、実際の鍛造では各材料の加熱温度は変態点を基準にそれぞれ選定するのが一般的である。そこで、変態点からの温度低下量に対する変形抵抗の変化という形で図7のデータを再整理した結果を図8に示した。これより、温度低下が起こらなければそれぞれの材料の変形抵抗は同様に低いものの、Ti-6Al-4Vは温度が低下すると変形抵抗が急激に上昇することがわかる。これに対しKS EL-Fは、変形抵抗の上昇がJIS2種純チタンとほぼ同等で、純チタン並みの低荷重で実際の鍛造が可能であることがわかる。

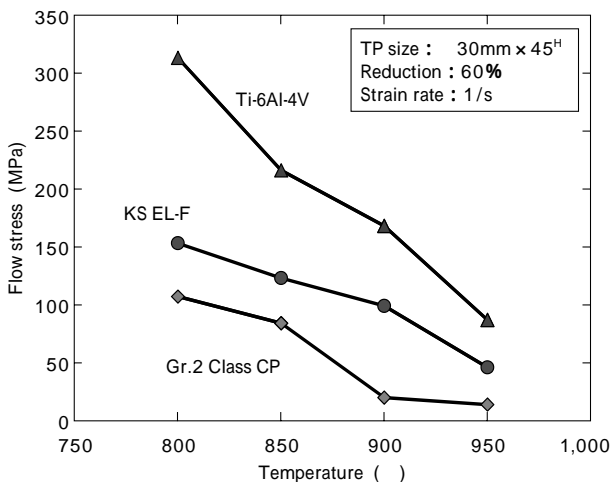


図7 変形抵抗の温度依存性(据込鍛造)

Fig. 7 Temperature dependence of maximum flow stress during upsetting

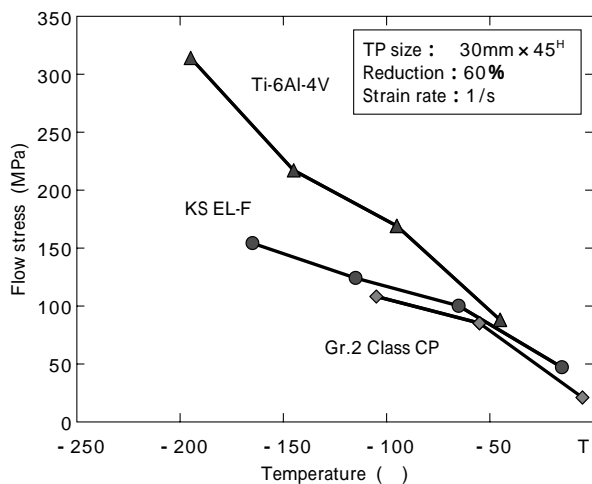


図8 変態点を基準にした変形抵抗の比較

Fig. 8 Relative comparison of maximum flow stress at equivalent temperature below transus temperature

3. KS EL-F での型打鍛造の例

図9に、実際の型打鍛造の例を示した。この鍛造品は、直径70mm、長さ200mmの円柱ビレットを1ヒートで試作した油圧ヘッドである。Ti-6Al-4Vであれば通常、欠肉対策上2ヒートで行う必要がある。KS EL-Fは温度低下しても変形抵抗が低く材料の流動性が良いことから、1ヒートでも欠肉が起こらないことが確認できた。図10に、通常は鋼(SCM415)で直径45mm、長さ66mmの円柱ビレットを1ヒートにて型打鍛造する金型を用い、同様に1ヒートにて試作した自動車の歯車部品の例を示す。図9の鍛造品の例では製品としての表面の状況が分るようにショット・酸洗にて黒皮を除去しているが、図10の例では、歯の部分のシャープさも理解できるように型打鍛造ままの外観を示した。KS EL-Fが歯車部品に使用可能という意味ではないが、このような型打鍛造では、鋼と同様の鍛造も期待できる結果となっている。

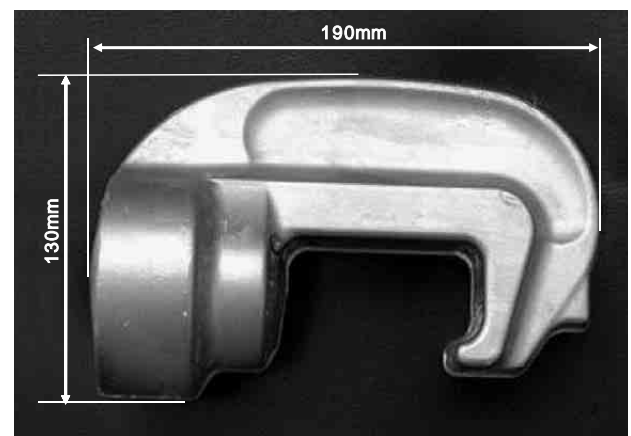


図9 KS EL-Fを用いて1ヒートで型打鍛造した鍛造品例 - 1 - (油圧ヘッド)

Fig. 9 A hydraulic jack head part of KS EL-F forged in 1 heat (Billet: 70mm x 200mm, Ti-6Al-4V needs 1 heats)



図10 KS EL-Fを用いて1ヒートで型打鍛造した鍛造品例 - 2 - (自動車歯車部品)

Fig.10 A gear part of KS EL-F forged in a mass production line for steel (SCM415) forging in 1 heat (Billet: 45mm x 66mm)

4. KS EL-F の切削性

2次加工コストと部品加工の生産性に影響を与える要素の一つに切削性がある。図11に超硬バイトでの穴あけ時のバイトの摩耗量をTi-6Al-4Vと比較した例を示す。切削油にて冷却が効きやすい切削では、同図のようにTi-6Al-4Vより摩耗量が少ない。しかし、切削油での冷却が不十分で熱がこもるような状況ではTi-6Al-4Vよりも切削性に劣るとい結果も得られており、現在、そのような状況下でもTi-6Al-4Vより優れた切削性が得られるようにKS EL-F改も開発中である²⁾。

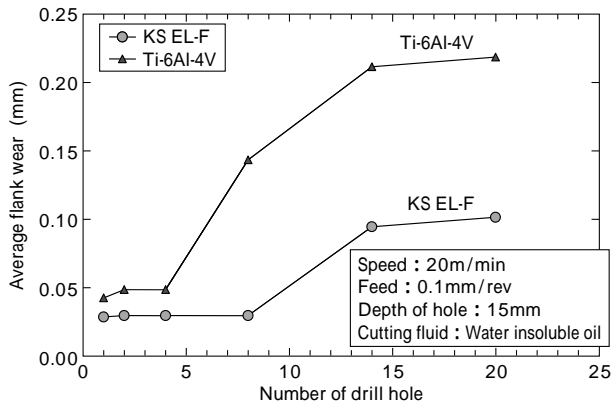


図11 KS EL-F と Ti-6Al-4V の切削性比較例 (工具摩耗量とドリル穴数との関係)

Fig.11 Comparison of average flank wear between KS EL-F and Ti-6Al-4V

むすび=純チタンと同等の熱間鍛造性を有し、Ti-6Al-4V相当の強度特性が得られることを合金設計のコンセプトとして、高強度・型チタン合金であるKS EL-Fを開発した。種々の分野の多くのユーザの方々に一度本合金をご評価いただければ、必ずや熱間鍛造性に優れていることをご理解いただけるものと確信している。今後、トータルコストと生産性が大きく問われる量産自動車部品などにもKS EL-Fが幅広く使用されてゆくことを期待する。

参考文献

- 1) S. Kojima et al. : Ti-2003 Science and Technology, WILEY-VHC Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004, Vol.5, p.3089.
- 2) S. Murakami et al. : Ti-2007 Science and Technology, The Japan Institute of Metal, 2007, Vol.1, p.427.