

(解説)

# チタン合金の切削性改善

## Improved Titanium Alloy Machinability



尾崎勝彦\*(工博)  
Dr. Katsuhiko Ozaki



逸見義男\*  
Yoshio Itsumi



村上昌吾\*  
Shogo Murakami



小野公輔\*\*  
Kousuke Ono



大山英人\*\*(工博)  
Dr. Hideto Ooyama

The titanium alloy KS-ELF has good formability and machinability characteristics. However for car parts, the machinability of KS-ELF is inferior to Ti-6Al-4V. In this paper a method for improving the machinability of KS-ELF, related to cutting method and material design, was studied. Results showed that drilling with a coolant hole is better than with a non coolant hole. The machinability of KS-ELF with a coolant hole is equal to that of Ti-6Al-4V with a non coolant hole. In addition, the study showed that the flank wear of KS-ELF decreases as the amount of TiC precipitation decreases.

まえがき = チタン合金は比強度が高く、耐食性に優れることから、さまざまな環境下で使われている。自動車分野で考える場合、軽量化による燃費向上は昨今の地球環境問題の点から重要であり、各種のニーズが高まっている。

当社では、自動車用部品へのチタン合金の適用のために、熱間鍛造性および切削性に優れた材料 KS-ELF (Ti-4.5Al-2Mo-4Cr-0.5Fe-0.2C) を開発した<sup>1),2)</sup>。最も広く用いられている代表的チタン合金 Ti-6Al-4V との比較を図1に示す。同図から、600 以下においては、Ti-6Al-4V に比べてKS-ELF は引張強さが大きく、高い変形抵抗を示すことが分かる。一方、700 以上では、逆にKS-ELFの方がTi-6Al-4V より低い変形抵抗を示しており、高温鍛造においてKS-ELF が高い鍛造性を有しているといえる。また、図2に示したドリルによる切削性の評価結果から、Ti-6Al-4V に比べてKS-ELF は工具摩耗が小さく、良い切削性を示している。しかしながら、自動車部品を想定した厳しい切削条件では、KS-ELF が若干切削性に劣る場合があることが明らかになった。

そこで、KS-ELF の切削性改善方法について、切削加工

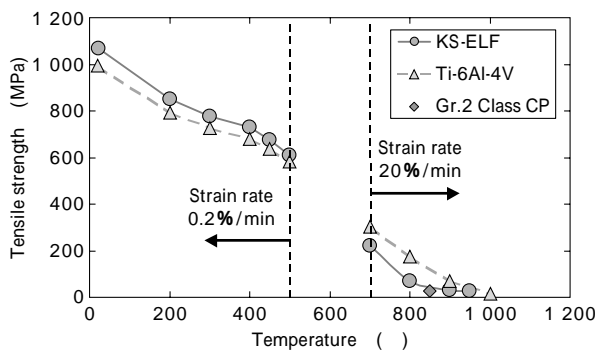


図1 KS-ELF の高温引張強さ  
Fig. 1 Tensile strength of KS-ELF

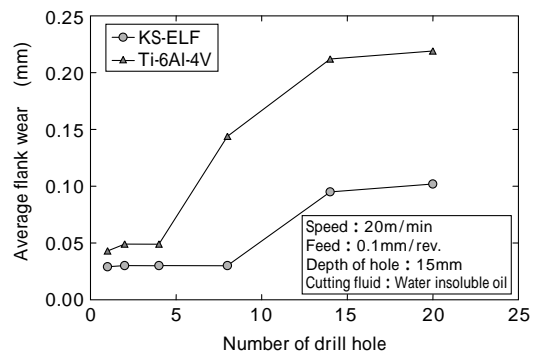


図2 ドリルによる切削性評価結果  
Fig. 2 Evaluated results of machinability by drilling

法および材料設計の両面で検討したので報告する。

### 1. KS-ELF 材の基本的切削特性

切削性をドリル加工で評価した場合、切りくず詰まりによる折損などもあり、材料特性の純粋な評価が難しい。そこで、ここでは工具摩耗と切りくず処理性の分離が容易な旋削加工を用いて切削性を評価した。指標として工具摩耗量(逃げ面摩耗量)を用いて評価した。その結果を図3に示す。工具摩耗量は、切削速度が5m/minと低速の場合、材料間に差は見られない。しかし、切削速度が高くなるにつれて、Ti-6Al-4V に比べてKS-ELFの方が逃げ面摩耗量が大きくなり、切削性が若干低下していることが分かった。この切削性の差は切削速度が速くなるにつれて大きくなる。

切削速度により切削温度が敏感に影響を受けることから、切削温度の解析を行った。図4に示すように、切削チップに放電加工により穴を明け、刃先から約1mmの距離のところに熱電対を装着し、切削中の温度を測定した。その結果を図5に示す。切削温度は、切削速度が速くなるにつれて上昇している。また、KS-ELF の切削温

\*技術開発本部 材料研究所 \*\*鉄鋼部門 加古川製鉄所 薄板部

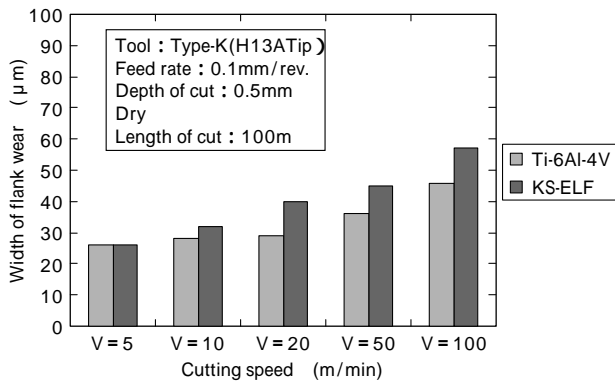


図3 チタン合金の各種切削速度における逃げ面摩耗幅  
Fig. 3 Effect of cutting speed on flank wear of titanium alloy

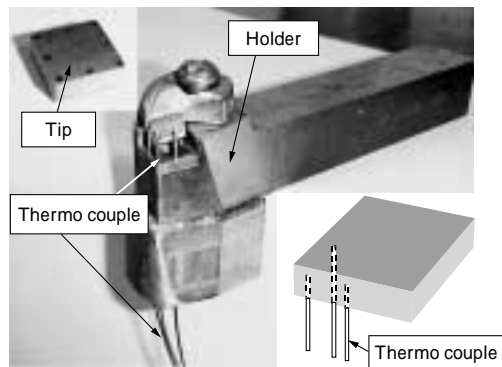


図4 切削温度測定用工具  
Fig. 4 Equipment for measuring cutting temperature

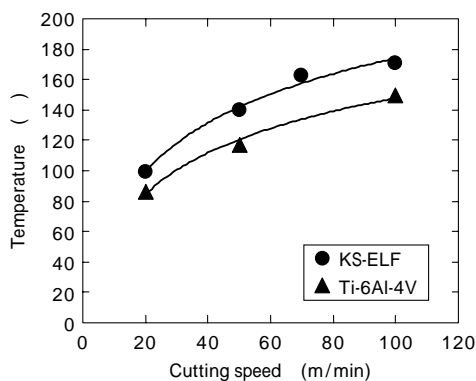


図5 チタン合金切削時の切削温度測定結果  
Fig. 5 Relation between cutting speed and temperature of thermo couple

度は、Ti-6Al-4V よりも常に高い温度を示している。したがって、KS-ELF が Ti-6Al-4V よりも切削性に劣るのは、切削温度が常に高く、工具摩耗の進行が速いためであると考えられる。

KS-ELF と Ti-6Al-4V の切削性の差をより詳細に検討するために、高温圧縮試験による応力歪特性を評価した。試験形状は、直径 6mm、高さ 9mm とした。試験温度は、室温、100、200、300、400、500、600 とした。圧縮過程での歪と応力の関係を求めた後、歪 0.1、0.2 のときの応力値を室温での応力値により正規化し、温度と正規化された応力値の関係を求めた。温度と正規化応力値の平均値の関係を図 6 に示す。Ti-6Al-4V に比べて KS-ELF は 400 から 600 にかけて応力が急激に低下している。これは、熱間鍛造性を考慮した材料設計となっているためと考え

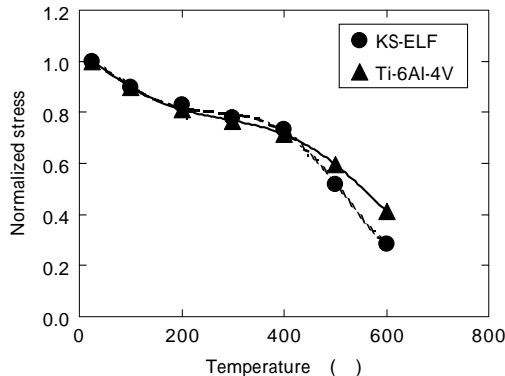


図6 チタン合金の圧縮応力に及ぼす温度の影響  
Fig. 6 Relation between temperature and normalized stress under compression test

られる。この温度域では、Ti-6Al-4V に比べて KS-ELF は、伸びやすく、工具と被加工材との摩擦係数も高くなることから推定できる。これまでの研究では、工具と被加工材との摩擦係数が高くなると切削性が劣化すると報告もある<sup>3)</sup>。おそらく切削温度域での延性が高くなった結果、摩擦係数が大きくなり、切削抵抗も高くなったものと考えられる。そして、工具刃先での切削温度が高くなり、工具摩耗も KS-ELF の方が速く進行するものと思われる。

## 2. 内部給油による穴加工性改善

KS-ELF の各種部品への適用を考える場合、切削性の改善が必要となる。ここでは、切削加工技術により、切削性を改善した例を示す。一般的に、工具摩耗が進行した場合、切削点での材料分離能が低下し、加工面の表面粗さを低下させることが知られている。Ti-6Al-4V に比べて、KS-ELF は切削中の温度が高いために工具摩耗が速く、切削性を低下させていることが分かった。ここでは、切削中の切削温度を下げるために、超硬ドリルにおいて切削点である刃先先端での冷却能力を高くできる内部給油式ドリルを採用した。径 16.7mm のイスカル製カムドリルを用いて切削実験を行った。被削材は KS-ELF とした。その結果を図 7 に示す。外部給油(Non coolant hole) に比べて内部給油(With coolant hole) を採用することにより、同一切削条件では工具刃先での損傷が抑制された結果、表面粗さを抑制できていることが明らか

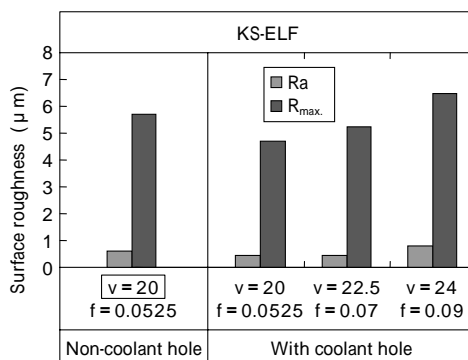


図7 内部給油式ドリルによる切削性改善結果  
Fig. 7 Improved results of machinability by using drill with coolant hole

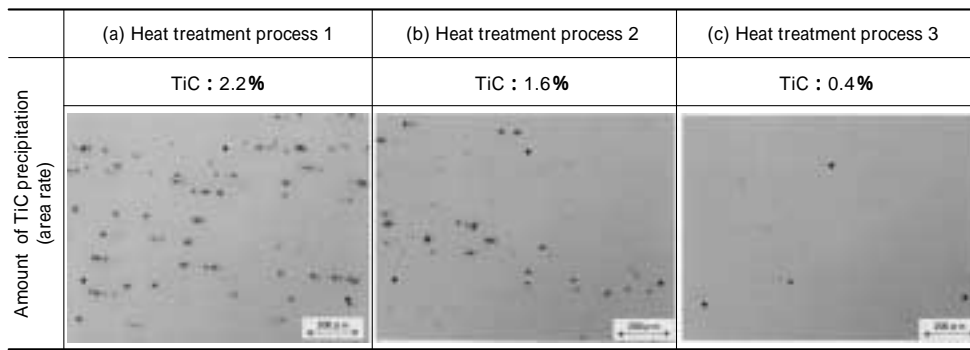


図8 加工熱処理プロセスとTiC析出量の関係

Fig. 8 Relationship between heat treatment process and amount of TiC precipitation

になった。この結果より、KS-ELFを切削加工する場合、切削温度をできるだけ下げる工法を採用することが重要であると考えられる。

### 3. 加工熱処理による被削性の改善

KS-ELF (TiC : 2.2%相当) の組織を観察した結果を図8(a)に示す。従来のKS-ELFではTiCが多く析出している。TiC粒子が多く析出している場合、アブレッシブ粒子として工具を擦過し、工具摩耗を促進する場合がある。そこで、加工熱処理プロセスを変更してTiCの析出量を変化させ、TiC析出量と工具摩耗の関係を評価した。加工熱処理を変えた場合のTiC析出量の変化を図8に示す。この材料を用いて切削実験を行い、工具摩耗量を比較した結果、図9に示すようにKS-ELF改(図8(c)、TiC : 0.4%相当)は、従来のKS-ELF(図8(a))に比べて明らかに工具摩耗量が減少し、Ti-6Al-4V相当の工具摩耗量を示した。したがって、加工熱処理プロセスを変更し、TiC析出量を制御することにより、KS-ELFの切削性は制御可能であることが分かった。また、TiC析出量を0.4%程度にすれば、Ti-6Al-4Vと同等の切削性を示すことを明らかにした。

むすび = 自動車部品への適用のために開発したKS-ELFの基本的切削特性を解析し、かつ、Ti-6Al-4Vと同等の切削性を示す方法を切削加工面および材料設計面から検討した。以下に得られた結果を示す。

- 1) チタン合金切削の場合、刃先近傍での切削温度が切削性を大きく支配する。
- 2) 刃先先端での冷却能力を高めることにより、切削性を改善できる。

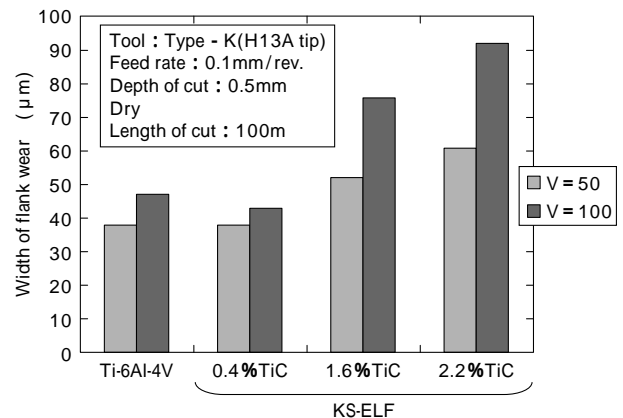


図9 TiC析出量の逃げ面摩耗幅に及ぼす影響

Fig. 9 Effect of amount of TiC precipitation on flank wear

3) 加工熱処理プロセスを変更し、TiC析出量を抑制することにより切削性を向上でき、Ti-6Al-4Vと同等の切削性を得られる。

今後、切削加工および材料設計両面でさらに検討を加え、より加工性が高いチタン合金の開発と利用方法を検討する。

### 参考文献

- 1) H. Oyama et al. : Materials ScienceForum, 426-432(2003) p.713.
- 2) 小島壮一郎ほか：材料とプロセス, Vol.15 (2002) p.619.
- 3) 佐野昭一ほか：昭和56年精機学会秋季大会学術講演論文集, p.816.