

チタン加工における摩擦特性

藤 田 武 男*

Friction Properties in Titanium Machining

Takeo FUJITA

Abstract

We have some troubles due to characteristics of titanium when it is machined. Only little troubles however is shown at outside lathe turning of titanium from our study. But, surface of titanium rubbed against metals is very bad, and also wear of metals are remarkable.

This bad condition due to friction is happened between tool and titanium at boring of it. Friction properties between titanium and tool materials by abrasion tester (Ôkosi type) and lathe, and tool material with largest resistance for wear are found out.

The results of experiments are mentioned in this paper.

1 緒 言

チタンの用途は近年次第に広がりつつあるが、種々の理由でその加工が大変に困難であり、その加工法が研究され、我々も行なってきた。チタンは構成刃先の発生し難い材料であるため、低速度で切削してもその仕上面は良好であり、工具の選定および加工条件が適当であれば、外形旋削においては問題はない。

しかし、チタンは他金属との摩擦により、金属の摩擦はもちろんのこと、チタンの摩擦表面は極度に悪いこのような摩擦による悪条件は、チタンの穴加工の場合（ツイストドリルのマージン部、BTA 工具のパッド部等）に生じ、チタンの穴加工を非常に困難なものにさせている。そこで本研究はまず基礎的研究として種々の工具材とチタンの摩擦を行ない、工具摩擦が小さくかつチタンの表面が良好である工具の選定ならびに摩擦条件を把握し、チタンの穴加工を安易にすることを目的とする。

2. 実験方法および装置

摩擦の方法は大越式迅速摩擦試験機を使用した。この試験機は摩擦の方法が実際の穴加工の場合と一致し迅速に摩擦量が測定できるために使用した。摩擦の方法をFig. 1に示す、また、チタンの摩擦面の観察を行なうため、旋盤（滝沢造機製作所 TSL-550）を用い

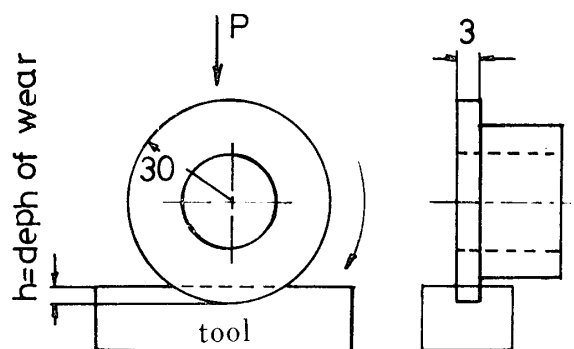


Fig. 1 Friction method by abrasion tester

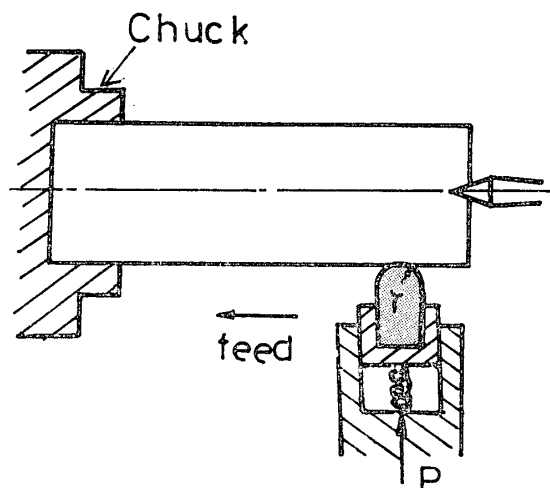


Fig. 2 Friction method by lathe

* 工業短期大学部機械工学科

た処女面摩擦試験を行なった (Fig. 2 参照)。大越式摩擦試験機は、摩耗量に順じ常に一定の押しつけ圧力が加わるよう設計されており、旋盤を用いた処女面摩擦試験方法では、押しつけ圧力はバネによって一定の圧力が加わる様設計した。

また穴加工工具の切削部でのパッシングによるチタンの表面状態への影響を調べるため、大阪工作所製、ジャパカズヌーブ HB-360X 型無段変速 旋盤にて切削実験を行なった。チタンは表 1 に示す成分および機械的性質のものを使用した。

Table 1 Mechanical properties and chemical composition of Titanium

Yield Strength 0.2% kg/mm ²	Tensile strength kg/mm ²	Elongation percentage %	Contraction percentage %	
30	43	33	61	
Fe	N	O	H	Ti
0.062	0.041	0.116	0.0026	99,7784

3. 実験条件

- 3-1 大越式摩擦試験機を用いた摩擦試験では
押しつけ圧力 $P=6.7\text{kg}$
摩擦速度 $V=100\text{m/min}$
摩擦距離 $L=600\text{m}$
- 3-2 旋盤を用いた処女面摩擦試験では
押しつけ圧力 $P=1, 2, 3, 5, 10\text{kg}$
摩擦速度 $V=10, 18, 30, 50, 125\text{m/min}$
摩擦距離 $L=250\text{m}$
- 3-3 切削実験では
切削速度 $V=50, 100, 150, 200\text{m/min}$
送り $f=0.025\text{mm/rev}$
切り込み $d=0.5\text{mm}$

を使用した。工具摩耗量の測定は天びんばかりで摩耗重量を測定した。

4. 実験結果

Fig. 3 は種々の工具材でチタンを外形旋削したときの寿命曲線である。図から Al_2O_3 が主成分であるセラミック工具より、超硬工具の方が高い寿命値を示し、中でも K10 が最もすぐれた寿命値を示し、次いで P 種の等級の低い順に高い寿命値を示していることが分る。また TiC 主成分のサーメットもチタンの切削

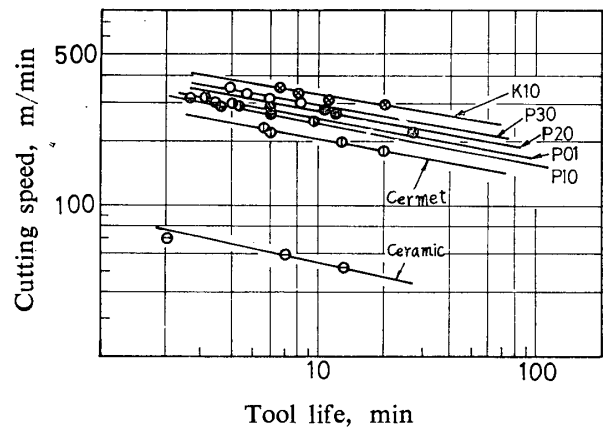


Fig. 3 Relation between cutting speed and tool life

Workpiece : Titanium
 $f \times d = 0.03\text{mm/rev} \times 1\text{mm}$

には適していない。

BTA およびガンドリル工具等の深穴加工工具は、穴を削る切れ刃部分と、自分であけた穴にそって工具の方向を決めた工具を支持する案内部 (以後パッド部と称す) とから成立している (Fig. 4 参照)。チタ

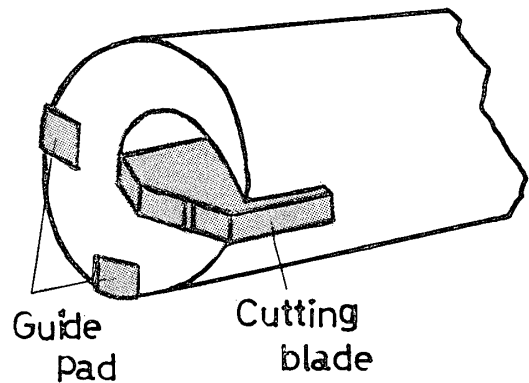


Fig. 4 Head of solid boring tool

ンの穴あけの際、切れ刃部の摩耗はもちろんであるがこのパッド部がチタンとの摩擦により、パッド部は大きく摩耗し、この部分との摩擦により、チタンの表面は極度に悪化し精度も悪い、またパッド部の摩耗は再研磨不能であるため、パッド部の摩耗を小さくすることは工具の寿命上非常に重要なことである。Fig. 5 は大越式摩擦試験機にてチタンと摩擦させた場合の各種工具の摩耗量を示したものである。図より明らかごとく、工具の摩耗量は、外径旋削のときと傾向が全く一致している。すなわち切削にて寿命値の低いセラミック、サーメットおよび超硬 P 種は、摩擦試験において

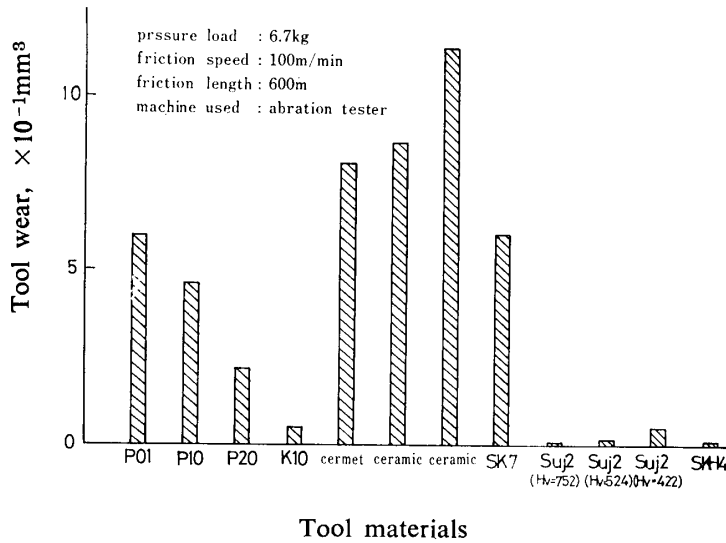


Fig. 5 Wear of tool materials when rubbing against titanium

も摩耗量が大きい。超硬K種およびSUJ 2および高速度鋼(SKH 4)が特に摩耗量が小さい。SKH 4およびSUJ 2は超硬工具やセラミック等にくらべれば、硬度は1/2程度であるにもかかわらず小さな摩耗量である。ここにSUJ 2を使用した目的はチタンとの親和性がうすいことと熱処理により硬度を適当に選定できることのためである。本研究では $H_v=752$, $H_v=524$ および $H_v=422$ の3種類を使用した。これにより、チタンとの摩擦において、同種金属(チタンとの親和性が同程度と考えられる)であれば、硬度の高い方が摩耗量が小さいことがわかる。

つぎに摩耗試験機での摩擦は常に同じ面での摩擦であるため実際的でないので、旋盤で送りを利用した処女面摩擦試験を行ない、工具の摩耗とチタンの摩擦表面について検討した。なお、工具材として超硬K種、

SKH 4, 超硬PO 1およびSUJ 2について行なった。セラミック、サーメットおよび超硬P種はチタンの加工には不適當であると判断した。Fig. 6は各種工具材と摩擦させたときのチタンの摩擦表面を示した写真である。これからわかるようにチタンの摩擦表面は、いずれの工具との組合せにおいても悪い、チタンより硬度の低い黄銅の場合のみ、チタンの摩擦表面は良好である。

つぎに工具摩耗およびチタンの摩擦表面が、摩擦速度および押つけ圧力に、いかに依存するかを調べてみた。ここにSUJ 2は摩擦試験に際し小さな摩耗量であったが、高速度鋼(SKH 4)とほとんど差がなく、SUJ 2は高温硬度がSKH 4等にくらべ小さいため、切削用切れ刃としての使用が不能であるため、実験対象からはずした。Fig. 7

は押つけ圧 $P=5\text{ kg}$, 摩擦距離 $L=250\text{ m}$ で摩擦速度を変化させたときの、摩擦速度と工具の摩耗量を示したものである。超硬PO 1は $V=20\text{ m/min}$ あたりから急勾配に摩耗量が増大し、 $V=30\sim 40\text{ m/min}$ で最大値をとり、速度の増大にともない急激に減少する。またPO 1にくらべれば摩耗量は小であるが、超硬K10も同様の傾向がうかがえる。高速度鋼SKH 4はいずれの速度でも摩耗しなかった。Fig. 8に摩擦速度、摩擦距離を一定とし、押つけ圧力を変化させたときの、押つけ圧力と工具摩耗との関係を示す、工具の摩耗は押つけ圧の大なる程大である。それも $P=1\text{ kg}\sim 5\text{ kg}$ で急な勾配を示す。なお、SKH 4はこの程度の摩擦では全く摩耗しなかった。

次にチタンの摩擦表面は Fig. 9に見られるごとく、

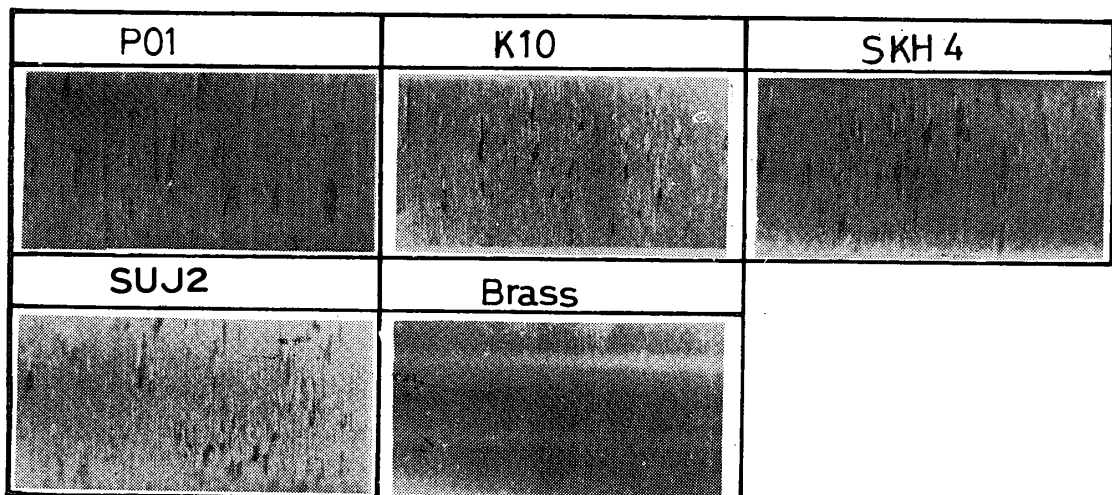


Fig. 6 Friction surface of titanium when rubbing against various kinds of tool

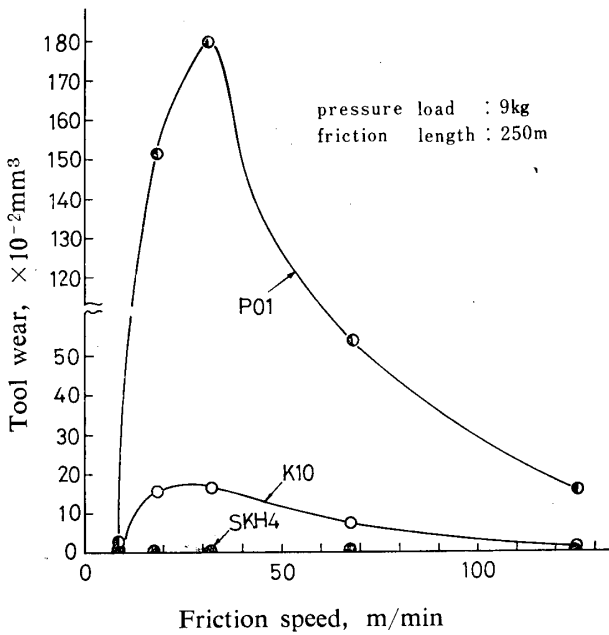


Fig. 7 Relation between tool wear and friction speed when rubbing against titanium

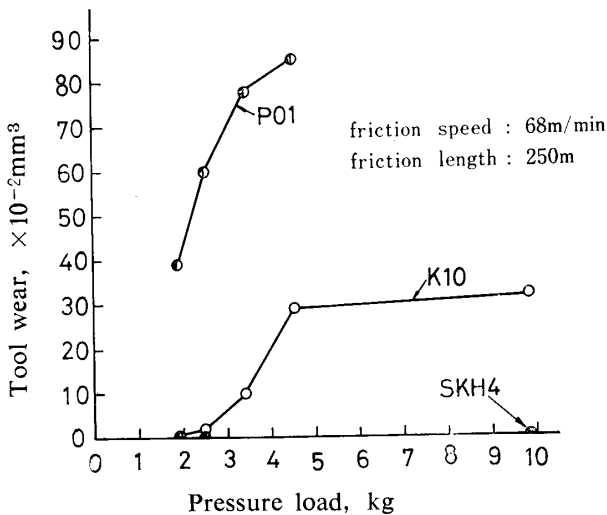


Fig. 8 Relation between tool wear and pressure load when rubbing against titanium

押つけ圧に影響される。すなわち、圧力が大になると表面に付着するチタンのつぶが大になる。圧力が小さいと付着物の大きさは小さくなる。しかし付着物の数はほとんど変化なく、むしろ圧力の小さい方が多いくらいである。また、摩擦速度による影響はそれほど顕著ではないが、高速の方が表面に付着する付着の度合いが強い。

BTA 等の深穴加工工具は、前切刃角がほとんどなくバックテーパ 1/100 としてつけられている程度である。よって切れ刃部の少しの摩擦に対し、切れ刃部とワークの接触面積が大きくなり、いわゆるバニシングの状態が起り易い。前述のごとく、チタン加工の際とく

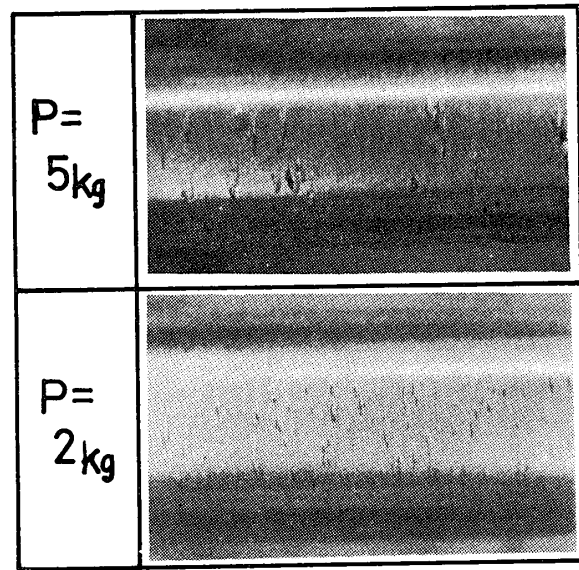


Fig. 9 Friction surface of titanium at different pressure load

にこのバニシングはチタンの表面に良い影響をあたえない。そこで、切れ刃部の摩擦がチタンの表面にいかにか影響をおよぼすかを調べた。切れ刃の形状は BTA 工具の切れ刃部に似せ、外形旋削でもってモデル実験を行なった (Fig. 10 参照)。使用工具は SKH 4 と K10

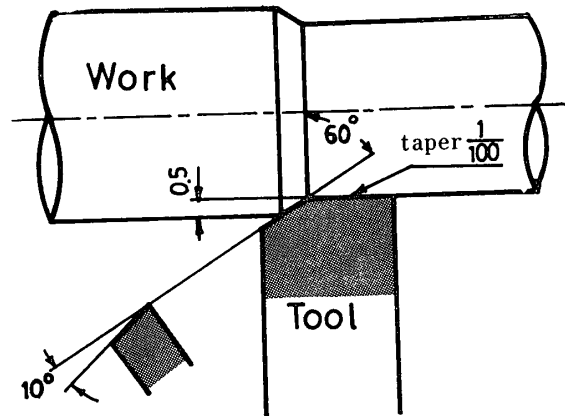


Fig. 10 Cutting method

である。チタンの加工面は、前逃面摩耗巾が 0.2mm 以内の場合では、問題なく良好な加工面が得られる、0.2mm 以上になると多少切れ味がにぶり、切れ刃とワークとの間に切り屑がはさまる場合がたまたま生じる、その時はチタンの加工面は非常に害される。Fig. 11, 12 はモデル実験での切削時間と工具前逃げ面摩耗巾との関係を示したもので、図より、高速度鋼 SKH 4 で 200m/min 以上の切削速度が可能であり、 $V=200m/min$ では超硬 K10 以上の切削性能を示す。また、Fig. 12 より SKH 4 を使用した場合 $V=50m/$

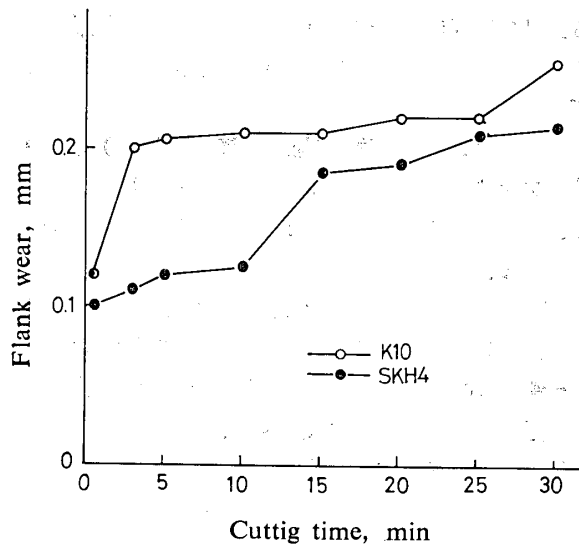


Fig. 11 Relation between flank wear and cutting time

$V \times d \times f = 200 \text{ m/min} \times 0.5 \text{ mm} \times 0.025 \text{ mm/rev}$
Workpiece : Titanium

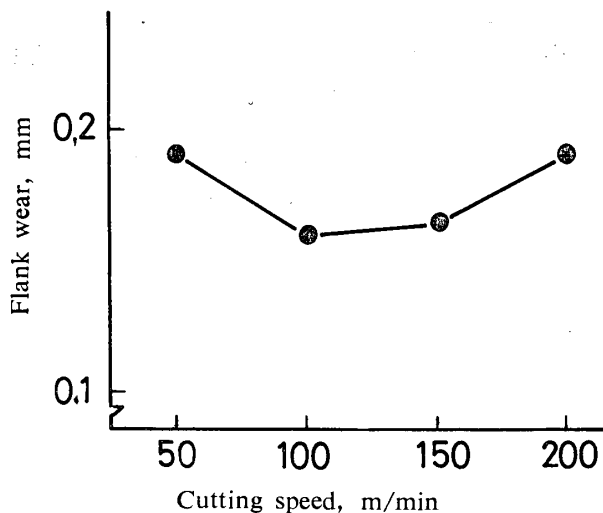


Fig. 12 Relation between flank wear and cutting speed

$f \times d = 0.025 \text{ mm/rev} \times 0.5 \text{ mm}$
Cutting time : 20 min
Workpiece : Titanium
Cutting tool : SKH 4

min の工具摩耗は $V=200 \text{ m/min}$ と同程度であり、 $V=100 \sim 150 \text{ m/min}$ に摩耗量の最小の点が存在する。

5. 考 察

チタンの切削にセラミックが不適當であるのは、チタンが大変に酸素と反応し易く、切削時の高熱で Al_2O_3 の酸素が還元されるためである。また、サーメ

ットは TiC が主成分であるため、チタンとの親和性が大であり、摩耗も大きい。チタンの切削に際し Ti なる成分が工具中に含有されることは、工具の摩耗から見て好ましくないようである。Ti の含有されていない超硬 K10 が高い寿命値を示すことからわかる。

つぎにチタンと工具材とを摩擦させた場合の工具の摩耗であるが、切削の場合と全く同様の結果が得られ、摩擦の場合も切削のときと同様の現象であると考えられる。Fig. 5 の摩擦実験では新たに高速度鋼 SKH 4 を入れたが、SKH 4 は高温硬度を有しており、チタンとの親和性がうすいため、硬度は超硬よりはるかに小さいにもかかわらず摩耗量が小さい。またこのような現象よりチタンと摩擦させる場合、工具摩耗は工具の硬度に無関係のように考えられるため、チタンと親和性のうすい SUJ 2 を熱処理により 3 種類の硬度に変化させ硬さの影響を調べた所、やはり硬度の高い程摩耗量は小であった。ここにチタンとの摩擦に際しても、工具の硬度は工具摩耗に影響をおよぼすが、チタンと工具の親和性による影響の方がより大であることがうかがえる。また Fig. 13 に各種工具の摩耗面を示すが、超硬は凹凸の大きい摩耗面であり、SKH 4 SUJ 2 は凹凸の小さな摩耗面を示し、これらからも SKH 4, SUJ 2 の方が摩耗量の小さいことがわかる。この摩耗面の相違は一方は焼結合金、一方は溶解による合金という組成の違いおよびチタンとの親和性の違いのためと考えられる。

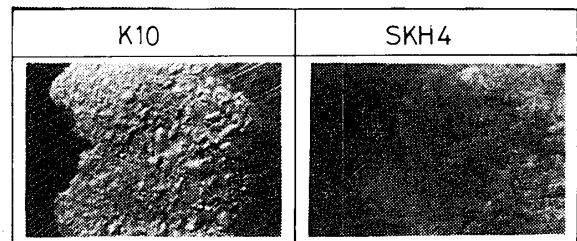


Fig. 13 Type of wear of K 10 and SKH 4 when rubbing against titanium

工具の摩擦表面は、各種工具とも非常に悪い。これは工具材とチタンとの極端な硬度差のため、摩擦によりチタンの表面がむしりとられ工具面に付着する。そしてそれが高温高圧のもとで再度チタンの表面に付着するためである。いわゆる純粋な工具とチタンとの摩擦ではなく、チタンとチタンすなわち同種金属の摩擦になっているためと思う。チタンより硬度の低い黄銅とチタンを摩擦させるとチタンの表面は非常に良好であることからわかる。

切削で前逃げ面の摩耗巾が0.2mm程度になってもチタンの加工面は良好である。これはすくなくとも、この程度の摩耗になれば、工具とワークはある圧力下のもとで摩擦が行なわれているはずであるが、チタンが切りくずとして流出されるだけで、工具とワークとの間にむしりとられたチタンが存在しないいわゆる純粋な工具とチタンの摩擦が行われているためと思う。

また、切削速度が200m/min程度で超硬K10の方が高速度鋼(SKH4)より工具寿命が小さくなる現象は、鋼切削等においては考えられないことであり、チタン切削においては、工具とチタンの親和性の大小が最も大きく工具の摩耗を支配していることである。

6. ま と め

研究の現段階で、チタンを切削および摩擦させたときの工具の摩耗原因と最適加工条件および適切な工具の選定に成功した。しかしチタンの摩擦表面の改善までには到らなかった。今後は油剤を使用してチタンの摩擦表面の改善を行なう必要がある。

結 語

本実験により次のことがいえる。

(1) 工具材とチタンとを摩擦させた場合、摩擦によ

る工具の摩耗は、チタン切削のときと同じ傾向である、すなわち切削で摩耗大である工具は、摩擦においても摩耗大である。

(2) チタンとの摩擦で高速度鋼(SKH4)が最も小さい摩耗量を示し、切削性能も超硬K種以上であり、セラミック、サーメットおよび超硬P種は摩耗量大である。

(3) チタンとの摩擦による工具材の摩耗は、押つけ圧が大きい程大である。摩擦速度による影響は $V=30\sim40/\text{min}$ で最大の摩耗を示し、それより高速および低速になる程摩耗量は減少する。

(4) 工具とチタンとの摩擦によるチタンの摩擦表面の悪さは、金属と工具との大きな硬度差により、チタンの表面がむしり取られ、それが工具に付着しチタンとチタンの摩擦が生じるため、純粋な金属とチタンとの摩擦ではチタンの表面は悪化しない。

(5) 切削による(前逃げ角 0° 、横切れ刃角 60° 、前切れ刃角 0° 、ノーズ半径0.3)チタンの表面は前に面摩耗巾が0.2mm以下であれば良好である。

終りに、ご指導を賜りました、九州大学工学部佐久間敬三教授に感謝いたします。

(昭和48年3月31日受理)