

チタンおよびチタン合金の切削 (第2報)*

—チタン合金の加熱切削—

谷口正紀**・藤田武男**

Machining of Titanium and its Alloy (2nd Report)

—Hot Machining of Titanium Alloy—

Masaki TANIGUCHI and Takeo FUJITA

Abstract

It was found in the 1st report that sintered carbide K type is most suitable tool material for lathe turning of titanium alloy because of its large thermal conductivity and small affinity for titanium alloy.

From this fact, sintered carbide K 10 as tool material was used in this experiment. we have tried to see how machinability of titanium alloy is effected by hot machining, using two methods, sectional electric resisting and gasoline burner heating.

To compare with titanium alloy, carbon steel S45C on which built up edges grow easily has been machined in same cutting condition as titanium alloy.

The results are as follows.

- (1) When titanium alloy is machined with sintered carbide tool K 10, being heated by sectional electric resisting heating, cutting resistance is reduced. But tool life decrease because the cutting edge is softened by high cutting temperature.
- (2) When alternating current is used as heating current, owing to cycle of it, variation of cutting resistance and surface roughness become larger, these tendencies are particularly remarkable in titanium alloy.
- (3) When the gasoline burner heating is used, the work is stisfactoly heated unlike in sectional electric resisting heating, and accordingly variation of cutting resistance and surface roughness become smoller.

1. 緒 言

前報¹⁾においてチタン合金の旋削加工に最適な工具材種は熱伝導率の大きいまたチタンとの親和性に乏しい超硬工具K種であることを報告した。本実験はその最適工具K10を用いて加熱切削を行ないチタン合金の被削性におよぼす加熱の影響を調べることにした。加熱方法は工具自体を電極とした局部電気抵抗加熱法とガソリンバーナにより被削材全体を加熱する2方法を

使用した。また参考として構成刃先の発生しやすいS45Cについても同一条件にて実験を行なった。以下にそれらの実験結果を報告する。

2. 実験装置および方法

2.1 装置および工具

本実験に用いた機械装置は前報¹⁾と同様である。Fig. 1に通電加熱方法および温度測定方法の概略を示す。通電電流は工具を電極としたため高い電流値が採用できず100Aと200Aの2種類を使用した。ガソリ

* 昭和46年5月21日日本機械学会九州支部佐賀地方講演会において講演

** 工業短期大学部機械工学科

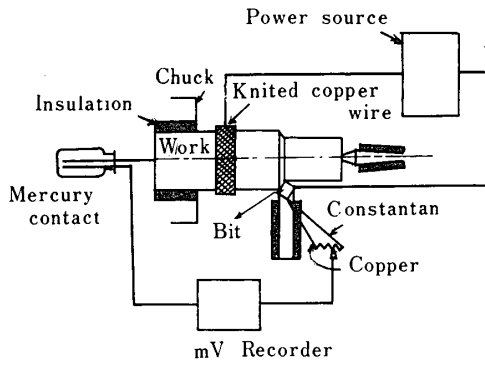


Fig. 1 Experimental apparatus

ンバーナによる加熱は炎を直接被削材にあてて加熱を行ない被削材表面温度が300°Cになるまで加熱を行なった。チップはスローアウェイチップを用いノーズ半径の違いによる表面あらさおよび切削抵抗への乱れをさけるため50倍の投影図にてノーズ半径の均一なものを選んで行なった。また刃部形状は前すくい角・横すくい角・前逃げ角・横逃げ角・前切れ刃角・横切れ刃角・ノーズ半径の順に(-5, -7, 5, 7, 15, 15, 0.8)である。切削条件は送りおよび切込みを0.075 mm/rev および1 mmと一定にし、切削速度を種々変化した。被削材は100φ×400の鍛造丸棒を使用し、その機械的性質および化学成分をTable 1に示す。

Table 1 Mechanical properties and Chemical composition of Titanium alloy

Yield strength 0.2% kg/mm ²	Tensile strength kg/mm ²	Elongation Percentage	contraction percentage	
91	103	14	20	
Fe	N	O	H	C
1.07	0.004	0.197	0.0072	0.009
Al	Cr	Ti		
5.65	2.22	Balance		

3. 実験結果および考察

Fig. 2 に本実験に使用したチタン合金 (以下TAと称す) の温度とかたさの関係を示す。Fig. 2 よりTAは常温でビッカース硬度400とかなり高くTAの難削材たるゆえんを示しているが、1000°Cの高温ではビッカース硬度155と常温の場合にくらべ1/2以下に下がっている。Fig. 3 および Fig. 4 はTAおよびS45Cの切削速度と切削温度との関係を加熱電流をパラメー

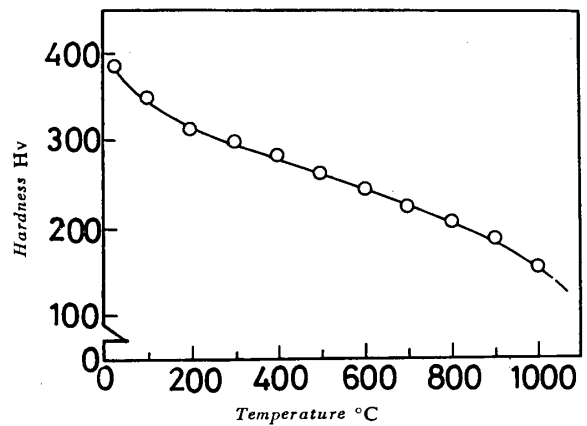


Fig. 2 Relationship between temperature and hardness of titanium alloy

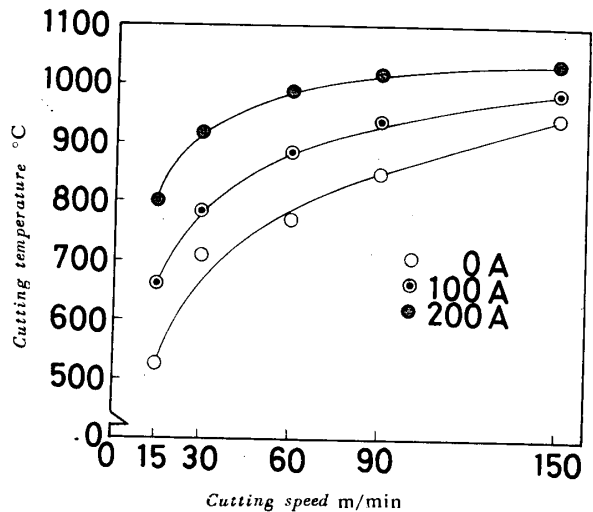


Fig. 3 Relationship between cutting speed and cutting temperature
Work: Titanium alloy
Depth of cut: 1 mm
feed: 0.075mm/rev

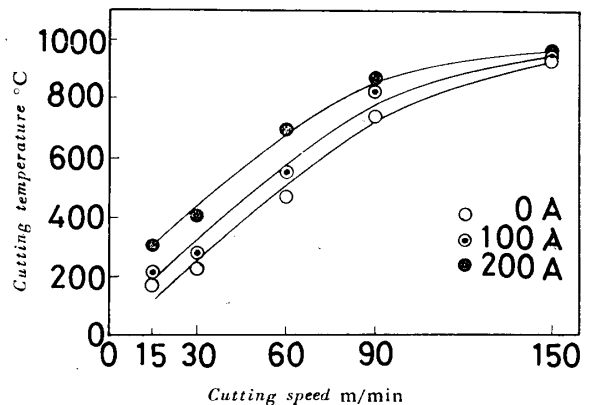


Fig. 4 Relationship between cutting speed and cutting temperature
Work: S45C
Depth of at: 1 mm
feed: 0.075mm/rev

タとして示したものである TA, S45C どちらも切削速度の増加につれ温度は、当然増加するが TA の方が S45C に比べ熱伝導率が小さいため刃先に切削熱が蓄積されやすく低速度域から急激に増加する傾向を示すが、S45C は TA に比べ低速度域でゆるやかな増加を示す。100A, 200A と加熱すると切削温度は増加し、切削速度の増加につれ 0 A の場合と平行して増加する。また加熱による切削温度上昇率は TA の方が S45C に比べはるかに大きくこれからも TA がいかに温度の蓄積されやすい材料であるかがうかがえる。本実験に使用した温度測定方法は工具-被削材熱電対法であるため加熱用大電流により温度測定値に大きな乱れを生じるため通電切削中の温度測定ができず加熱用電流を切った直後の温度を測定した。よって通電切削中の刃先の温度は測定温度より多少高温になっているものと考えられる。

一般に被削材が加熱され高温になると被削材の金属粒子は移動しやすくより無理のない変形をし引張強度も低下するため切削抵抗は減少するものと考えられる²⁾。TA の場合の切削速度と切削抵抗との関係を Fig. 5 に S45C の場合を Fig. 6 に示す。TA は加熱切削されることにより抵抗は減少し、切削速度の増加につれなめらかに減少する。これは Fig. 7 の切削速度と切屑の変形比および Fig. 9 の切削速度と切屑かたさとの関係とも傾向が一致することがわかる。なお本実験は三次元切削であるため切屑変形比は次のようにして求めた。 $\lambda = d/f \cdot \cos\theta$ すなわち d は切屑厚さ、 f は送り、 θ は横切刃角である。Fig. 9 より TA の切屑かたさはひずみ速度の変化、すなわち切削速度の変化にあ

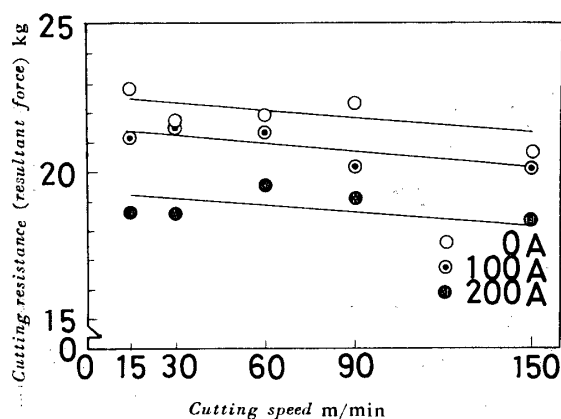


Fig. 5 Relationship between Cutting speed and cutting resistance

Work : Titanium alloy
Depth of Cut : 1 mm
feed : 0.075mm/rev

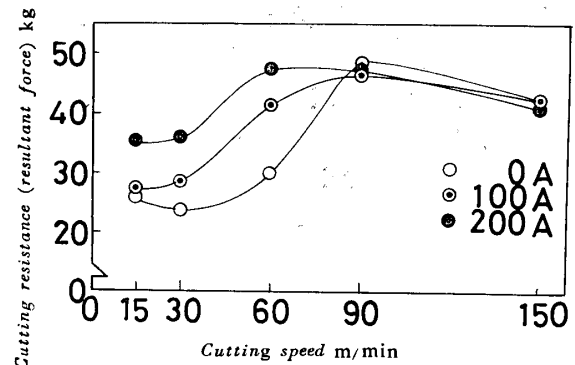


Fig. 6 Relationship between cutting speed and cutting resistance

Work : S45C

Depth of cut : 1 mm

feed : 0.075mm/rev

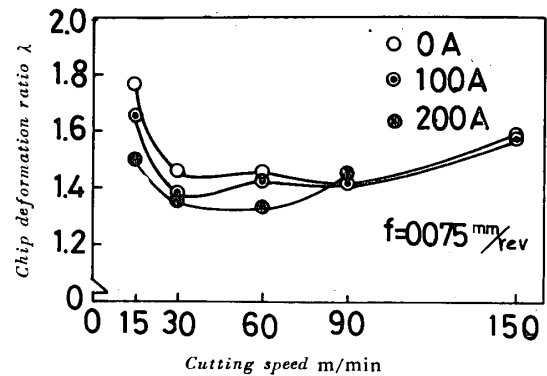


Fig. 7 Relationship between cutting speed and chip deformation ratio

Work : Titanium alloy

Depth of cut : 1 mm

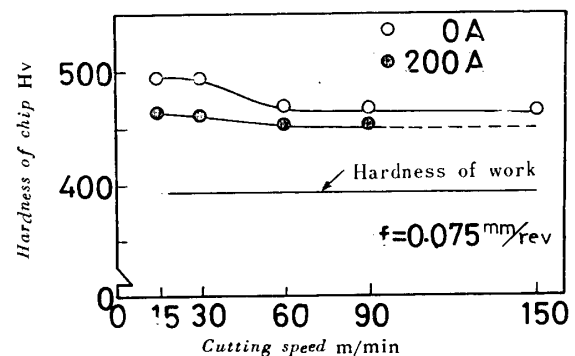


Fig. 9 Relationship between cutting speed and hardness of chip

Work : Titanium alloy

Depth of cut : 1 mm

まり影響されず温度のみに大きく影響され加熱により多少小さい値を示している。

一方 S45C は90m/min 付近を境として大きく傾向を異にするすなわち90m/min 以上では各加熱電流において切削温度に差がなくなるためか抵抗値に差が見られない。しかし90m/min 以下では100A・200Aと加熱するほど抵抗は大きくなる。これは加熱により工具と切屑との密着がはげしくなり工具と切屑の接触長さの増大およびFig. 8に示すように切屑変形比の増大

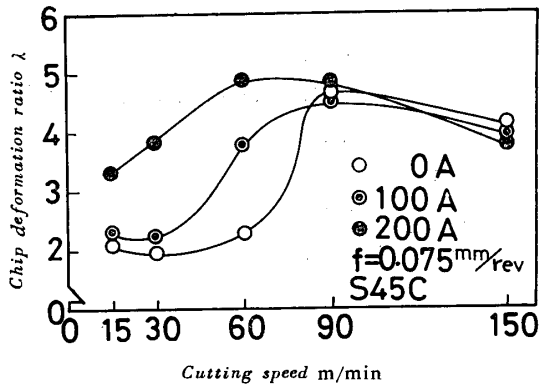


Fig. 8 Relationship between cutting speed and chip deformation ratio
Depth of cut : 1 mm

を招きついでせん断角の減少をきたすためと考えられる。また40m/min 付近から抵抗値が急激に増大し90m/min を最大としてまた減少の傾向を示す。これは40m/min の速度付近でS45Cの脆性の始まる温度域に達するために急激な増加を示すと考えられ、100A・200A と加熱するほどその最大・最小の点がより低速度側へ移動する。これは加熱によりS45Cの脆性の起こる点がより低速度側へ移動したにほかならない。

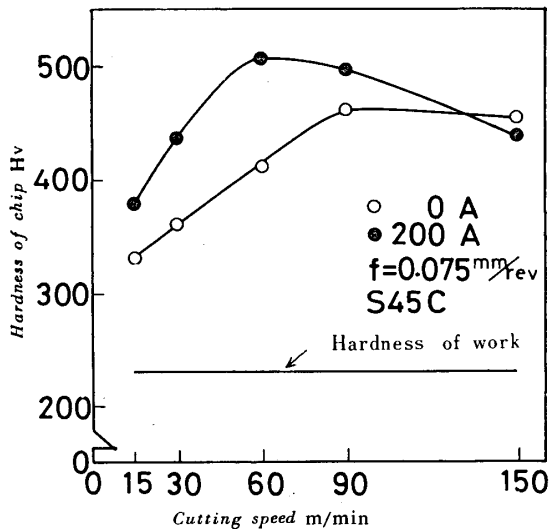


Fig. 10 Relationship between cutting speed and hardness of chip
Depth of cut : 1 mm

これらから S45C の旋削において通電加熱切削は切削抵抗の減少には効果的でないことがわかる。Fig. 10はS45Cの切屑裏面のかたさを200Aと0Aの場合について示したもので、Fig. 8の切屑変形比の傾向ともよく一致し、加熱した方がより高いかたさを示しそれも低速度側がより顕著である。またFig. 9のTAの場合に比較してS45Cの方が加工硬化の度合がより顕著であるといえる。

旋削仕上面あらさは工具刃部形状と送りとからなる理論あらさの値に近くなる正常領域と構成刃先や刃先溶着物および工具摩耗(主に前切刃の境界摩耗)等による影響をうける非正常領域との2つの速度領域に分けて考えられる³⁾。Fig. 11はTAの切削速度とあらさ

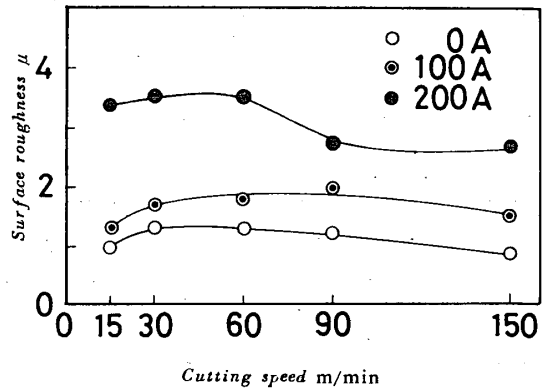
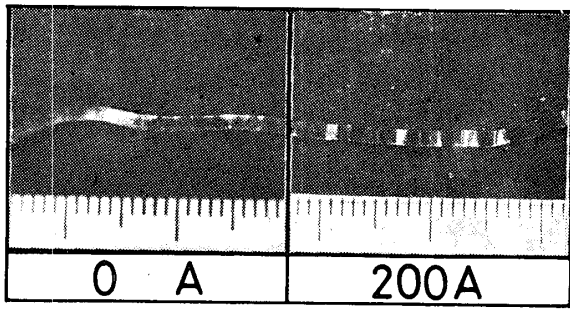


Fig. 11 Relationship between cutting speed and surface roughness
Work : Titanium alloy
Depth of cut : 1 mm
feed : 0.075 mm/rev

の関係を示したものである。TAの場合はあらさに影響をおよぼす構成刃先や刃先溶着物の発生が見られないため切削速度の変化により仕上面あらさに変化は見られず一定した値を示す。また100A・200A と加熱されるほど仕上面あらさは悪化しているが、これは加熱用電流が60サイクルの交流電源を使用しているため1秒間に120回の電流のゼロ値を生じ工具と被削材との接点の温度が非常に速い周期で変化しFig. 12に示すように交流の周波数に合ったでこぼこの多い、すなわちビビリの生じやすい切屑が流出しFig. 14に示すごとく切削抵抗の変動も加熱するほど大きくなるため仕上面あらさが悪化するものと思われる。それに反しS45CはTAのごとく交流の周波数によって切屑の変化およびあらさへの悪影響は見られないが構成刃先の発生によるあらさの乱れがはげしい。切削速度の増加につれ構成刃先の発生が少なくなり、あらさは向上し150m/



$V \times d \times f = 30 \text{ m/min} \times 1 \text{ mm} \times 0.075 \text{ mm/rev}$
 Work: Titanium alloy

Fig. 12 State of chip

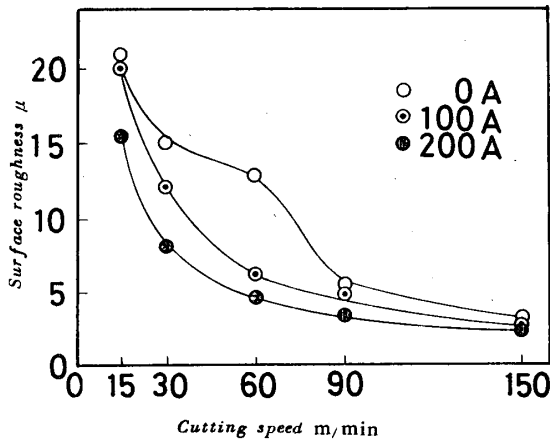


Fig. 13 Relationship between cutting speed and surface roughness

Work: S45C

Depth of cut: 1 mm

feed: 0.075 mm/rev

min 付近の切削速度で定常の状態になる。これも 100 A・200A と加熱電流が大きくなるほど構成刃先およ

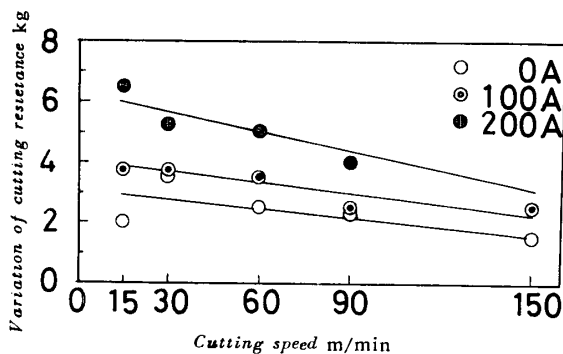


Fig. 14 Relationship between cutting speed and variation of cutting resistance

Work: Titanium alloy

Depth of cut: 1 mm

feed: 0.075 mm/rev

び溶着物の発生が抑制され、あらさは一段とよくなり正常領域と非正常領域との境界がより低速度側へ移動する。Fig. 12の 0 A の場合および Fig. 16 の通常切削の場合 (これはいずれも同じ状態での切削であるが) の仕上面あらさの曲線を見てみると 60 m/min の付近であらさが増加する傾向を示すがこれはこの速度付近で構成刃先の脱落がはげしく脱落片が大きくなるためと考えられる⁴⁾。この傾向は加熱切削では見られなくなり切削速度の増加につれなめらかに減少する。Fig. 15

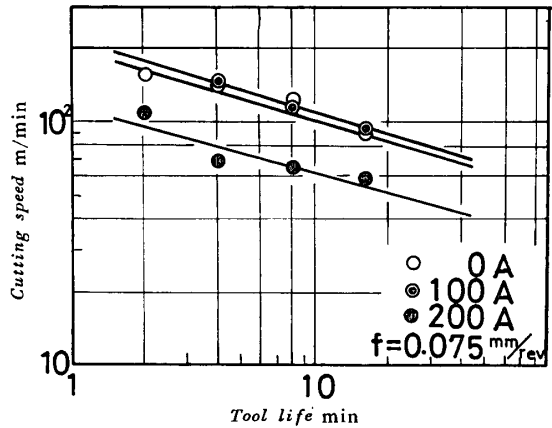


Fig. 15 Relationship between cutting speed and tool life

Work: Titanium alloy

Depth of cut: 1 mm

はTAの場合で逃げ面摩耗が0.4mmに達したときを寿命基準とした寿命曲線である。100A では加熱の程度がかがはげしくないため 0 A の場合と同程度の寿命値を示すが、20A ではかなり寿命値は低下する。これは前述のように加熱電流が交流によるための温度の変動・抵抗値の変動の増大および加熱による工具の軟化が大きく工具寿命を低下させているものと考えられる。

つぎにガソリンバーナ加熱による加熱切削と通常切削との比較を示したのが Fig. 16 および Fig. 17 である。切削は被削材表面温度が300°Cになったときに行なったTAの場合加熱すると抵抗値は減少するが仕上面あらさは変化しない。しかし通電加熱切削に比べ仕上面あらさもよく抵抗値の変動も少なく安定した切削状態である。S45Cをバーナにより全体加熱を行なうと切削温度は通電加熱切削および通常切削に比べ低速度域から急激に増加する傾向を示し被削材が十分に加熱されていることがうかがえる。抵抗値は被削材がすでに脆性温度域以上に加熱されているため通常切削のように切削速度の変化による抵抗値の増減がなく

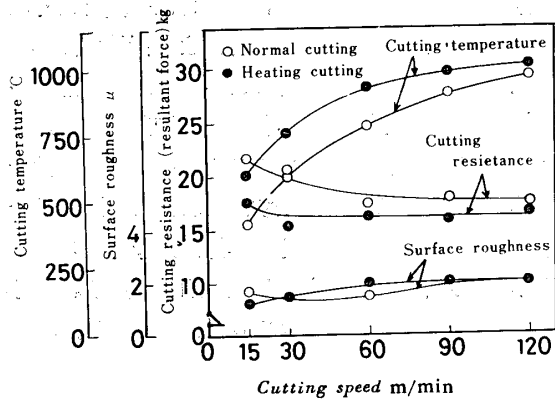


Fig. 16 Machinability of titanium alloy in gasoline burner heating
 Work : Titanium alloy
 Depth of cut : 1 mm
 feed : 0.075mm/rev

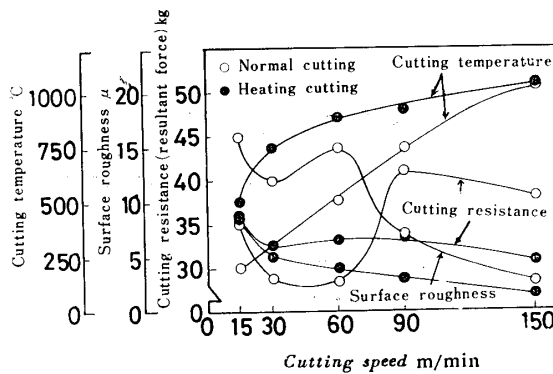


Fig. 17 Machinability of S45C in gasoline burner heating
 Work : Titanium alloy
 Depth of cut : 1 mm
 feed : 0.75mm/rev

安定しており、抵抗の変動もはるかに小さくなる。また仕上面あらさも非常によく切削速度30m/minで、すでに定常状態になるし通電加熱切削の200Aの場合にくらべてもはるかによい仕上面あらさを示す。

4. 結 言

以上を要約するとつぎのとおりである。

- 1) チタン合金を超硬工具K10を用い通電加熱切削すると切削抵抗は減少するが、切削温度が高く工具の軟化がはげしく工具寿命は低下する。また加熱電流が交流であると切削抵抗の変動をまねき仕上面あらさも悪くなる。
- 2) 工具を電極とした通電加熱切削は通常切削の状態では切削点の温度を上昇させたにすぎず構成刃先の生じやすい材料の仕上面あらさの向上には効果的だが、被削性の向上には効果がうすい。それに反しバーナによる全体加熱の場合は被削材が十分に加熱され切削抵抗の変動および抵抗値も小さく仕上面あらさも向上し安定した切削が可能である。

参 考 文 献

- 1) 谷口，藤田：日本機械学会中国，四国支部講演論文集 705, 1 (1970)
- 2) 一宮：日本機械学会論文集 30, 217 (1964)
- 3) 竹山，宮坂 精密機械 35, 10, (1969)
- 4) 大草ほか2名：山口大学工学部研究報告 21, 1 (1970)

(昭和46年4月14日受理)