

# 白金合金 Pt850 の切削における工具摩耗特性\*

佐藤 昌彦\*\* 上田 隆司\*\*\*

Tool Wear Characteristics in Turning of Platinum Alloy Pt850

Masahiko SATO and Takashi UEDA

In turning of platinum alloy Pt850, the wear behavior of tools and the cutting characteristics of Pt850 are investigated experimentally. K10 carbide, cermet, ceramics and PCD are used as tool materials. K10 carbide and cermet are not suitable for the cutting of this material because severe wear on the tool flank was observed after a few second of cutting, that is, the width of the flank wear land was about 1 mm after 10 seconds cutting. The width of wear land of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ceramic tools was small compared with K10 carbide tool, but the cutting forces increased rapidly as the cutting proceed. PCD tool can be used for cutting of Pt850 because the width of flank wear land is much small compared with other tool materials used in this experiment and the increasing rate of cutting force is not so great. The influence of cutting speed on the flank wear of PCD tool is small. The surface roughness of work material Pt850 becomes lower when the smaller feed rate is chosen as a cutting condition and the cutting tool of larger radius corner is used.

**Key words:** turning, platinum alloy 850, K10 carbide tool, ceramic tool, polycrystalline diamond tool, tool wear, surface roughness

## 1. 緒 言

白金およびその合金は、耐食性や耐熱性に優れ、加熱しても酸化されず、高融点であることから、るつばなどの理化学機器、熱電対や抵抗体などの電気機器、電極、貴金属装飾品、歯科・外科等の医療用材料といった幅広い用途に使用されている。白金製品の多くには白金合金が使われるが、鍛造や圧延、引抜き、切削などといった加工は、いずれの場合も小さな変形抵抗で比較的容易に行うことができる。しかしながら、このような優れた加工性にもかかわらず、工具の摩耗は非常に速く、切削加工においても例えば超硬工具ではわずか約10秒の切削で逃げ面摩耗幅が1mm近くにも達し、切削抵抗も急増するなど、極めて大きな難削性を示す。ところで難削材としてはチタン合金やニッケル合金などがよく知られ、これらを基にした種々の合金に対する工具摩耗特性についてはこれまでに数多くの研究報告がなされているが、白金については一般によく知られた金属元素であるにもかかわらず、その切削特性に関する報告例は極めて少なく、難削性を示すことや基本的な工具摩耗特性についてはほとんど知られていない。Rushforth<sup>1)</sup>による報告は数少ないものの一つであるが、白金と金の切削における工具摩耗の比較や引っかき試験における条痕の比較、工具材中の炭素の白金への拡散に関する検討結果が主であり、切削抵抗や工具摩耗の程度・状態については、ほとんど示されていない。

そこで本研究では、白金合金Pt850を被削材として取り上げ、各種工具材および被削材を用いてPt850の切削を行い、基本的な工具摩耗特性について検討した。

## 2. 実験諸元

### 2.1 被削材

被削材として使用したPt850は、白金85%、パラジウム10%、銅5%からなる合金であり、装飾品などに多用されている。主な機械的、熱的物性値を表1に示す。本研究では、Pt850に対する工具摩耗特性を、炭素鋼S45C、ステンレス鋼SUS304、チタン合金Ti-6Al-4Vに対する工具摩耗特性と比較して検討しているため、これらの物性値<sup>2)</sup>も併記している。

Pt850の密度は極めて大きく、S45Cの約2.4倍、Ti-6Al-4Vの約4.2倍である。融点はS45Cと比べて約240℃高く、Ti-6Al-4Vと比べても約80℃高い。熱伝導率はレーザフラッシュ法により測定した。熱伝導率はSUS304の約1.2倍、Ti-6Al-4Vの約2.3倍である。ビッカース硬さは荷重4.9Nで測定した値であり、Pt850の硬さは、表に挙げた材料の中では最も小さい。

その他の性質として、単体の強酸、強アルカリにはほとんど溶けず、大気中で加熱しても酸化されない、王水には溶け、溶融アルカリ、塩素水、臭素水には侵されることなどが挙げられる<sup>3)4)</sup>。

### 2.2 工 具

使用した工具は三角タイプのスローアウェイチップで、すべて市販品である。工具材は、超硬、サーメット、窒化けい

Table 1 Material properties of workpieces

	Density × 10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>	Melting point °C	Specific heat J/kgK	Thermal conductivity W/mK	Thermal diffusivity × 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s	Vickers hardness HV
Platinum alloy Pt850	18.6	1741	150	18.7	6.70	132
Carbon steel S45C	7.84	1498	492	44	11.4	196
Stainless steel SUS304	8.03	1504	502	15	3.72	210
Titanium alloy Ti-6Al-4V	4.43	1660	510	8	3.54	171

\* 原稿受付 平成12年9月28日

\*\* 正 会 員 富山県立大学工学部 (富山県射水郡小杉町黒河5180)

\*\*\* 正 会 員 金沢大学工学部 (金沢市小立野2-40-20)

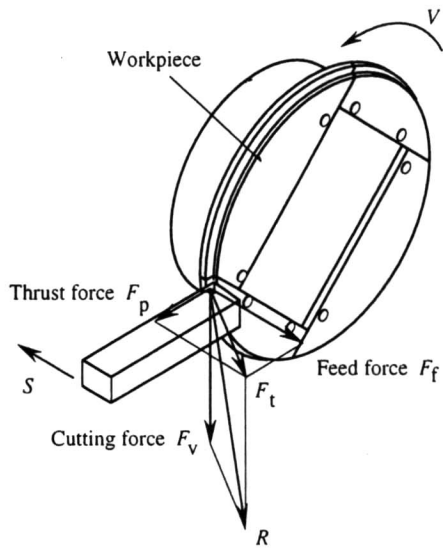


Fig.1 Setup for turning test of platinum alloy

素 ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), アルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), 多結晶ダイヤモンド (PCD) とし, サーメット,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  など, 購入時にチャンファがついていたものはラッピングにより取り除いて工具形状を統一した。

### 2.3 実験装置と実験条件

切削は精密旋盤 (昌運 ST-5) による長手方向の旋削である。Pt850 に関しては, 多くの量を用意することができなかったため, 図 1 に示すように厚さ 3mm の板片を組み合わせて直径 200mm の円板状とし, その外周旋削を行った。その他の被削材は直径 60mm の丸棒の外周旋削である。切削抵抗は切削動力計 (佐藤マシナリー, AST-TTH) によって 3 分力を測定し, 動ひずみ計を介してペンレコーダに記録した。工具摩耗は, 光学顕微鏡および電子顕微鏡により測定した。Pt850 は, 圧延材を 950℃ で 30 分間保持のあと炉冷したものを使用している。

主な切削条件は, 切削速度  $V: 3.3\text{m/s}$ , 切込み  $a: 1\text{mm}$ , 送り  $S: 0.025\text{mm/rev}$  であり, 工具は, 垂直すくい角  $\gamma_0: 5^\circ$ , 垂直逃げ角  $\alpha_0: 6^\circ$ , アプローチ角  $\Psi: 0^\circ$ , コーナ半径  $r_e: 0.4\text{mm}$  である。切削液は使用しておらず, 乾式とした。

## 3. 実験結果

### 3.1 Pt850 に対する工具摩耗特性—他の被削材との比較—

#### a) 超硬工具による結果

一般的な工具材である超硬工具 K10 を用いて, Pt850, S45C, SUS304, Ti-6Al-4V の切削を行い, 基本的な工具摩耗特性について調べた。

図 2 は切削開始から約 10 秒後におけるすくい面と逃げ面の状態で, 上段がすくい面, 下段が逃げ面である。

図から明らかなように, Pt850 を切削した場合の逃げ面は, 難削材と言われる SUS304, Ti-6Al-4V と比べても極めて激し

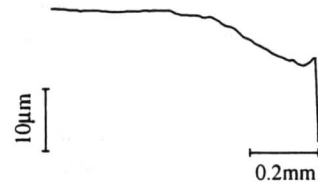


Fig.3 Profile of crater wear of K10 carbide tool  
Workpiece: Pt850, Cutting time: 8.2 s

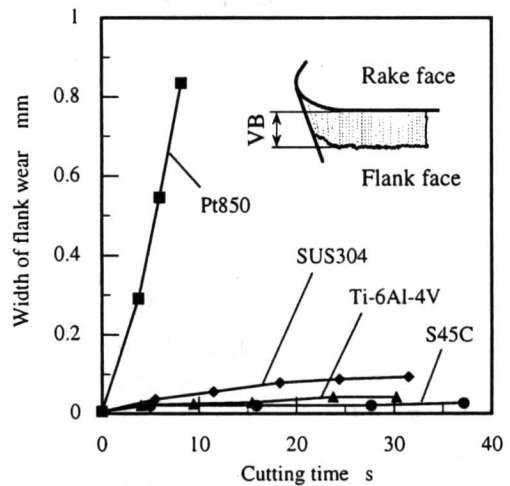


Fig.4 Variation of width of flank wear with cutting time  
Tool: K10 carbide

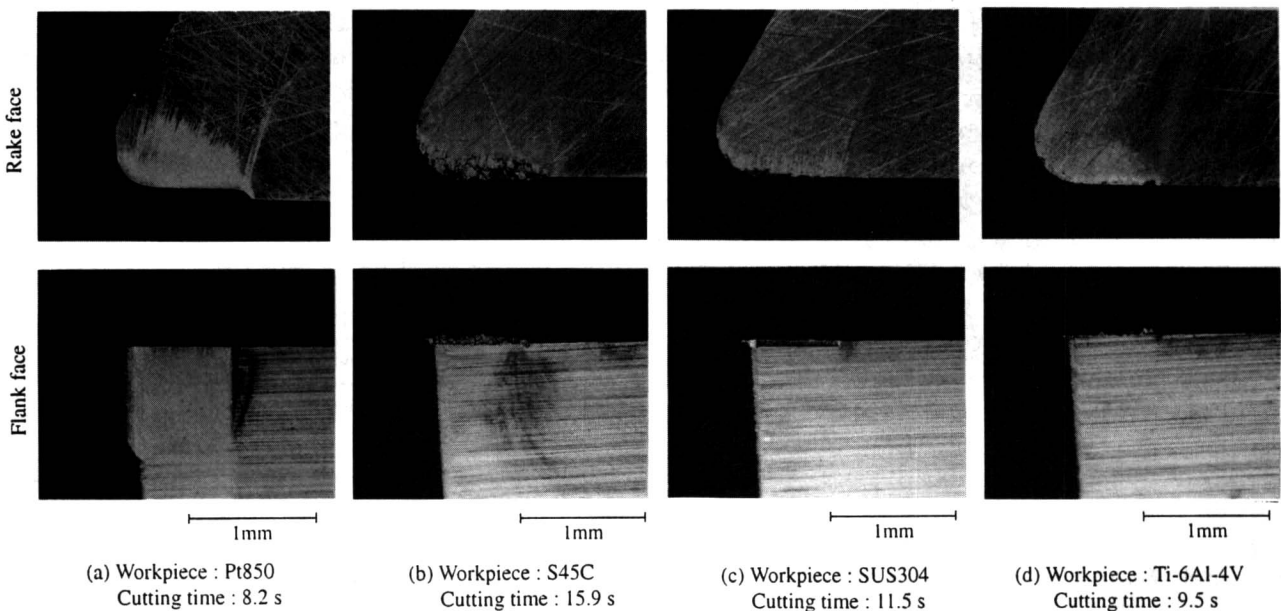


Fig.2 Wear patterns of K10 carbide tool

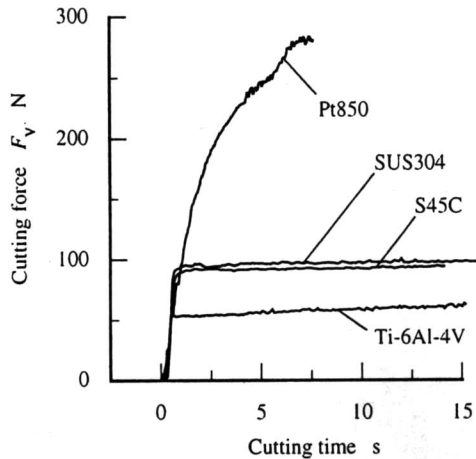


Fig.5 Behavior of cutting force  $F_v$  during turning  
Tool : K10 carbide

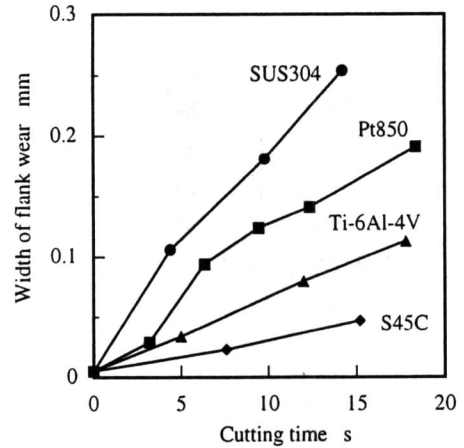


Fig.7 Variation of width of flank wear with cutting time  
Tool :  $Al_2O_3$  ceramic

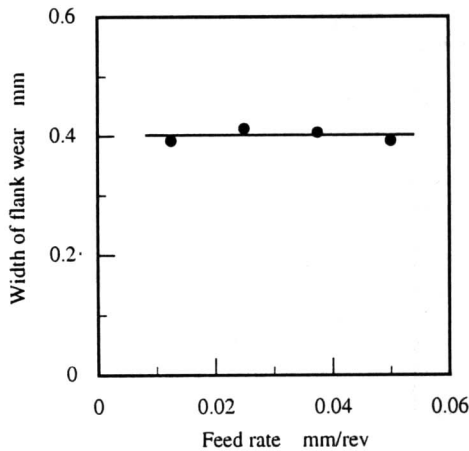
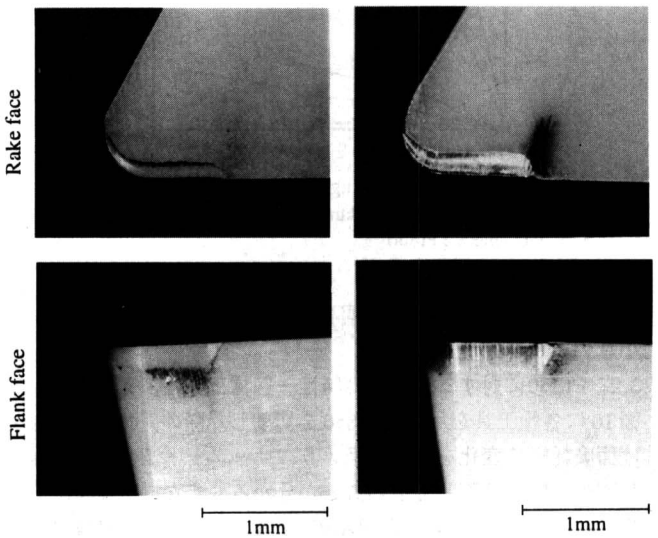


Fig.6 Relation between feed rate and width of flank wear  
Tool : K10 carbide, Workpiece : Pt850  
Cutting length : 16.5m



(a) Workpiece : Pt850  
Cutting time : 15.0 s  
(b) Workpiece : SUS304  
Cutting time : 18.4 s

Fig.8 Wear patterns of  $Al_2O_3$  ceramic tool

く摩耗していることが分かる。また、すくい面においては被削材の凝着が観察されるが、構成刃先は生成されていない。すくい面形状を表面粗さ計で主切れ刃に対して直角方向に測定した結果を図3に示す。すくい面摩耗は約 $7\mu m$ であり、逃げ面摩耗に比べると極めて小さいことが分かる。

切削に伴う逃げ面摩耗幅の変化を図4に示す。逃げ面摩耗幅VBは図中に示す箇所の長さであり、切削を適宜中断し、その都度工具を光学顕微鏡で観察して測定した。

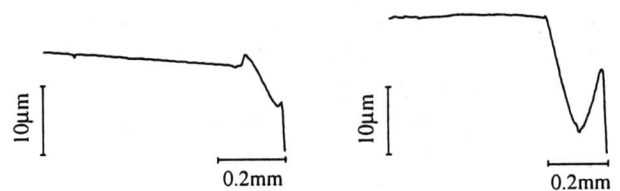
Pt850に対する逃げ面は切削開始直後から急激に摩耗し、切込みが1mm、送りが $0.025mm/rev$ と比較的軽切削にもかかわらず、切削開始後わずか10秒ほどで摩耗幅は1mm近くにも達する。他の被削材に関しては、切削時間約30秒においても摩耗幅は0.1mmに満たない程度である。

切削中の切削抵抗の主分力の変化を図5に示す。逃げ面摩耗の進行に伴ってPt850に対する切削抵抗は急増し、切削開始から約10秒後には約300Nと、例えばS45Cを同じ条件で切削した場合の約3倍にも達し、切削の継続は困難となる。

図6は送りと逃げ面摩耗幅との関係である。摩耗幅は送りの影響をほとんど受けないことが分かる。

b)  $Al_2O_3$  工具に対する結果

代表的なセラミックス工具である $Al_2O_3$  工具を用いて各被削材を切削した際の、各被削材に対する逃げ面摩耗幅の変化を図7に示す。切削条件は超硬工具の場合と同様である。Pt850に対する $Al_2O_3$  工具の逃げ面摩耗の速さはSUS304とTi-6Al-4Vの中間程度であることが分かる。図8はPt850とSUS304を



(a) Workpiece : Pt850  
(b) Workpiece : SUS304

Fig.9 Profile of crater wear of  $Al_2O_3$  ceramic tool

約15秒切削した後のすくい面と逃げ面の状態であり、図9はこの時のすくい面形状を表面粗さ計で主切れ刃に対して直角方向に測定した結果である。これらより、SUS304の場合にはすくい面に大きなクレータが生じているのに対し、Pt850の場合にはすくい面の摩耗は小さく、切れ刃部にかけてほぼ直線的であることが分かる。また、SUS304の場合には被削材がすくい面および逃げ面に凝着しているのに対し、Pt850の場合には切りくず離脱端に切りくずの付着が観察される程度で、凝着はほとんど生じていない。

表2は、各被削材に対する切削抵抗の主分力を、工具摩耗の小さな切削初期の段階の値と比較したものである。Pt850の

Table 2 Comparison of cutting force  $F_v$

Workpiece	Cutting force $F_v$ N
Pt850	54.6
Ti-6Al-4V	57.0
SUS304	85.2
S45C	95.1

Tool :  $Al_2O_3$  ceramic

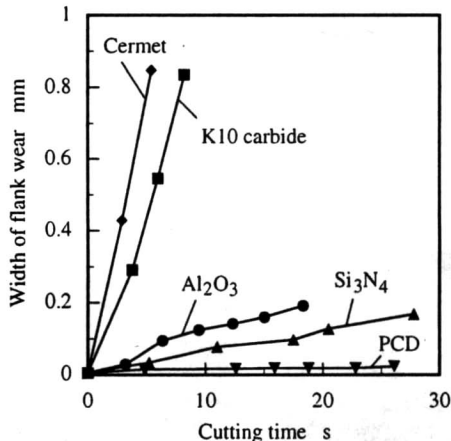


Fig.10 Variation of width of flank wear with cutting time  
Workpiece : Pt850

切削抵抗は、Ti-6Al-4V とほぼ同程度、S45C の 6 割程度と比較的小さいことが分かる。

### 3.2 Pt850 に対する工具摩耗特性—各種工具による違い—

図 10 に各種工具を用いて Pt850 を切削した際の、各工具の逃げ面摩耗幅の変化を示す。図より、サーメット工具も超硬工具同様に摩耗は著しく速いことが分かる。また、セラミックス工具では  $Si_3N_4$  工具の方が  $Al_2O_3$  工具よりも耐摩耗性はよい。PCD 工具では、初期摩耗がわずかに生じるものの、逃げ面の摩耗は使用した工具の中では最も小さい。

切削後のそれぞれの工具の逃げ面を電子顕微鏡で観察した結果を図 11 に示す。観察箇所は図に示すように逃げ面摩耗痕のほぼ中央上部である。いずれの工具においても逃げ面への被削材の凝着は少なく、切削方向と平行に逃げ面と被削材との擦過痕が多数観察できる。このうち超硬工具に関しては、超硬粒子が脱落してできたと思われる孔が数多く散在し、その部分に被削材が入り込むように付着していることから、引っかきによる摩耗と粒子の脱落による摩耗とが混在した形態であると考えられる。サーメット工具に関しては、摩耗速さは超硬工具とほぼ同じであるが、超硬工具に比べて被削材の付着はかなり少なく、逃げ面のほぼ全面にわたって細かな引っかき痕からなっており、さらに  $Al_2O_3$  工具に関しては被削材はほとんど付着しておらず、多数の引っかき痕からのみになっていることが分かる。超硬工具とサーメット工具とにおける摩耗形態の違いなどを細かく検討する必要はあるが、逃げ面摩耗はアブレイブ摩耗が主体であり、工具硬度が高いほど摩耗量は少ないと考えられる。

図 12 は、各種工具による Pt850 切削時の主分力の時間変化である。超硬、サーメット工具では切削抵抗が切削開始と共に急激に増加すること、セラミックス工具の場合でも切削開始から約 20 秒ほどで初期の抵抗の 1.5 ~ 2 倍程度に大きくなること、PCD 工具では切削抵抗にほとんど変化がなくほぼ一

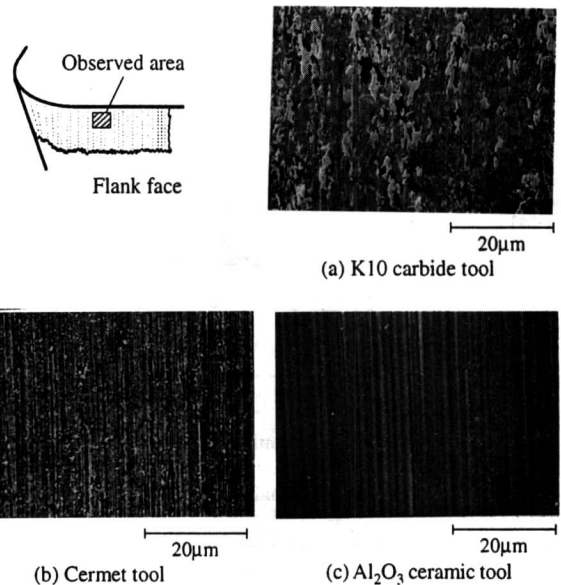


Fig.11 SEM photograph of flank wear land

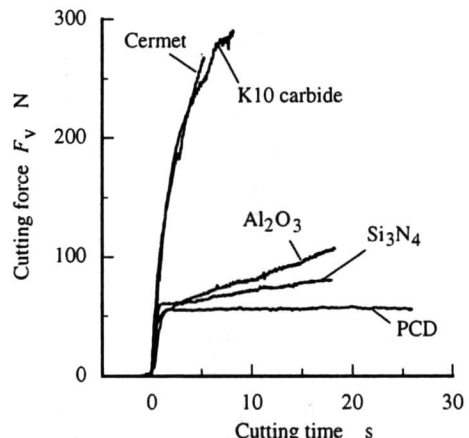


Fig.12 Behavior of cutting force  $F_v$  during turning  
Workpiece : Pt850

定であることなどが分かる。

### 3.3 PCD 工具による切削特性

Pt850 は貴金属材料で高価でもあることから削り取り量は一般に少なく、切込みや送りは小さな場合が多い。そのため、工具の微小な摩耗が加工精度に及ぼす影響は相対的に大きく、使用した工具の中で実用的なものは PCD 工具となる。そこで、PCD 工具を用いた場合の、Pt850 に対する切削速度の影響や仕上げ面粗さについて検討した。

図 13 は PCD 工具を用いた場合の切削速度と逃げ面摩耗幅との関係である。切削距離はいずれの切削速度においても約 90m である。切削速度が低くなるにつれて摩耗は小さくなるが、実験した 1.7 ~ 6.7 m/s の範囲においては切削速度の影響は小さいといえる。これは、切込みや送りが小さいことや PCD 工具の熱伝導率が高いことなどから切削温度が低く、熱的な影響が小さいためと考えられる。また、切削速度が切削抵抗に及ぼす影響については、図 14 に示すように、1.7 ~ 6.7 m/s においては 3 分力ともほとんど変化はなかった。図 15 は切りくずの外観であるが、PCD 工具による切りくずは基本的に流れ型である。

図 16(a) は、PCD 工具による Pt850 の仕上げ面最大粗さ  $R_y$  と切削速度との関係である。切削速度が小さくなるにつれて仕

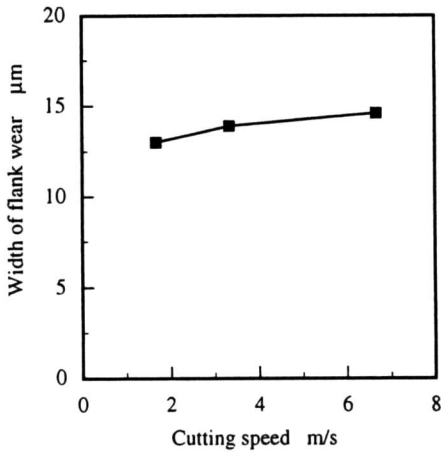


Fig.13 Relation between cutting speed and width of flank wear  
Tool : PCD, Workpiece : Pt850  
Cutting length : 90m

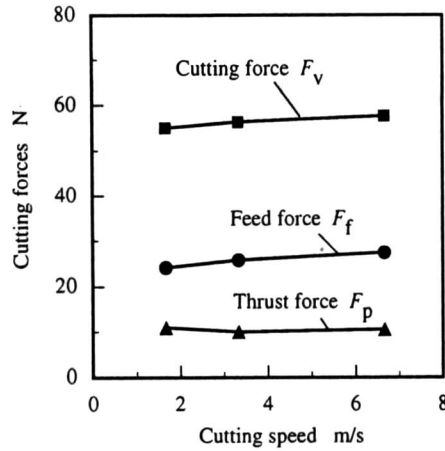


Fig.14 Relation between cutting speed and cutting forces  
Tool : PCD, Workpiece : Pt850

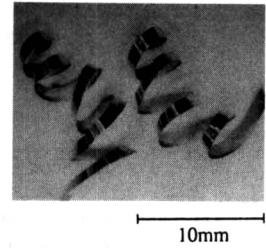
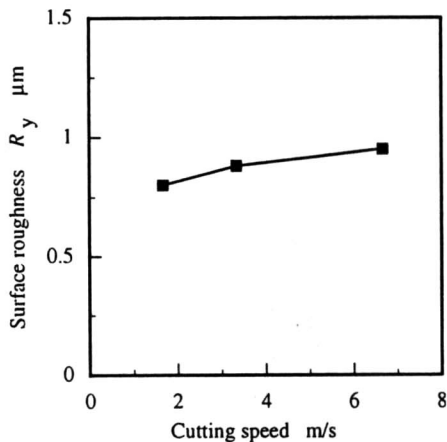
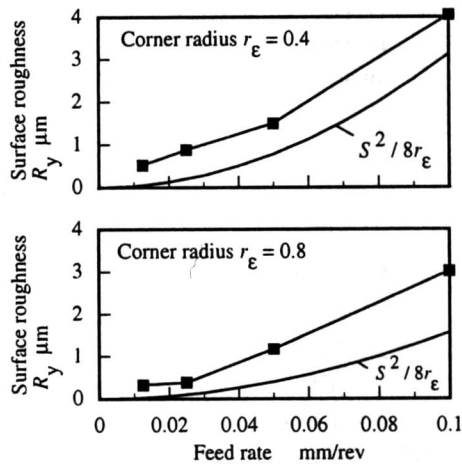


Fig.15 Typical chips of Pt850 with PCD tool



(a) Effect of cutting speed  
Feed rate : 0.025mm/rev  
Corner radius :  $r_\epsilon = 0.4$



(b) Effect of feed rate and nose radius  
Cutting speed : 3.3 m/s

Fig.16 Variation of surface roughness  $R_y$   
Tool : PCD, Workpiece : Pt850

上げ面粗さは小さくなる傾向にあるがその差はわずかであり、切削速度による仕上げ面粗さの変化は小さいといえる。仕上げ面粗さ  $R_y$  に及ぼす送り  $S$  とコーナ半径  $r_\epsilon$  の影響を同図(b)に示す。図中の曲線は理論粗さ  $S^2/8r_\epsilon$  である。仕上げ面の粗さは理論粗さより大きい、増減の傾向はほぼこれに従っていることから、送りを小さく、コーナ半径を大きくすることは仕上げ面粗さを小さくすることに有効である。

#### 4. 結 言

白金合金 Pt850 に対して切削加工を行い、その工具摩耗特性について検討した。得られた結論を以下に示す。

- (1) 超硬工具およびサーメット工具は、切削開始後直ちに逃げ面が著しく摩耗し、ほとんど使用できない。
- (2) セラミックス工具では、超硬工具に比べて逃げ面摩耗は小さいが、摩耗による切削抵抗の増加などから実用的ではない。
- (3) PCD 工具は超硬工具やセラミックス工具に比べて工具

摩耗が小さく切削抵抗も安定しており、Pt850の切削に使用できる。

- (4) PCD 工具の逃げ面摩耗に及ぼす切削速度の影響は小さい。
- (5) 仕上げ面粗さは、送りが小さく、工具のコーナ半径が大きいほど小さくなるが、切削速度の影響は小さい。

#### 謝 辞

本研究で被削材として用いた Pt850 を御提供頂いた(株)桑山海原康広氏に感謝致します。

#### 参 考 文 献

- 1) R.W.E.Rushforth : Machining Properties of Platinum, Plat. Met. Rev., 22, 1, (1978) 2.
- 2) 機械工学便覧, 日本機械学会編, 丸善, (1987) B4-7.
- 3) 金属便覧, 改訂5版, 日本金属学会編, 丸善, (1990) 651.
- 4) 理化学辞典, 第4版, 久保亮五ほか編: 岩波書店, (1987) 983.