

切削工具材の被研削性に関する研究 (第3報)*

—加圧研削における超硬合金材種の影響—

大草喜太雄**・山本 英司**・益富 雅之**

Study on Grindability of Cutting Tool Materials (3rd Report)

—Effect of Sintered Carbide Grades in Free Infeed Plunge-cut Grinding—

Kitao ŌKUSA, Eiji YAMAMOTO and Masayuki MASUDOMI

Abstract

The machining of cemented carbides after sintering is done mainly by grinding operation. They are very hard and brittle in comparison with high speed steels. Therefore grinding cracks occur easily in grinding operation of sintered carbides.

Grindability of sintered carbides (JIS.P10, P30, K10, K30) is examined in free infeed plunge-cut grinding with silicon carbide grinding wheel.

The results obtained are as follows.

1. Metal removed is more affected by grinding cracks and pitts than hardness of sintered carbides. This is different from the grinding of high speed steels in previous reports^{1),2)}.
2. More wheel wear appears in the grinding of hard sintered carbides.
3. Grinding ratio of P grades is larger than K grades.

1. 緒 言

焼結後の超硬合金の機械加工は主として研削加工によって行なわれているが、前報^{1),2)}に述べた高速度鋼 (HRC=66~67.5≒HV855~900) と比べると、超硬合金 (HV1359~1673) は WC が主成分のためかたさが著しく硬い。また超硬合金は高速度鋼に比べ脆く、欠け易いため、研削においても研削クラックが発生し易く、GC 砥石による研削状況は WA 砥石による高速度鋼の研削とはかなり異ると考えられる。

本実験では金属切削用超硬合金のうち、鋼用の P 種と鋳鉄用の K 種より、硬い材種 P10, K10 と比較的やわらかい材種 P30, K30 の 4 種を選び、GC 砥石による加圧研削を行なった。実際に行なわれている油圧送りによるプランジ研削や手砥ぎなどは一種の加圧研削に近似するとみなされよう。なお実験では砥石の結合度、荷重をも変え、それらの影響についても調べた。

2. 実験方法

使用した被研削性試験機は自家製 (電動機 0.5HP, コップ無段変速機付き) で、これに Fig. 1 に示す加圧装置を製作して取り付けた。図中、We1, We2 は荷重負荷用重りで、C 点を支点としたテコ式の加圧研削装置である。なお C 点と超硬合金の研削面はあらかじめテーブルに垂直な同一線上にあるようにセットした。砥石の摩耗に対しては加圧台を摺動できるようにして、常に研削砥石に水平方向の一定荷重がかかるようにした。実験条件の範囲では砥石、被研削材に異状な振動が生じず、スムーズな研削が行なわれた。

被研削材には超硬合金 P10, P30, K10, K30 の 4 種類 (寸法 5 mm×10 mm×20 mm) で、それぞれの成分およびかたさを Table 1 に示す。砥石は平型、GC80 (G, H, I) 9V で、寸法は 180φ×10×31.75φ である。

砥石の直径は 170φ になるまで使用したが、砥石の周速度 V はコップの無段変速機を用い、 $V=1400\text{m}/\text{min}$ で一定となるように調節した。加圧荷重 L は 500g と 1000g の乾式研削である。

目直しは手送りによって行ったが、その手順は 20 μ の切込みで 3 回と最終切込み 10 μ で 2 回行ない、その条件を一定とするようにした。

* 昭和44年11月28日 精機学会松山地方講演会にて講演

** 生産機械工学教室

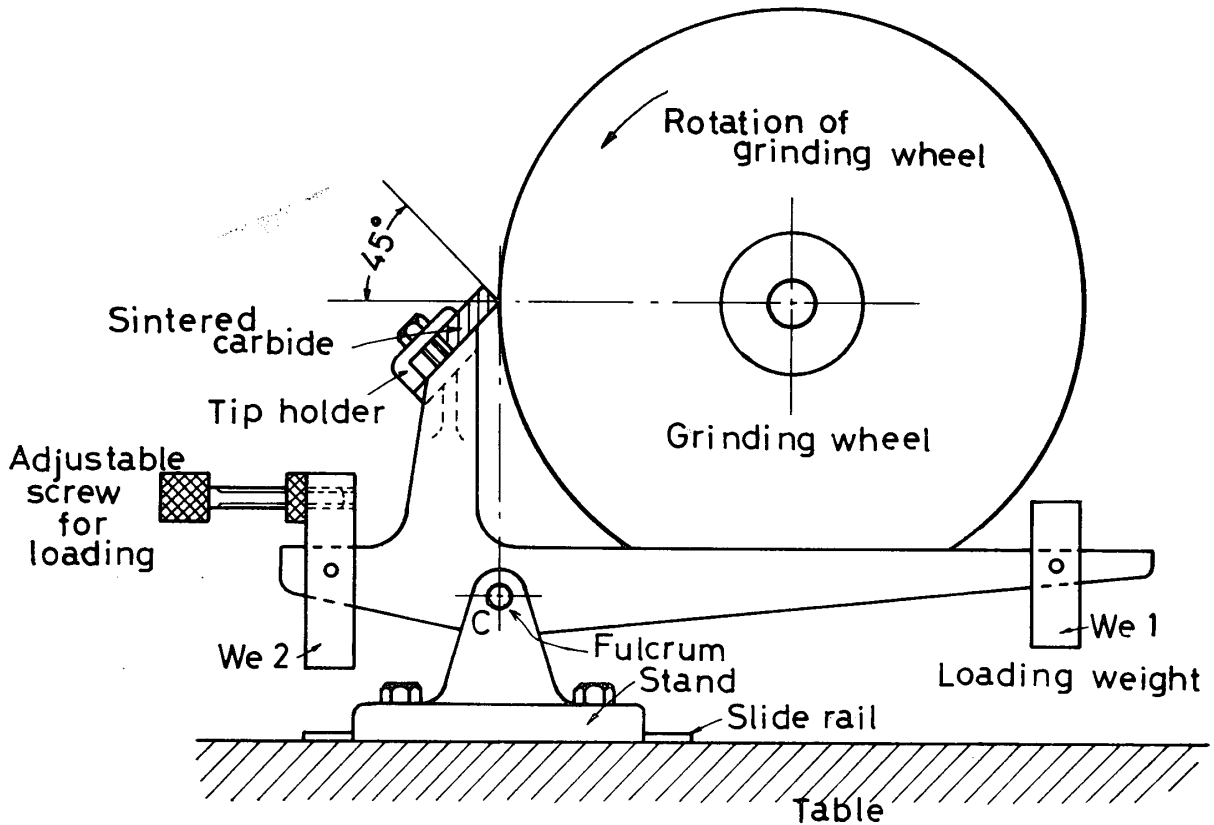


Fig. 1 Loading device

Table 1 Hardness and chemical composition of sintered carbides used for experiment

Sintered carbide		P 10	P 30	K 10	K 30
Chemical composition	Co	6.0	10.0	4.0	8.0
	TiC+TaC	25	10	—	—
	WC	69	80	96	92
Hardness Hv (Load 30kg)		1673	1359	1628	1433

測定項目は研削量 $W_w(\text{cm}^3)$, 砥石損耗量 $W_g(\text{cm}^3)$ 研削抵抗 $T(\text{g})$, および計算による研削比 G であるが, 途中10分毎に研削を中止しそれらを測定した. その方法の詳細は下記のごとくで, 実験では砥石の損耗状態と研削面を顕微鏡で観察した.

2.1 研削量

研削量は Fig. 1 に示したごとく, 超合金チップを水平に対し 45° の角度で取り付けただので, 研削が進むにつれて, 砥石と被研削材との接触面積が増大するが, 砥石と被研削材の接触弧に対し砥石の直径がは

るかに大きいので, Fig. 2 の a, b を測定し,

$$W_w \doteq \frac{1}{16} \times 1 \text{ cm} \times (a+b)^2 \quad (\text{cm}^3)$$

なる式で求めた. 寸法 a, b は顕微鏡を用いて計った. なお, a, b の両寸法を測定したのは取付け誤差を考慮したためである.

研削量の増大と共に砥石と被研削材との接触面積 A は増大し, 単位接触面積当りの荷重 L/A の減少は避けられないが, それらの関係を Fig. 3 に示す.

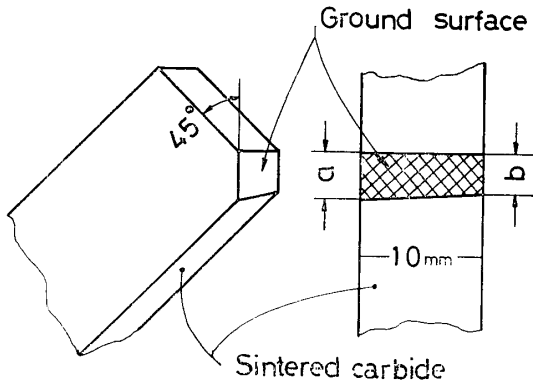


Fig. 2 Size of ground surface

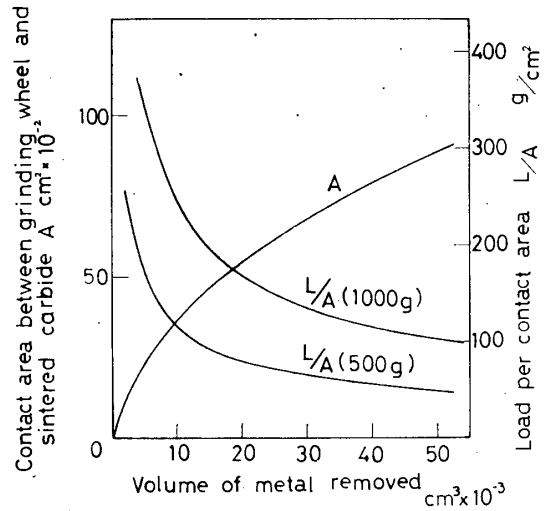


Fig. 3 Relation between contact area, load per contact area and volume of metal removed

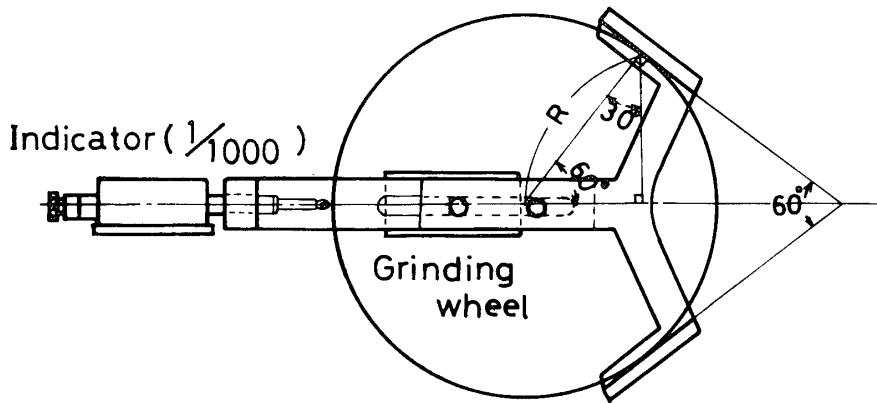


Fig. 4 Measurement device of grinding wheel diameter

2.2 砥石損耗量

研削後の砥石径(半径減)をFig. 4に示す砥石径測定装置によって1/100まで、砥石のあらかじめ定めた個所(4ヶ所)を測定した。そしてその測定値の平均値×2/3を砥石径減量とし、次式によって砥石損耗量を計算した。

$$Wg = \pi DB \Delta R \quad (\text{cm}^3)$$

ただし、 D は研削前の砥石直径(cm)、 B :砥石幅(cm)、 ΔR :砥石半径減(cm)

2.3 研削抵抗

本実験は加圧研削であるので、研削時の動力は主に研削砥石の回転に費されるから、研削時の入力を電力計(横河電気、DPW-3形)で計り、次式によって接線方向の研削抵抗(g)を計算によって求めた。

$$T = \frac{102 \times 6000}{\pi DN} \times Wt \times \psi$$

N :砥石回転数(r.p.m.), Wt :研削時の研削盤への入力から砥石空転時の研削盤への入力を差し引い

た研削の正味消費電力(Watt)である。 ψ :力率(本実験では $\psi=0.45$)

2.4 研削比

研削比は Ww/Wg より計算で求めたが、研削比が大きいことは単位砥石損耗量当りの被研削材の研削量が多いことを意味し、研削としては好ましい。

3. 実験結果およびその考察

3.1 顕微鏡観察

まず研削現象を検討するため、被研削材の仕上面、砥石の表面を顕微鏡で観察した。

Fig. 5の(a)は荷重500gで砥石はGC 80 Iで研削したものであるが、他のものに比べると仕上面が平坦で、擦られたようになっている。これは荷重が小さく、かつ砥石の結合度も強いので、砥粒の脱落が比較的少く、より摩耗した砥粒で研削されたためである。またP10は硬い材種なので、このような比較的軽研削

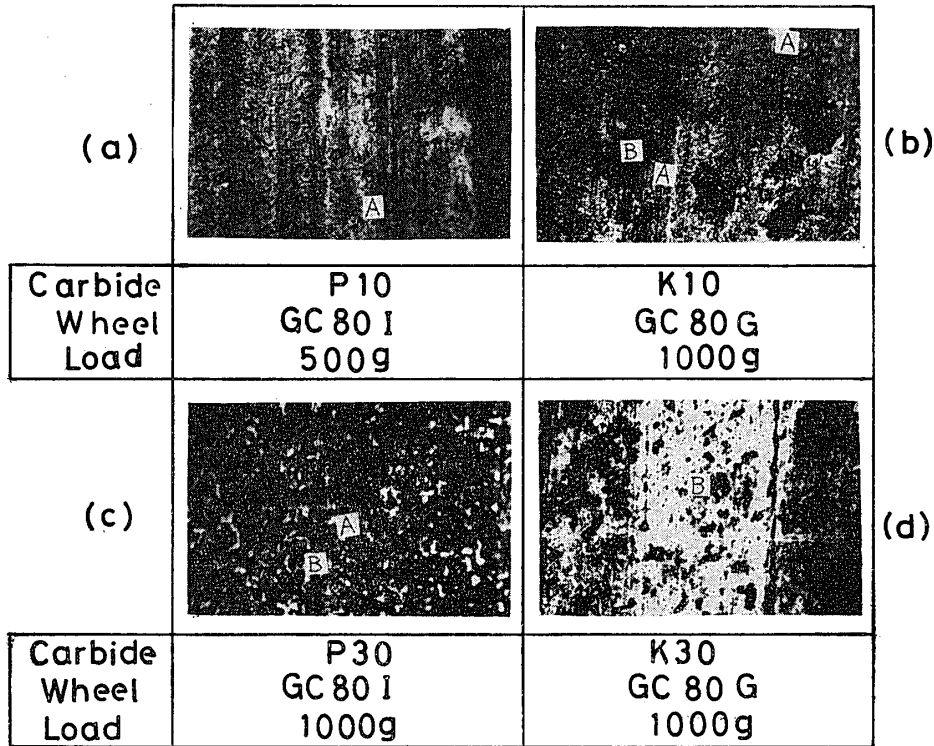


Fig. 5 Ground surfaces of sintered carbides (×400)

A: Crack, B: Pit

にてもかなり多くの研削クラック（図中記号Aで示す）が見られる。しかしこの研削クラックは顕微鏡倍率100倍でははっきり認められない微細なもので、ダイヤモンド砥石で仕上げると簡単に取り除かれるものである。

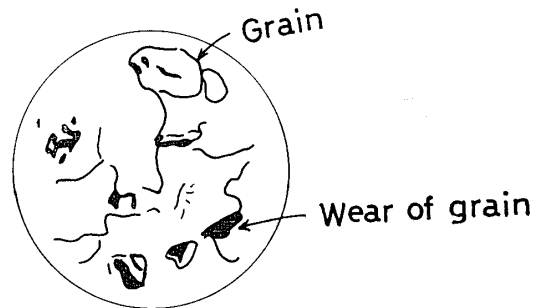
同じく Fig. 5 の(b), (c), (d)は荷重1000gの時の写真であるが、荷重が大きいので、いずれの場合も研削面に研削クラックや直径約0.01mm以下のくぼみ（図中記号Bで示す）が見られる。特に硬いK10では、砥石の結合度Gと弱いため脱落し易く、従って砥粒の摩耗も少く、いいかえれば切れ味が良いと考えられる場合でも、著しい研削クラックが発生すると同時にくぼみも大きい。

従って、超硬合金をGC砥石で研削すると、研削クラックおよびくぼみが発生し、その傾向は硬い材種P10やK10で著しい。また結合度の強い砥石では研削面が平坦になり易い。

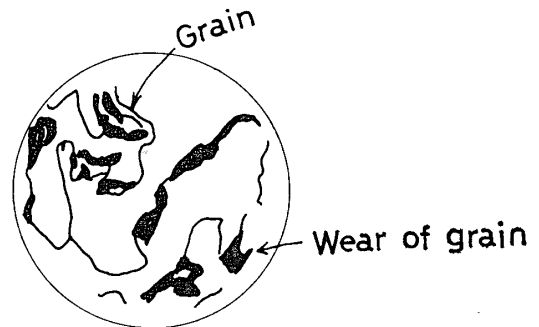
砥石の表面はFig. 6にその一例を示すが、砥粒質が変らないのに結合度Iとそれが強いもので、摩耗が多いのは、砥粒の脱落が少く、結局切れ味も悪いものと考えられ、前述の仕上面の考察と一致している。

3.2 研削量

超硬合金は Table 1 に示したごとく、非常に硬い材



GC 80-G-9-V



GC 80-I-9-V

Fig. 6 Sketch of grains
Work material K30, Load 1000g
Grinding time 60min

種であり、その反面靱性に劣るので、砥粒によるすき
 りのほか、前述のごとく研削クラックやWCなど炭
 化物のほり起しが生じ易い。従って研削量に影響をお
 よぼす因子としては、それらの直接的なものが考えら

れる。

本実験での研削時間と研削量の関係をFig. 7, Fig.
 8に示す。その結果いずれの場合も硬いP10で研削量
 が多く良い結果が得られた。

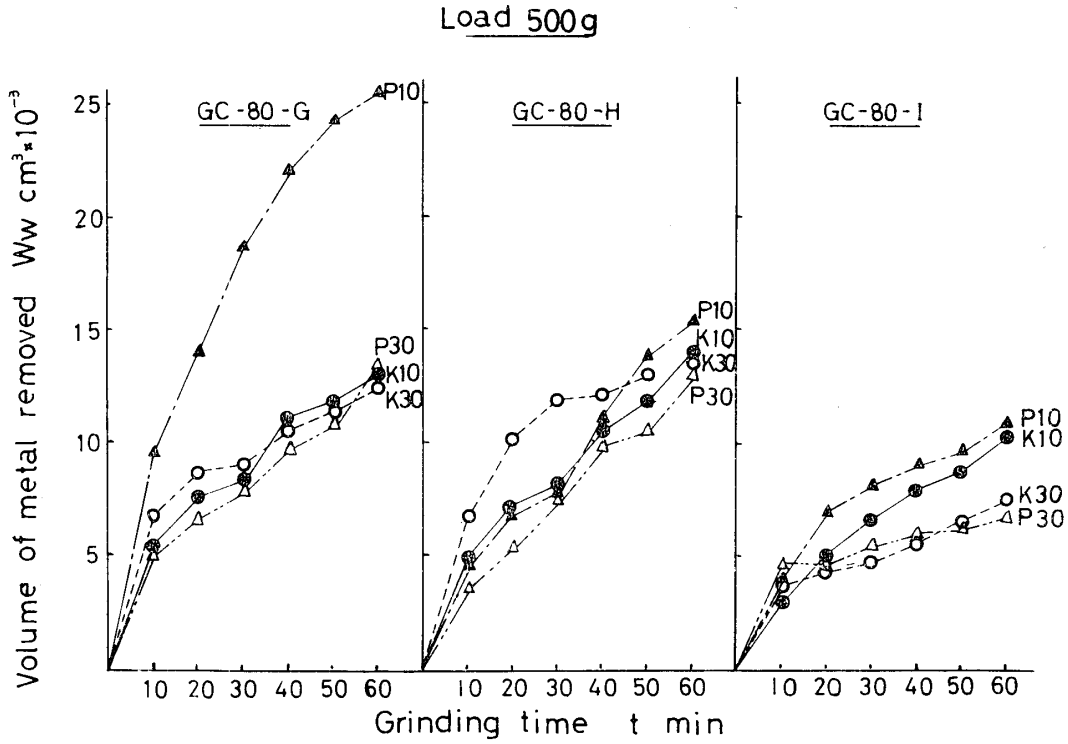


Fig. 7 Relation between volume of metal removed and grinding time in each sintered carbide

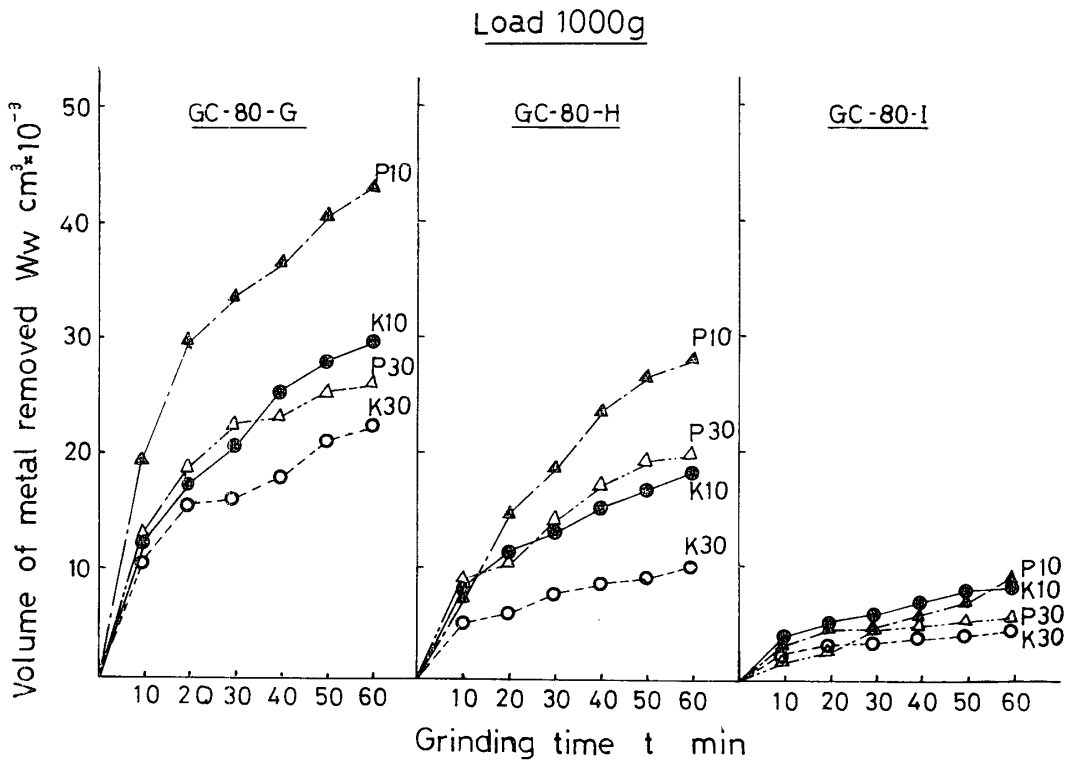


Fig. 8 Relation between volume of metal removed and grinding time in each sintered carbide

P種とK種では前者はTiCやTaCを含んでいるのに、後者ではそれを含まず、成分的にかなり異なるので、両者を分離してTable 1と対応してみるとP10>P30, K10>K30の順に研削量が少くなり、TiCやTaCが多いかあるいはCoの少ないものほど研削量が多くなっている。即ち、高速度鋼²⁾などの場合にみられるかたさの大小との対応性が相反している。

そこでこれらの仕上面を顕微鏡で観察すると、Fig. 5に示した細い研削クラックやほり起しがP10, K10でかなり多いので、硬いが靱性の少ない材種では研削クラックやほり起しにより、研削量が多くなったもので、超硬合金の研削における特徴であると考えられる。(研削クラックについては次報で述べる。)

同一材種番号のP種とK種、つまりP10とK10あるいはP30とK30の研削量を比べるとP10>K10である。P30とK30では荷重500gの場合には両者の研削量の差が少く明白でないが、荷重1000gになるとP30>K30となり、P10などの場合と同様の傾向である。

このことはWCのほかTiCやTaCが配合されて多元炭化物が形成されると研削クラックが一層入り易くなることによるもので、単に超硬合金のかたさの傾向とは一致しない。

以上のことより超硬合金の研削量への影響は砥粒によるすぎとりより、かえってその合金が脆いために発生する研削クラックやほり起しの方が大きいことがわ

かる。

砥石の結合度と研削量との関係は、結合度の大きいものほど研削量が少くなっているが、これはFig. 6のスケッチ図のごとく、結合度の大きいものでは切刃の自生作用が少く、かなり摩耗した砥粒で研削しているので、砥粒の切れ味が悪いためである。このことは荷重500g, 1000gとも同じ傾向であるが、後述のごとく砥石損耗量の少ないもので研削量が少くなり、前報の高速度鋼の場合と同じ傾向であることから、加圧研削の特徴と思われる。加圧荷重の影響は、それが大きい時に研削量も多くなる。

また、研削初期には研削時間一研削量曲線の勾配がFig. 7, Fig. 8のいずれでも大きくなっているが、これは単位研削面積当りの荷重が大きいことと、砥石の目直しによる影響である。

3.3 砥石損耗量

砥石損耗量はFig. 9, Fig. 10に示すごとく、P10>P30, K10>K30となり、研削クラックが入ってもCo量少く、硬い超硬合金の研削で砥石損耗量が多い。つまり同一分類の超硬合金では被研削材が硬く、砥石がやわらかく作用するもので砥石損耗量が多くなった。本実験ではK10>K30>P10>P30の順である。

砥石の結合度とその損耗量との関係は結合度の強い時ほど砥石損耗量が少く、研削量での考察と一致している。また加圧荷重の大きい時に砥石損耗量が多くな

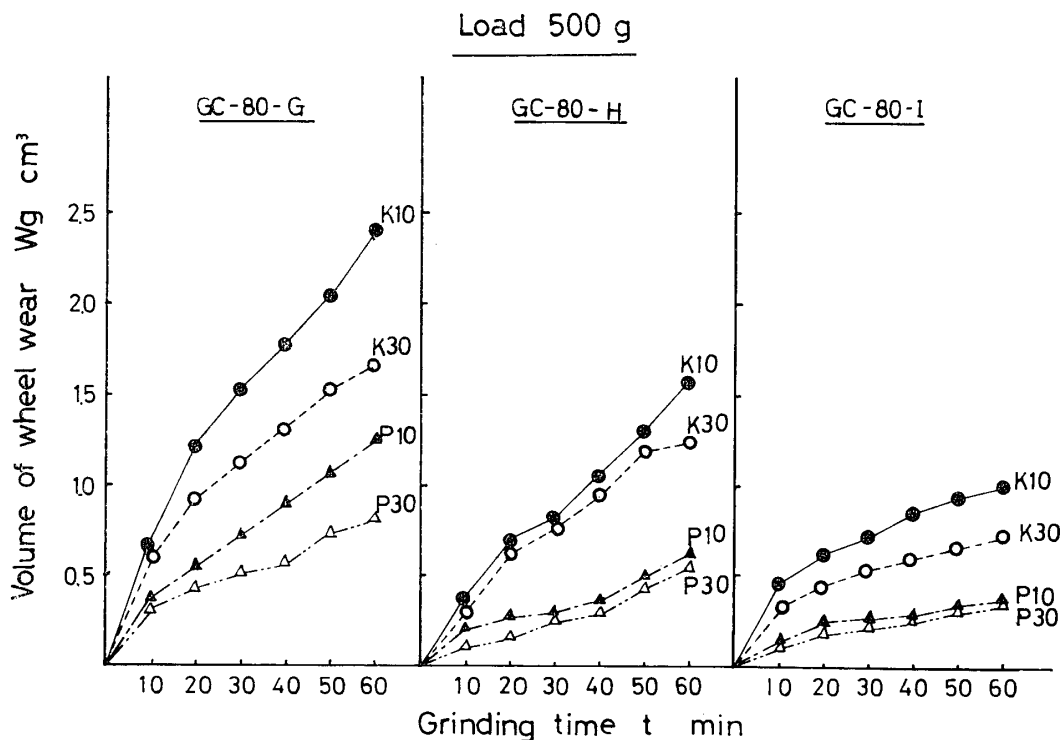


Fig. 9 Relation between volume of wheel wear and grinding time

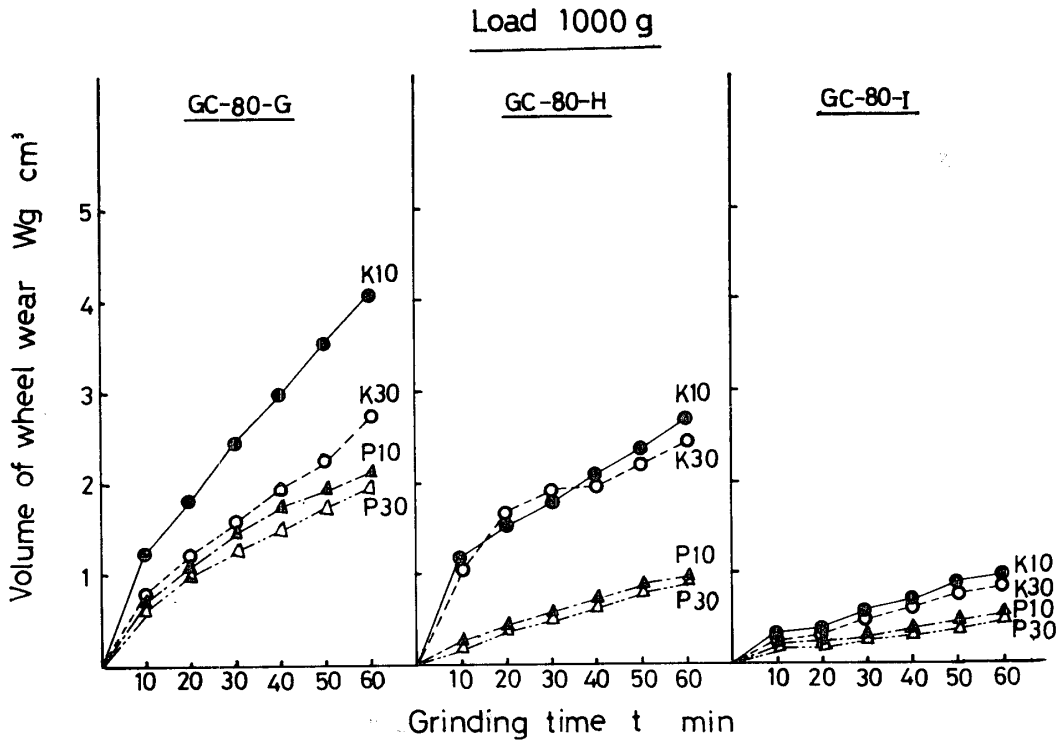


Fig. 10 Relation between volume of wheel wear and grinding time

り、一般に考えられている傾向とも一致している。

研削時間一砥石損耗量曲線の勾配が研削初期に大きくなっているが、これは目直しなどにより砥粒が脱落し易いためである。

3.4 研削比

研削比は研削能率、加工精度を問題にする仕上げ研

削およびそれに準ずる場合には重要な項目であり、実験の結果をFig.11, Fig.12に示す。

その結果、P種では $P10 > P30$ 、K種では結合度H、Iの1000gをのぞき $K30 > K10$ となり、前者では硬い材種で、後者は軟い材種で研削比が大きい。これは前述のごとくP10では研削クラックの発生によりより起

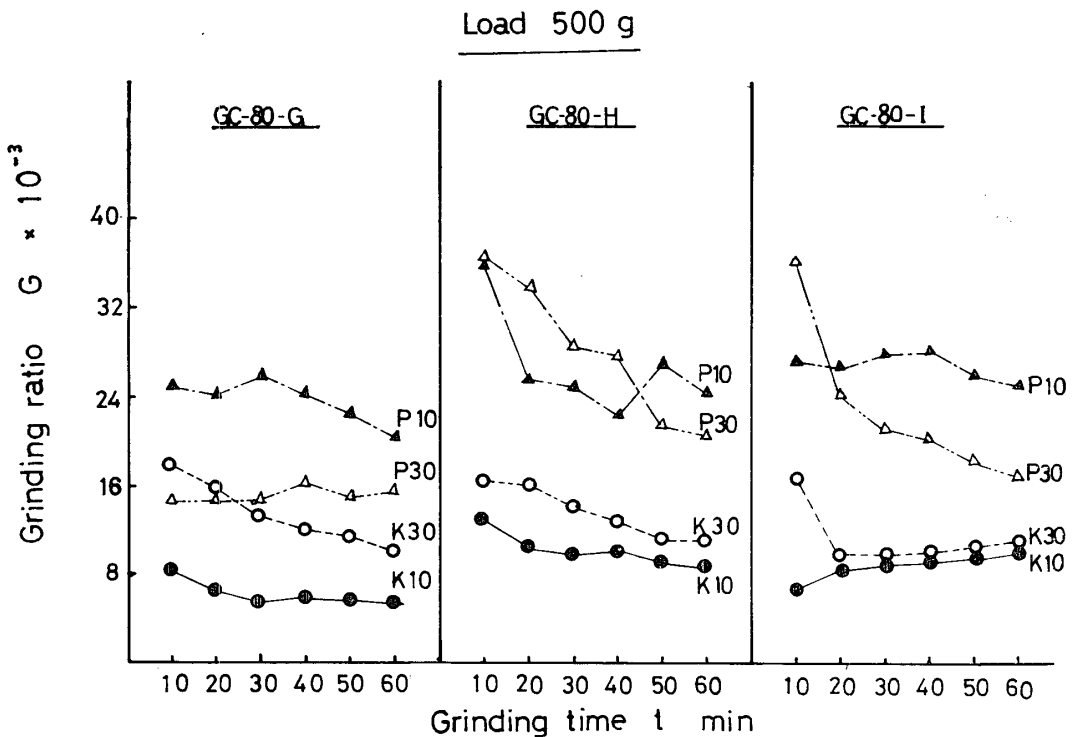


Fig. 11 Relation between grinding ratio and grinding time

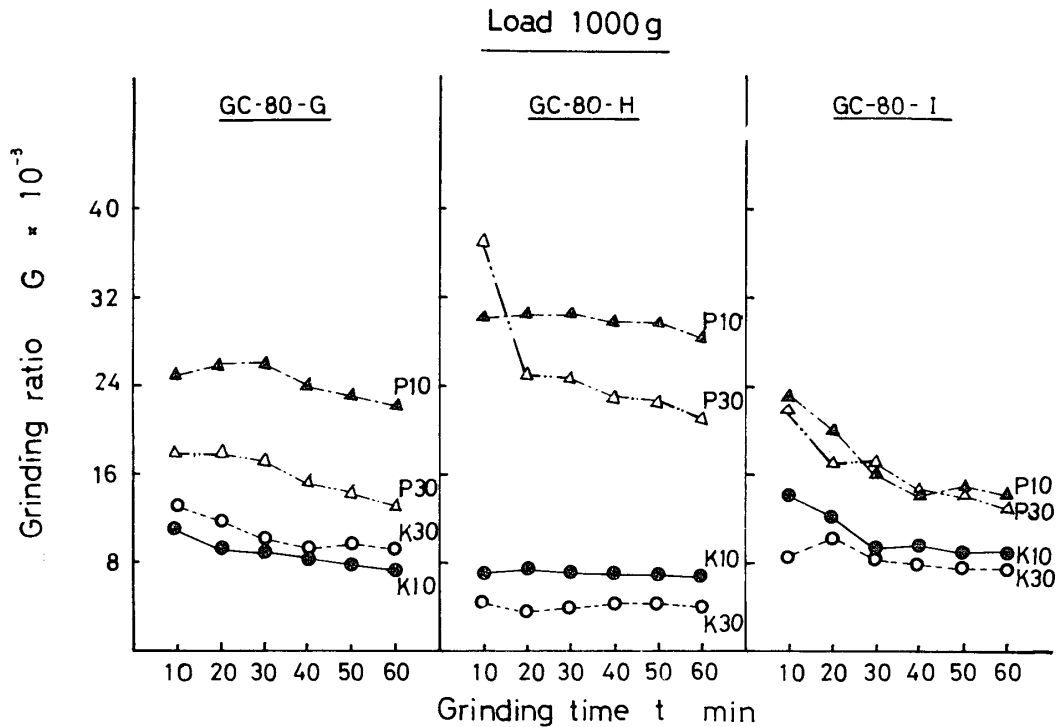


Fig. 12 Relation between grinding ratio and grinding time

しも容易となり、研削量はかなり増大するが、砥石損耗量はさほど増大しないためである。一方、K種では研削クラックが発生してもその数が少ないので、さほどその影響を受けずやわらかいK30の方が研削比が大きくなった。結合度H、Iの荷重1000gでK10>K30となったのは砥石の結合度強く、加圧荷重も大きいので、研削クラックがより発生し易いためである。

P種とK種を比較すると、砥石損耗量の少ないP種で研削比が大きい。

研削比からみた加圧荷重の影響は研削量や砥石損耗量の時ほど明白でないが、実験の範囲ではやや荷重の小さい時の方が研削比が大きい。研削比と砥石の結合度との関係も全体を通じ大差ないが、P種では結合度Hでやや研削比が大きくなっている。

研削時間一研削比曲線の傾きは研削初期にやや研削比が大きく、砥粒が脱落し易く、鋭い切刃が多い時かえって研削比が大きい。P種とK種では明らかにP種の方が研削比が大きいことより、TiC、TaCなどの多元炭化物を含んだP種の方が研削し易い材種である。

3.4 研削抵抗

研削抵抗は小さく、測定値に若干ばらつきがあったので研削時間10分毎に測定したものの平均値をTable 2に示す。

その結果それぞれP10>P30、K10>K30となり、硬いもので研削抵抗が大きい。なおP種とK種では、K

Table 2 Grinding force of each sintered carbide(g)

Load	Sintered carbide			
	P10	P30	K10	K30
500g	50	35	67	52
1000g	72	55	85	63

Grinding wheel GC 80 G

種の方が比較的研削抵抗が大きい。

4 結 言

1. 被研削材には微細な研削クラックやほり起しが生じ、それらは超硬合金のかたさより、研削量への影響がより大きく、高速度鋼の場合と異なる。
2. 砥石損耗量は硬い超硬合金で多く、本実験ではK10>K30、P10>P30の順である。
3. 研削比はK種よりP種の方が大きく、そのうちでも硬いP10で大きい。
4. 研削抵抗はP種よりK種の方が比較的大きく同一分類では硬い材種でそれが大きい。

参 考 文 献

- 1) 大草, 山本, 益富: 切削工具材の被研削性に関する研究 (第1報) 山口大学工学部研究報告 20, No.2
- 2) 大草, 山本, 益富: 切削工具材の被研削性に関する研究 (第2報) 山口大学工学部研究報告 20, No.2

(昭和44年12月15日受理)