

切削工具材の被研削性に関する研究 (第1報)

—高速度鋼の加圧研削—

大草 喜太雄*・山本 英司*・益富 雅之*

Study on Grindability of Cutting Tool Materials (1st Report)

—Free Infeed Plunge-cut Grinding of High Speed Steels—

Kitao ŌKUSA, Eiji YAMAMOTO and Masayuki MASUDOMI

Abstract

This is a report on grinding action of high speed steels in constant feeding load, that is, free infeed plunge-cut grinding.

A grinding wheel is WA46G6V and the used high speed steels are SKH4 (18—4—1—10) and HV5. The latter is said to be improved in the resistance of tool wear behaviour by adding high vanadium and high carbon. The relations between grinding ratio, grinding force and grinding time are obtained. The wheel wear in grinding is observed by a micro-scope also. The conclusions are as follows.

1. Though a small difference in grinding force between SKH4 and HV5 is observed, SKH4 differs remarkably from HV5 in grinding ratio. The grinding ratio of SKH4 is far better than HV5 in both this value and in a tendency of G-t curves.
2. The poor grinding ratio of HV5 will make it difficult to apply it to multiple teeth cutter in the grinding accuracy. SKH4 is more preferable than HV5.
3. The wear, fracture and breakdown of a grinding wheel grains progress rapidly in case of high load.
4. The free infeed plunge-cut grinding process is seemed to be severer in view of the poor grinding ratio than the conventional grinding method of high speed steels.

1. 緒言

熱処理した高速度鋼材料の研削は現在多く WA 砥石で行なわれているが、硬度が高くかつ熱伝導率が小さいので、研削比 (Grinding ratio) は炭素鋼などの1/10近くになる場合もあり、砥石の損耗が著しく、研削焼けや熱き裂も起き易い。

本実験では汎用的なタングステン系の高速度鋼および耐摩耗性の向上をはかった高炭素高バナジウム系高速度鋼の加圧研削を行ない、研削比と研削抵抗などから、それらの被研削性を調べた。なお、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、一種の加圧研削とみなされよう。

2. 実験方法

研削方法は Fig. 1 のごとく被研削材に一定の荷重をかけて砥石に押しつけて研削する方法、つまり加圧研削を行なった。加圧装置は自作し、機械は日興成型平面研削盤 (主電動機 0.75Kw) を用い、被研削材は SKH4, HV5 (19mm角) で、その化学成分および硬度を Table 1 に示す。

研削条件は砥石周速度 $V=1800\sim 1900\text{m/min}$ (回転数 $N=3360\text{r. p. m.}$) で、加圧荷重 P は 1kg, 3kg, 5kg の 3種類である。実験中、砥石と被研削材の研削面積の変化を少なくするため、各実験開始時に被研削材をあらかじめ砥石の径に合せた形状に研削しておいた。

目直しは手送りによって行なったが、その手順は切込み量 50, 40, 30, 20, 10 μ と順次減少させ、条件を一定とするため、数回にわたって行なった。ただし、

* 生産機械工学教室

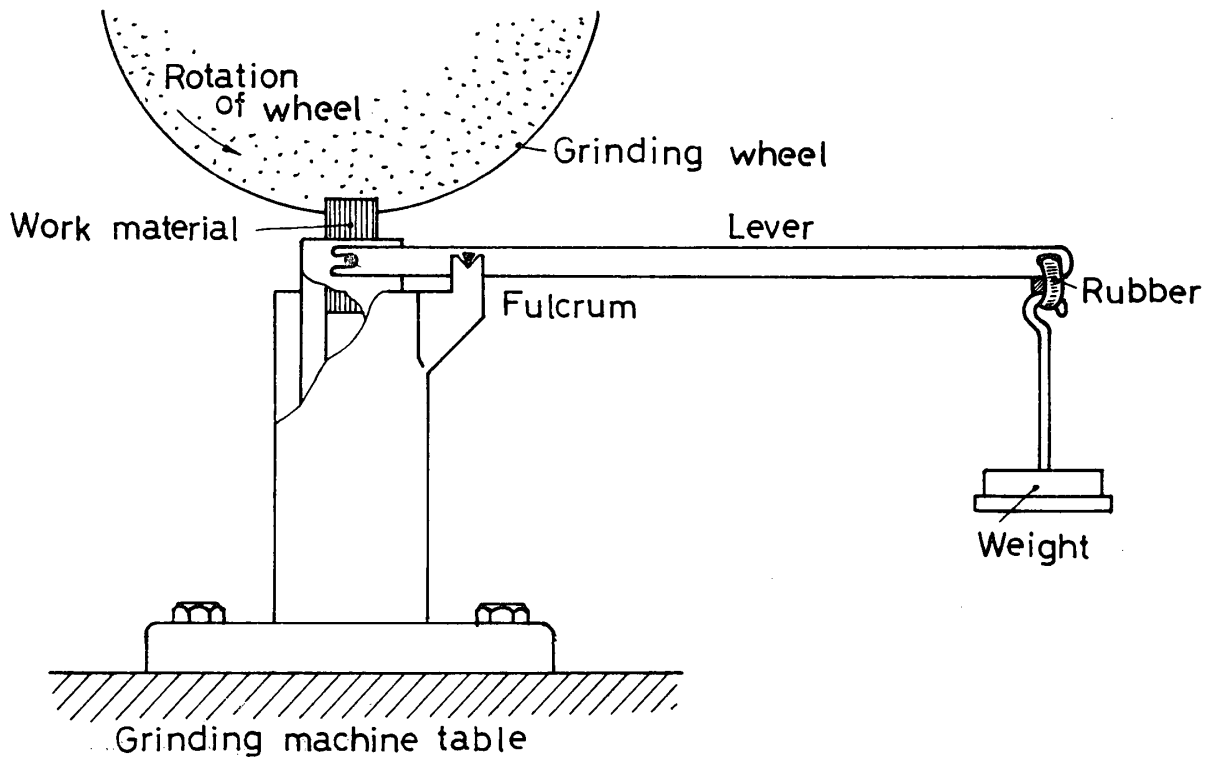


Fig.1 Apparatus of loading

Table 1 Composition and hardness of work materials

Material	Chemical composition %						Hardness HRC	Specific gravity g/cm ³
	C	Cr	Mo	W	V	Co		
SKH 4	0.79	4.20	0.80	18.00	1.25	10.00	66.0	8.6
HV 5	1.45	4.25	0.80	12.00	3.75	5.00	67.0	8.1

Size of work material 19□mm

最終切込み量10 μ では往復2回の目直しを行ない、これによるばらつきをなくすようにした。

実験にさいしては、あらかじめ決めた研削時間毎に被研削材の研削量 W_w 、砥石損耗量 W_g をもとめ、それより研削比 G を計算し、同時に研削抵抗 T も各時間毎に測定した。測定方法の詳細は下記のごとくである。

2.1 研削量 W_w (cm³)

研削時間 $t = 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60$ 分毎に被研削材の重量を天秤で最小単位 50mg まで計り、研削以前の被研削材との差をもって、その時間までの研削量すなわち研削開始よりの累積研削量とし、これを計算で体積として表わした。

2.2 砥石損耗量 W_g (cm³)

砥石損耗量は砥石の直径変化より求めたが、その方法は Fig. 2 に示すごとく、テーブル上に設置された

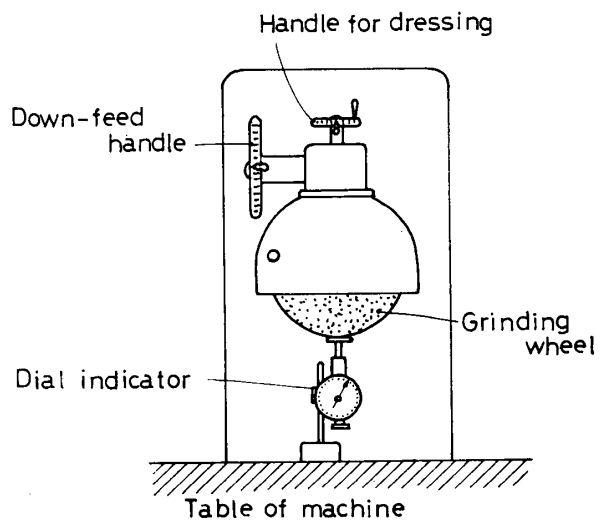


Fig.2 Measurement of grinding wheel wear

インデグータが0を指すまで、研削盤の砥石ヘッドを降下させ、その降下量をハンドル目盛りより読みとり、砥石の半径減少量を求めた。したがってこの場合も研削量の時同様、累積損耗量を測定したことになる。

測定箇所はあらかじめ決めた4ヶ所で、その平均値より次式によって、砥石損耗量を計算した。

$$W_g \doteq \pi DB \Delta D / 2 \doteq 2.04 D \cdot \Delta D$$

ただし、 D は研削前の砥石直径、 B は砥石の幅 (ここでは $B=1.3\text{cm}$ 一定)、 ΔD は砥石直径の減少量である。

2.3 研削比 G

研削比 G は W_w/W_g で表わされ、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。

2.4 研削抵抗 T (kg)

本実験は Fig. 1 のごとく加圧研削であるので、研削時の動力は主として研削砥石の回転に費されるので、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を求めた。

$$T = \frac{102 \times 60 \times 1000}{\pi D N \times 1000} \times W_i \times \phi$$

ただし、 N は砥石回転数 r. p. m., W_i は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である。 ϕ は力率で本実験では $\phi \doteq 0.5$ である。

なお、本実験では砥石および砥粒の損耗の様子をよりよく観察するために、双眼の顕微鏡 (ヤシマ製) を用いたが、このときの観察対象はあらかじめ決めておいた砥粒ないし砥粒群を選んだ。

3. 実験結果およびその考察

3.1 砥石の損耗の顕微鏡観察

高速度鋼のWA砥石による加圧研削で、いかなる砥石・砥粒の損耗現象が起るかを予備的に知るため、高速度鋼 HV5 を各荷重 1, 3, 5 kg のときについて調べた。なおこのときの砥石は WA46K6V で後述の研削比や研削抵抗を求めるときの砥石の結合度 (G) より硬い結合度のものである。

Fig. 3-1, 2 は荷重 1 kg, 3 kg のときの砥粒の損耗のスケッチで、図中、A, B, C および D, E, F はそれぞれ同一条件下での3個の代表的な砥粒の損耗の時間的変化を示す。

Fig. 3-3 は荷重 5 kg のときのもので、砥石を広範囲の視野にわたって前者より低倍率で観察したもので、二十数個の砥粒を同時に調べたものである。

これらの図より、高速度鋼の加圧研削におけるWA砥粒の損耗について次のことがわかる。

(1) 加圧研削においても砥粒の損耗の形態は a) 摩耗 (Wear), b) 砥粒の部分的破碎 (Fracture), c) 砥粒の脱落 (Breakdown) である。

(2) a) が進行すると適宜 b) が起り、いわゆる切刃の自生作用のため、さらに円滑な研削が進む。

(3) a) が過度に進行しても b) が起らないと、いわゆる目つぶれ、目づまりが起る。

以上の現象は一般の研削におけるA砥粒の損耗形態と何らことなるところはない。

加圧荷重の影響については次のことがいえる。

(1) 1 kgのごとく低荷重のときには上記 a) が進行しかなりの時間がたつと部分的破碎が生じ、c) の脱落はなかなか起りにくい。しかし部分的破碎の程度は砥粒によってかなりことなるが、全体としては長時間安定した研削作用が行なわれ、始めの砥粒の形態は $t=60$ 分までそのまま保たれている。(Fig. 3-1)

(2) 5 kgのごとく高荷重のときには、各砥粒の完全な摩耗や大規模な破碎あるいは砥粒の脱落が研削開始後短時間に起る。すなわち、摩耗と破碎または脱落が速かに進行する。

(3) 3 kg の荷重は上記の中間にあり、一つの砥粒での破碎の程度は 1 kg の荷重のときより規模は大きい。摩耗の進行は 5 kg のときより緩やかで研削時間約 60 分まで砥粒の始めの形態を保つ。

すなわち、加圧研削で荷重が増加すると、砥粒の摩耗や破碎、脱落を著しく促進する。したがって各観察時間毎にその前の砥粒の形態を殆んど保たなく、砥粒の損耗が激しくなる。なお加圧研削は摩擦多く、研削温度は特に荷重が多いときかなり高温となり、酸化膜が発生した。(Fig. 4 参照)

3.2 研削量 (W_w)—研削時間 (t) の関係

研削量と研削時間の関係を Fig. 5 に示すが、研削量は研削開始よりの累積した量を測ったので、研削時間の経過と共に増大している。 W_w-t 線図の傾向は被研削材と荷重の大きさによって異なるが、次のようなことがいえる。

(1) 荷重増加によって、両研削材とも研削量は増加する。

(2) 5 kg を除いて、各荷重とも SKH4 の方が研削量が多い。

(3) HV5 の 3 kg, 5 kg 荷重、特に 5 kg のときでは W_w-t 線図が不規則で、研削進行が SKH4 ほど円滑でないことを示す。

(4) 低荷重では、研削の進行にしたがって、 $t=15$

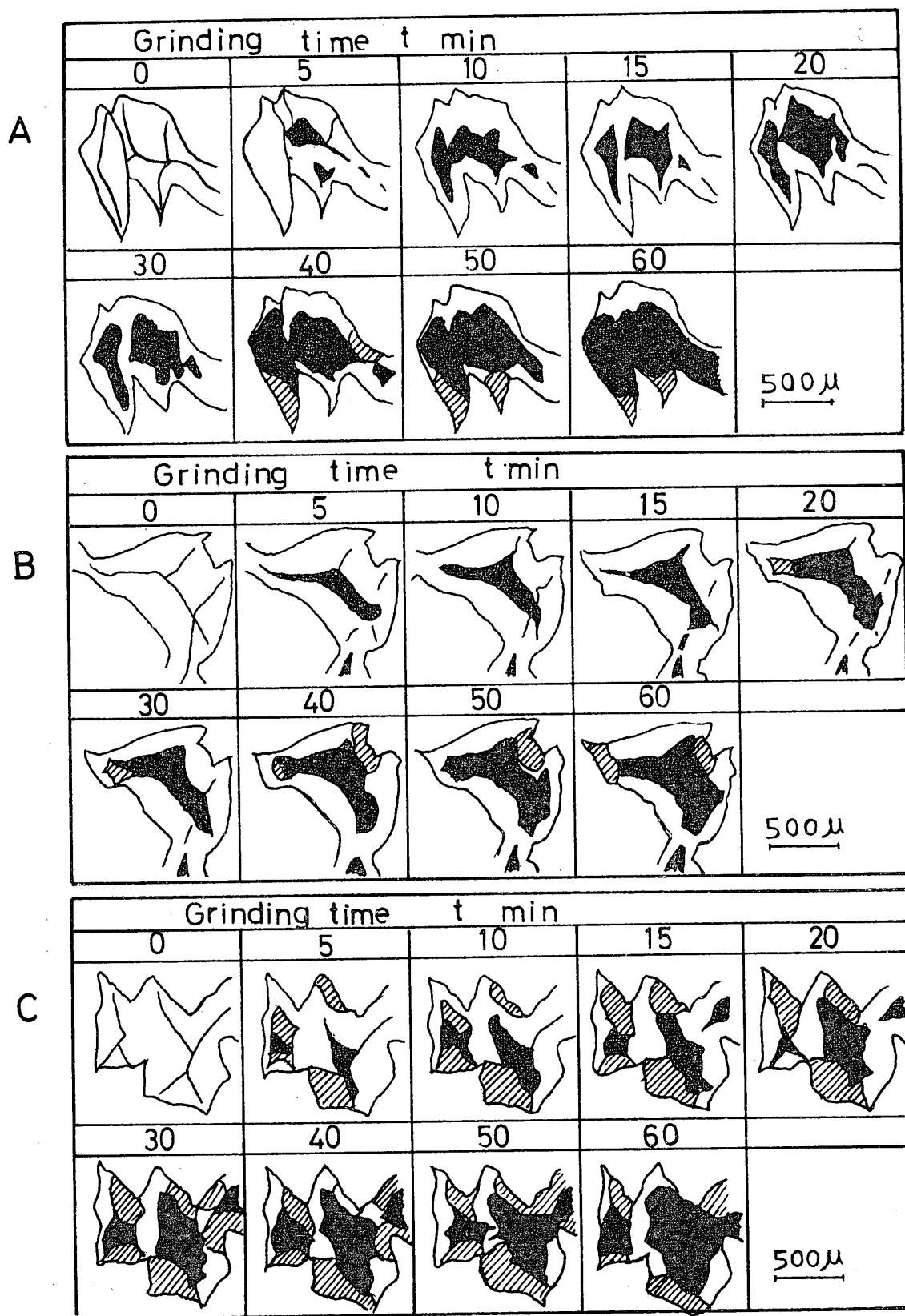


Fig.3—1 Failure of grains

Work material, HV5
 Grinding wheel, WA46K6V
 Load, 1.0kg

▨ Fracture of grain
 ■ Wear

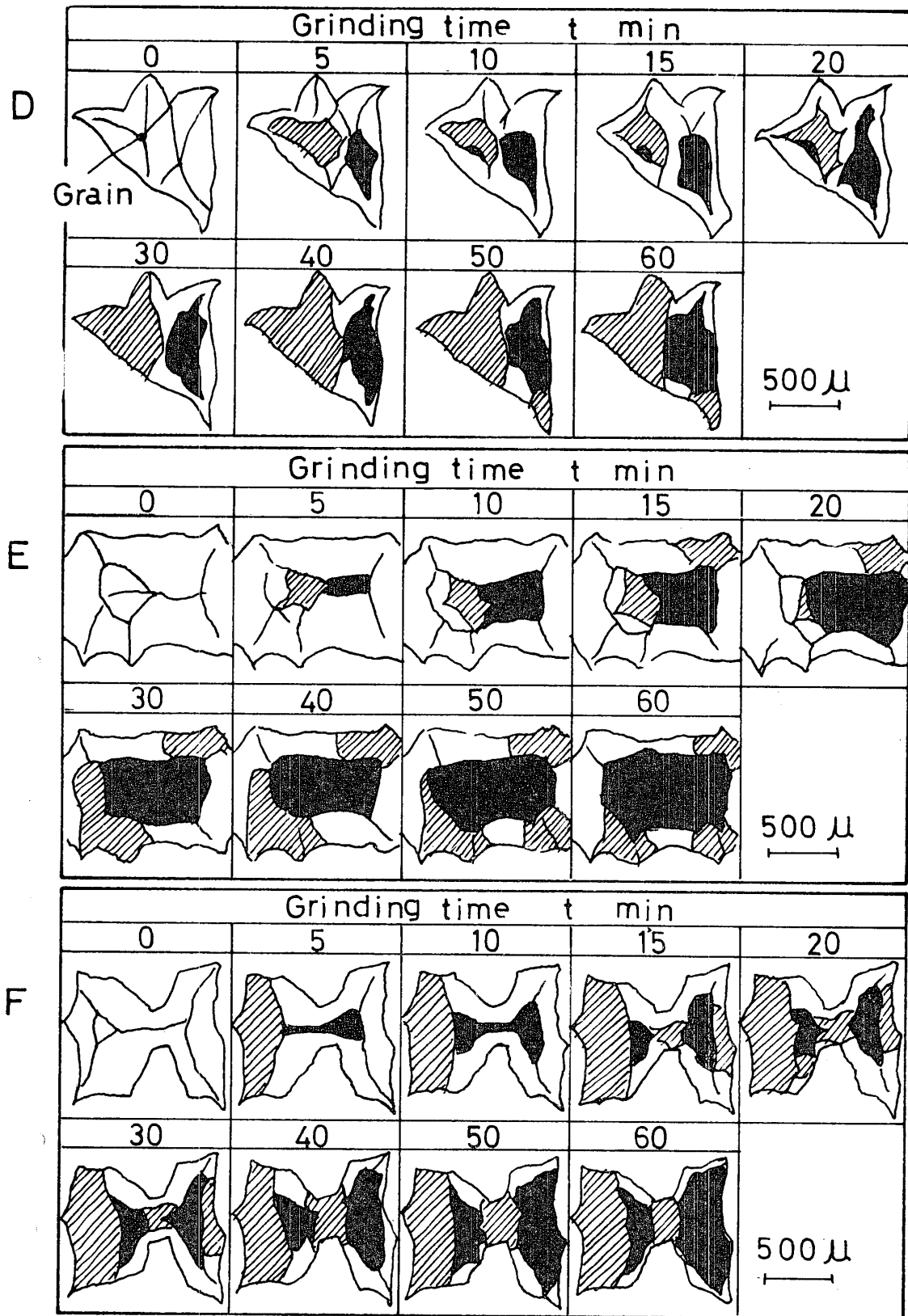


Fig. 3—2 Failure of grains

Work material, HV5

Grinding wheel, WA46K6V

Load, 3.0kg

▨ Fracture of grain

■ Wear

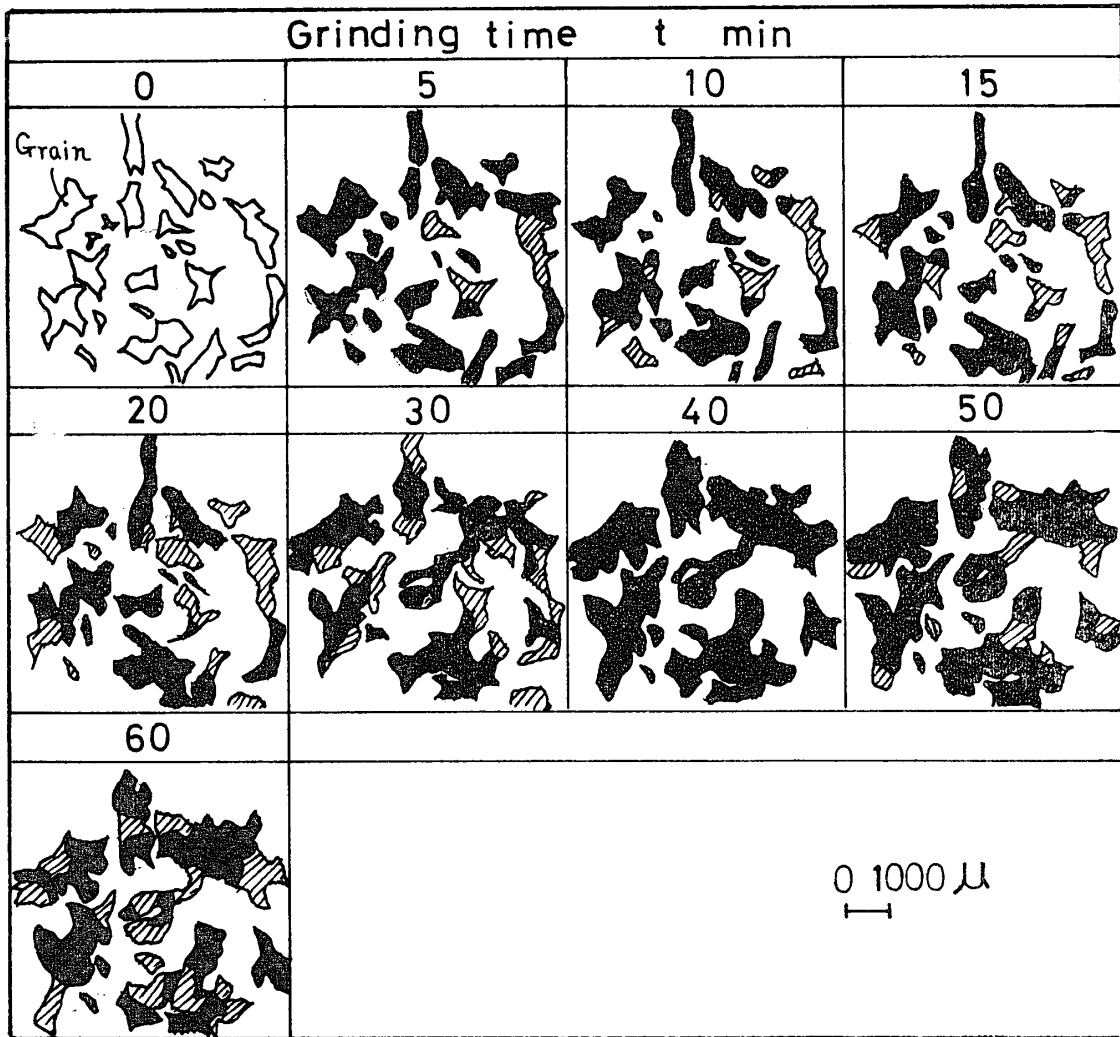


Fig.3—3 Failure of grains

Work material, HV5
Grinding wheel, WA46K6V
Load, 5.0kg

▨ Fracture and breakdown of grains
■ Wear

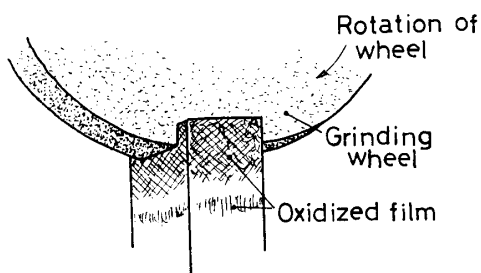


Fig.4 Oxidized film of work material

~20分をすぎたところでは、その線図の勾配も小さくなり、単位時間当りの研削量は減少していることを示す。

3.3 砥石損耗量 (Wg) — 研削時間 (t) の関係

Fig. 6 に示した実験結果から次のことがわかる。

(1) 各被研削材料とも加圧荷重の増加とともに砥石

の摩耗は増加する。上記(4)と同じ現象が認められる。

(2) HV 5 の砥石摩耗が著しく多い。

このとき各被研削材について単位荷重あたりの研削量を $t=60$ 分について比較すると Table 2 のごとくなる。

SKH 4 が荷重 1 kg のとき研削量が最大となることは、それだけ円滑な研削が行なわれ発熱の少いことを意味し、より正常な研削が行なわれていることを示す。

3.4 研削比 (G) — 研削時間 (t) の関係

Fig. 7—1, 2 に研削比と研削時間の関係を示すが、SKH 4 と HV 5 では $G-t$ 線図の絶対値のみならず傾向が著しく異っている。特に $t=15$ 分までの傾向が異り、SKH 4 では研削時間の経過と共に研削比は増大するが、HV 5 ではその経過と共に減少しないし、

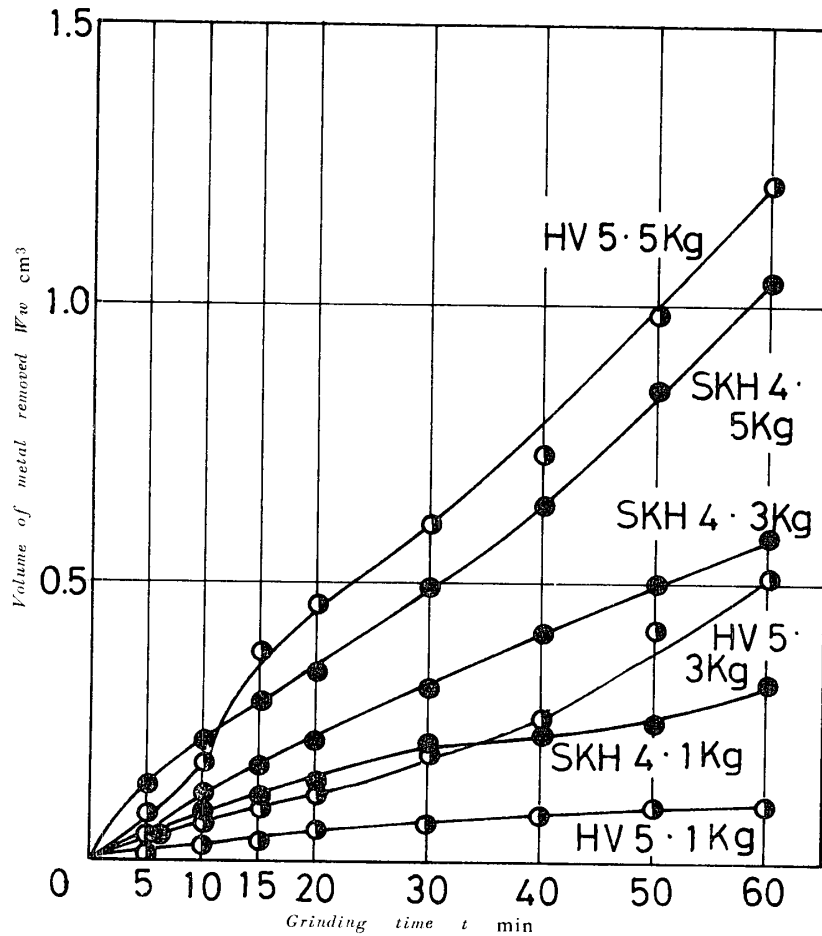


Fig.5 Relation between grinding time and volume of metal removed (W_w-t curves)
Grinding wheel, WA46G6V

極値をもつ。

研削比はその絶対値が大きいことは、研削量に対し砥石の損耗が少なくて好ましい。また $G-t$ 線図がフラットなほど研削時間加算による切れ味の変動が少く、精密加工上砥石の寿命が長いことを意味する。

Table 2 Removed metal per grinding load
(cm^3/kg)

Work material	Load		
	1 kg	3 kg	5 kg
SKH 4	0.32	0.19	0.21
HV 5	0.10	0.17	0.24

SKH 4 で荷重 1, 3 kg のとき $t=15$ 分までは $G-t$ 線図の勾配が大きく、目直しの影響を示しているが、 $t=15$ 分以上では研削比がほぼ一定で好ましい。荷重 5 kg では目直しの影響は急激に消失するが、研削比 G の絶対値が小さいのみならず、 $t=60$ 分では G は減少し始め、砥石の寿命上からは好ましくない。

一方、HV 5 では $t=15$ 分までの荷重でも G が減少することから、目直しは砥石の損耗を促進するばかりでなく、特に荷重 5 kg では急激に砥石の摩耗、破碎、脱落が起っていることを示している。また荷重 1 kg, 3 kg の線図も極値を有することは、研削過程が砥粒の破碎、摩耗、脱落が激しくなるなどのため、定常的な研削が行なわれにくいことを示し好ましくない。

Fig. 7-1, 7-2 の比較から HV 5 の研削性は SKH 4 より遙かに劣り、かつ研削比の安定性の点からはいずれの高速度鋼でも、荷重の少ない目のほうがよいことがわかる。5 kg のように荷重の多いのは研削熱の点 (Fig. 4) から好ましくないが、研削量のみを問題にするならば、Table 2 のごとく、HV 5 では高荷重の方がよい。なお、被研削材料と砥石条件をかえたときの研削性については次報で述べる。

3.5 研削抵抗 (T) — 研削時間 (t) の関係

まず垂直方向の研削抵抗は加圧研削であるので、加圧荷重と等しく一定である。入力より求めた接線方向

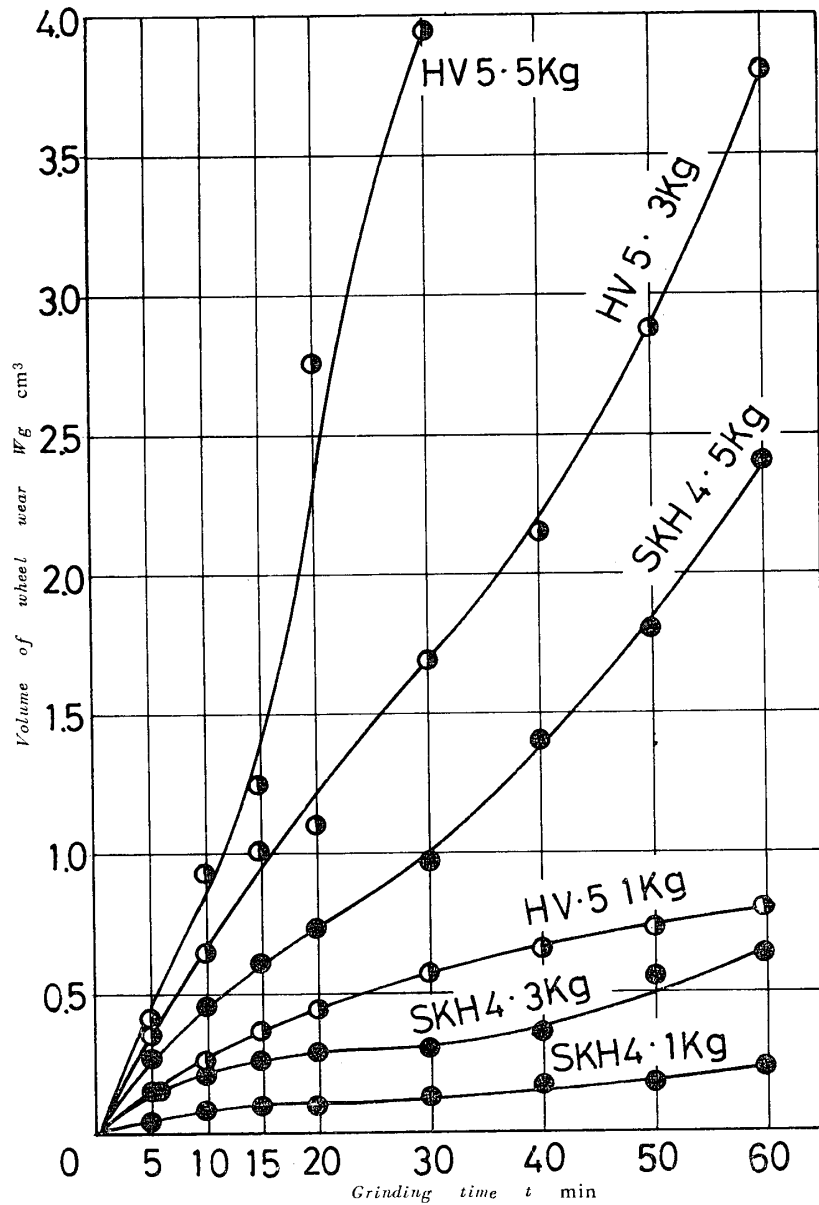


Fig.6 Relation between grinding time and volume of wheel wear ($Wg-t$ curves)
Grinding wheel, WA46G6V

の研削抵抗と研削時間との関係は Fig. 8 のようになり、いずれの場合も研削時間の経過と共に始め急激に後漸減する。

これは目直し後の砥粒は鋭い切刃をもち切込み量も多いので研削抵抗は大きい、切刃が摩耗すると切込み量が減り、研削抵抗は減る傾向となる。その反面、切刃の摩耗によって砥粒の接触面積が増大するので、摩擦抵抗が増大すること、加圧研削のため研削温度による被研削材の軟化のため、結局研削時間が増大すると、砥粒摩耗→砥粒切込み減少→摩擦熱増大→研削抵抗減少となり、全体としては $T-t$ 線図は減少する傾向となる。

しかし、砥粒の状態変化の激しい $t=15$ 分までの、特に SKH4 の 3, 5 kg の荷重で、研削抵抗の減少が明らかである。これはいかえれば SKH4 はこの領域では研削比 (Fig. 7-1) が増大することからも明らかのように、研削開始後の砥石は砥粒が鋭い切刃を有するため切込み多く、研削抵抗は大きい。しかし鋭い切刃は急速に摩耗、脱落し切込みが減少するため抵抗は減少する。この間砥粒は次第に安定化し砥石の損耗が減少するため研削比は大きくなる。この傾向は荷重が大きいほど、砥粒が被研削材にくいつき易い被研削材ほど顕著となる。

定常状態での両材料の研削抵抗に大差ないのは、S

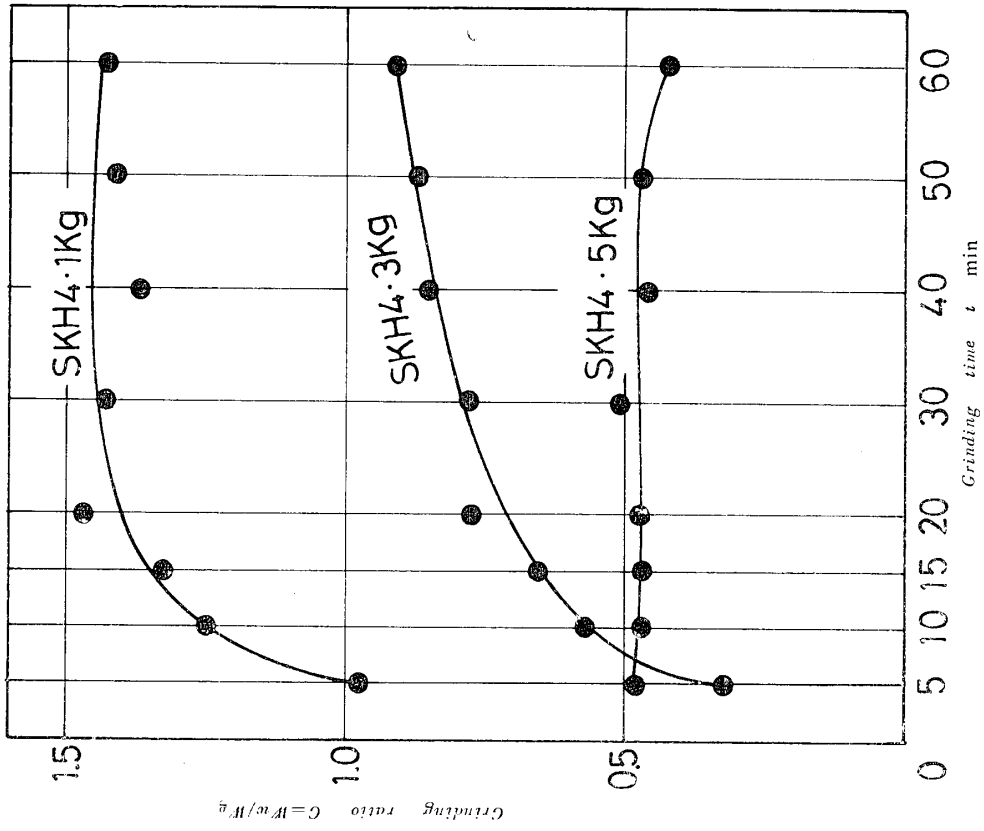


Fig. 7-1 Relation between grinding time and grinding ratio

(G-t curves)
Grinding wheel, WA46G6V

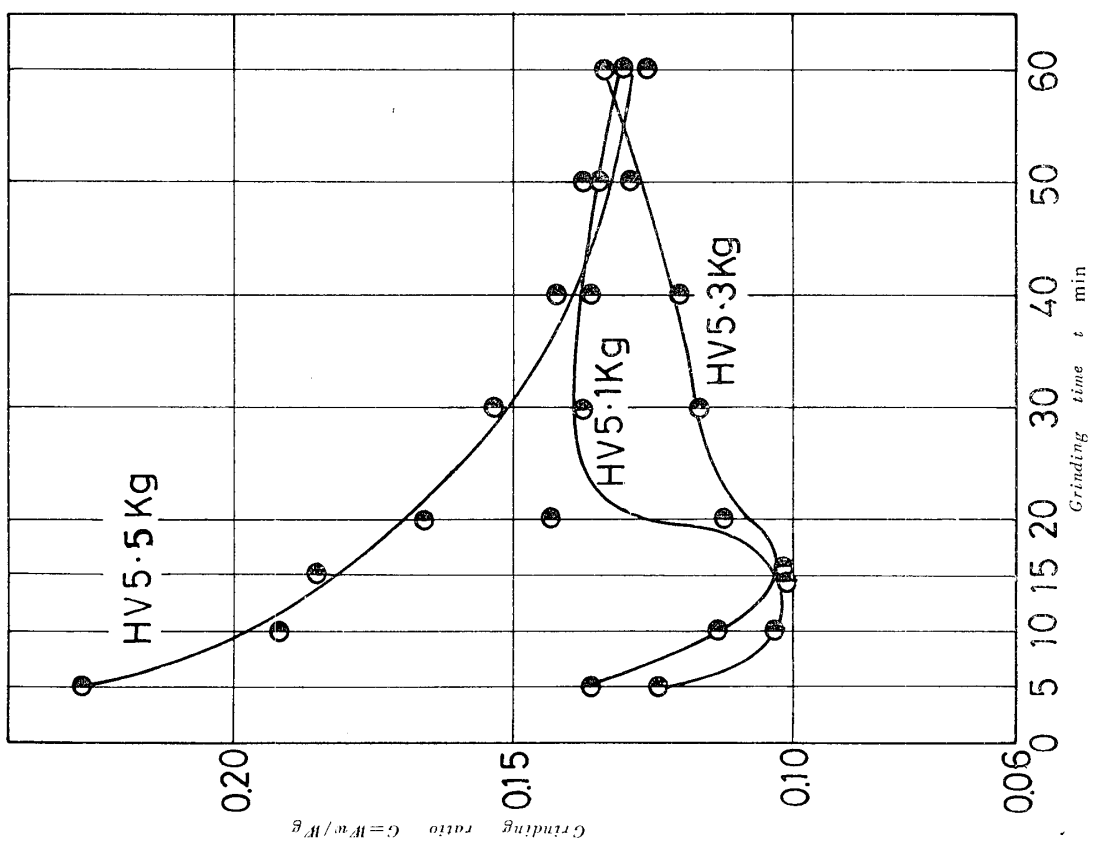


Fig. 7-2 Relation between grinding time and grinding ratio

(G-t curves)
Grinding wheel, WA46G6V

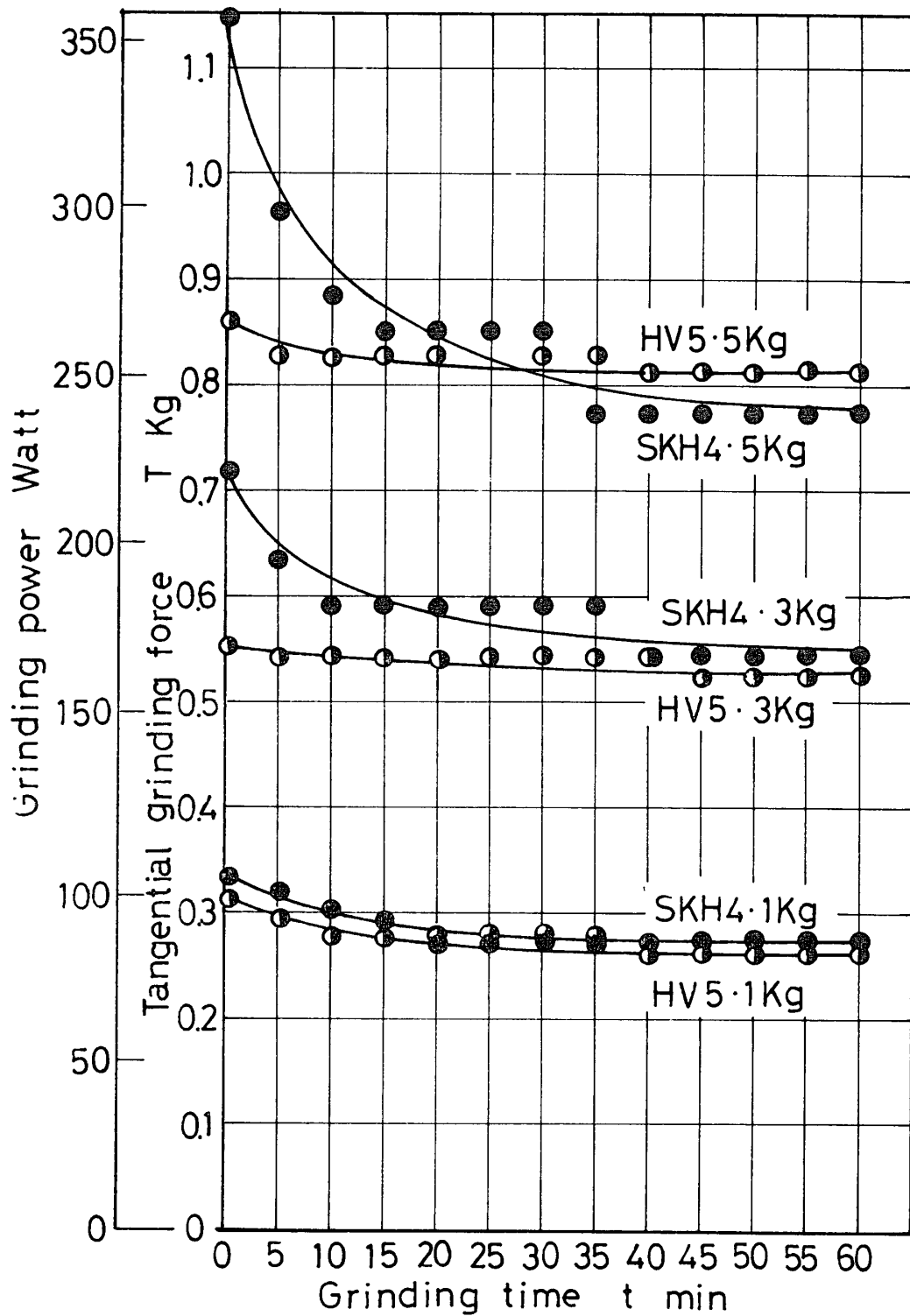


Fig.8 Relation between grinding time and tangential grinding force (T-t curves)
 Grinding wheel, WA46G6V
 Work materials, SKH4, HV5

KH4の方が研削比の大きいことと、従って切込みは少いが摩耗多く砥粒の接触面積の大きいための研削抵抗の増大とが、それぞれ釣合った効果を与えたためであろう。

4. 結 論

SKH4とHV5両高速度鋼を荷重1～5kgで加圧研削したときの砥粒の損耗形態は通常の研削と変るところはないが、荷重が増加すると通常研削における切込み増加時と同様、摩耗、破碎型が急激に進行する。特にHV5ではその傾向の激しいことが、研削量、砥石損耗量、研削比などと研削時間の関係線図から分った。

研削比が大きく、しかもその時間的変動の少ないことは切削工具の精密加工上大切なことだがHV5はその値が著しく少なく、しかも時間的に不規則な値をとることは、その鋼種がフライスのごとき多刃工具に使用することの困難を思わしめた。

またこの実験でえた研削比は一般の高速度鋼の研削

比の1/2以下で、加圧研削が発生熱の大きいことから過酷な研削方式であることも予想された。このとき研削能率を無視すればなるべく少い荷重の方が、研削比多く好ましい。つまり円滑な砥石の自生作用を営んでいることを示す。

研削抵抗—研削時間の線図からみると初期を除いて両材種とも大差なく、研削比の大きなちがいは関係つけられない。低荷重での初期におけるちがいは砥粒が鋭く不安定なとき、よく食込みやすい。従って切込みの多いSKH4で大きいが摩耗の著しいHV5では始めからその値が少い。定常状態で両材種の差が少いことは研削動力がSKH4では切れ味がよいため研削そのものに、HV5では砥粒の損耗従って摩耗や摩擦などに多く使用され結果として大差ない結果となったものと思われる。両者とも研削時間とともに漸減する。

以上のことは研削抵抗当りの研削比でみても定常状態ではSKH4の方が遙かに被研削性にすぐれていることを示している。

(昭和44年8月15日受理)