

切削工具材の被研削性に関する研究 (第2報)

—高速度鋼材種の被研削性 (続) と切削性能との関係—

大草喜太雄*・山本 英司*・益富 雅之*

Study on Grindability of Cutting Tool Materials (2nd Report)

—Relation between Grindability and Cutting Ability of High Speed Steels—

Kitao ŌKUSA, Eiji YAMAMOTO and Masayuki MASUDOMI

Abstract

The grindability of two kinds of high speed steels are tested in 1st report¹⁾. In this report, the influences of grain size and grade of grinding wheel upon grindability are examined also, and then the grindability of five kinds of high speed steels is compared with each other under the same grinding condition in 1st report.

Furthermore the relation between grindability and cutting ability of those high speed steels is obtained. The conclusions in this experiment are as follows.

1. Although the grain size (#) and grade of grinding wheel influence to the grindability, its remarkable difference between SKH4 and HV5 is presented as yet. The high contents of the elements V, C and then VC (MC type) in HV5 are the main cause of the poor grindability of high speed steel.
2. However, the cutting ability order of the tested high speed steel is in the inverse order of grindability. This is due to the good resistance of VC for the mechanical wear in the metal cutting.

1. 緒 言

前報¹⁾では加圧荷重を変え、研削時間と研削比、研削抵抗などの関係を求め、それらの関係より2種の高速度鋼材種の被研削性について考察した。本報では前報の2被研削材に対し砥石の粒度、結合度を変えて、それらの被研削性におよぼす影響を調べる。

高速度鋼の切削時の切削性能と研削時の被研削性では現象がかなり異なる点もあるが、両者とも高温、高圧下の広義の摩耗現象であることに変わりなく、前者は被研削材に対する高速度鋼の耐摩耗性であり、後者は逆に砥石による高速度鋼の摩耗し易さである。すなわち、被研削性に劣った材種は逆に切削性能にすぐれていることが期待されるわけである。なおこのときには、さらに被研削材としては現用の3種の材種をつけ加えた。

2. 実験方法

被研削性試験方法は第1報と同じ加圧研削で、機械も同じ日興成型平面研削盤である。砥石および被研削材はそれぞれ Table 1 および Table 2, Fig. 1 に示すものを用いた。

Table 1 Used grinding wheels

Grain size / Grade	#30	#46	#60
G	—	—	WA60G 6 V
K	WA30K 6 V	WA46K 6 V	WA60K 6 V
O	—	—	WA60O 6 V

* 生産機械工学教室

Table 2 Chemical composition and hardness of work materials

Trade mark	Chemical composition %						Hardness HRC	Specific gravity g/cm ³
	C	Cr	M ₀	W	V	C ₀		
HV 5	1.45	4.25	0.80	12.00	3.75	5.00	67.1	8.1
M 7	0.85	4.25	5.00	6.50	2.00	5.00	66.3	8.1
MV10	1.25	4.25	4.80	9.50	3.25	10.50	67.5	8.4
SKH 4	0.79	4.20	0.80	18.00	1.25	10.00	66.0	8.6
HK 1	0.30	4.20	0.80	20.00	1.65	19.50	66.4	8.7

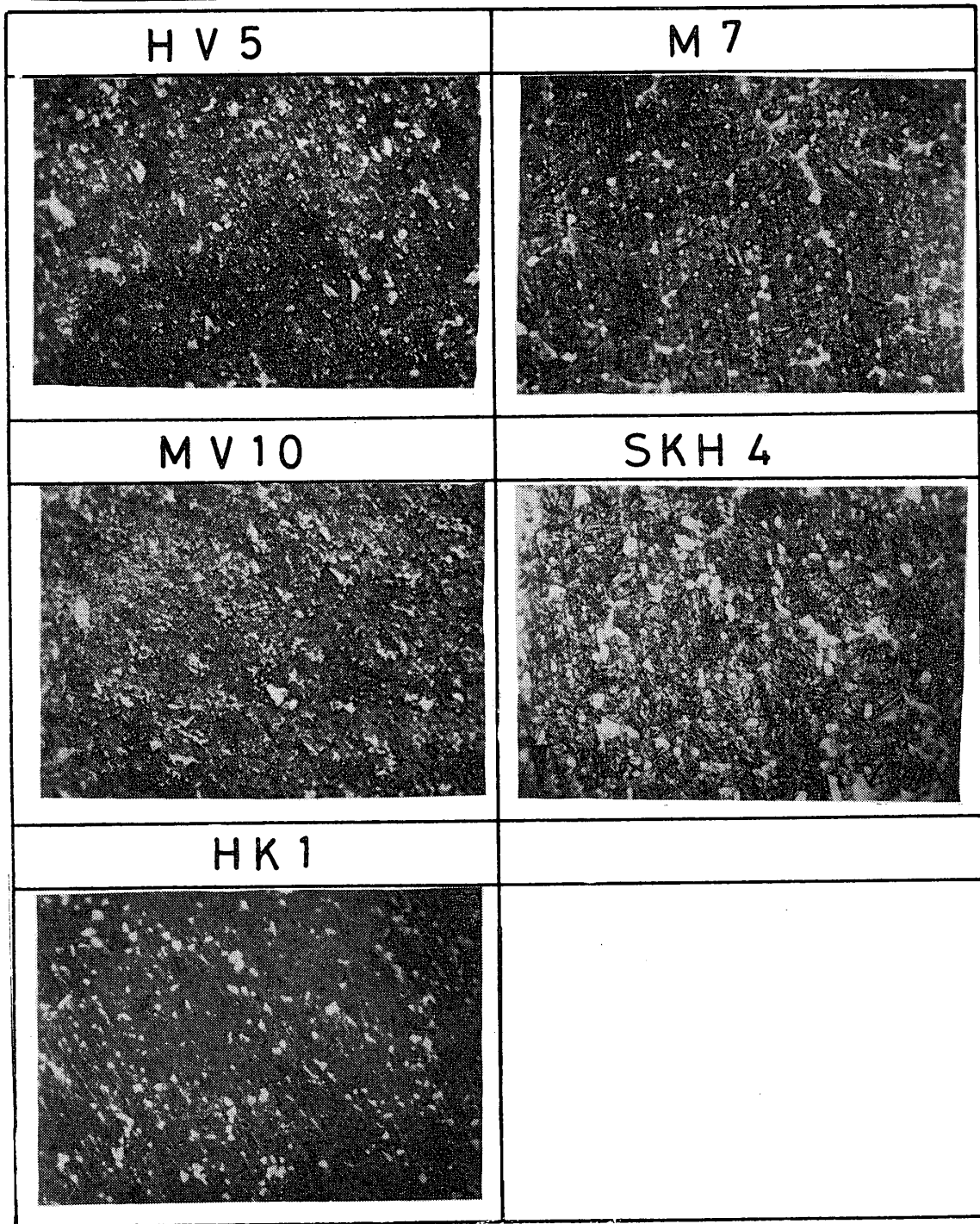


Fig.1 Microstructure of high speed steels
Etching, 5% Nital. (×400)

研削条件は前報とほとんど同じで、砥石周速度 $V=1800\sim 1900\text{m/min}$ 、加圧荷重 $P=3\text{kg}$ と 5kg の2種類で、目直しは前報と同じ方法、被研削性の比較は研削量 W_w (cm^3)、砥石損耗量 W_g (cm^3)、研削比 G 、研削抵抗 T (kg) などによった。

被研削材として用いた5種類の切削工具についての切削性能の試験には旋削(連続切削)と衝撃を伴った正面フライス切削(断続切削)を行う。このとき使用した機械は汎用旋盤(西部電機製、主電動機5.5kw)と万能フライス盤(日立製作所製、3ML、主電動機11kw)で、被削材はいずれの場合もSCM4(Q)である。

切削試験における切刃形状は旋削では($0^\circ, 6^\circ, 6^\circ, 6^\circ, 15^\circ, 15^\circ, 0.5R$)で、正面フライス切削ではアキシャル方向、ラジアル方向のいずれもすくい角 $\cong 0^\circ$ 、逃げ角 $\cong 6^\circ$ である。切削条件は旋削では削り速度 $V=15\sim 35\text{m/min}$ 、切込み $d=1.5\text{mm}$ 、送り $f=0.2\text{mm/rev}$ 。正面フライス切削では $V \times d \times f=19.7\sim 47.1\text{m/min} \times 1.0\text{mm} \times 0.21\sim 0.55\text{mm/tooth}$ で、それぞれ削り速度と1刃当りの送り量を変えた。

3. 実験結果とその考察

3.1 粒度(#), 結合度と被研削性の関係

実験の結果は前報とほぼ同様の研削量 (W_w)、砥石損耗量 (W_g) などと研削時間 (t) の関係線図をえたので、ここでは研削時間30分と60分の時の値を図示し、考察する。被研削材は前報と同じSKH4, HV5である。

3.1.1 研削量 W_w (cm^3)—粒度(#), 結合度の関係

粒度と研削量の関係 (Fig. 2) は粒度が大きい時、つまり砥粒の大きさが小さい時ほど研削量が多くなることが期待される。すなわち砥粒数が多いため一つの砥粒にかかる荷重が小さく、砥粒のそれぞれが軽切削をすることになり、砥粒そのものの摩耗が少いことなどが考えられるからである。SKH4では Fig. 2のごとく、粒度増加の効果は大きいが、HV5ではほとんど効果がない。

一方、結合度と研削量の関係は Fig. 3 に示すようになり、 K と O では大差ないが、結合度の弱い G で研削量が多くなっている。結合度 G では砥粒の脱落

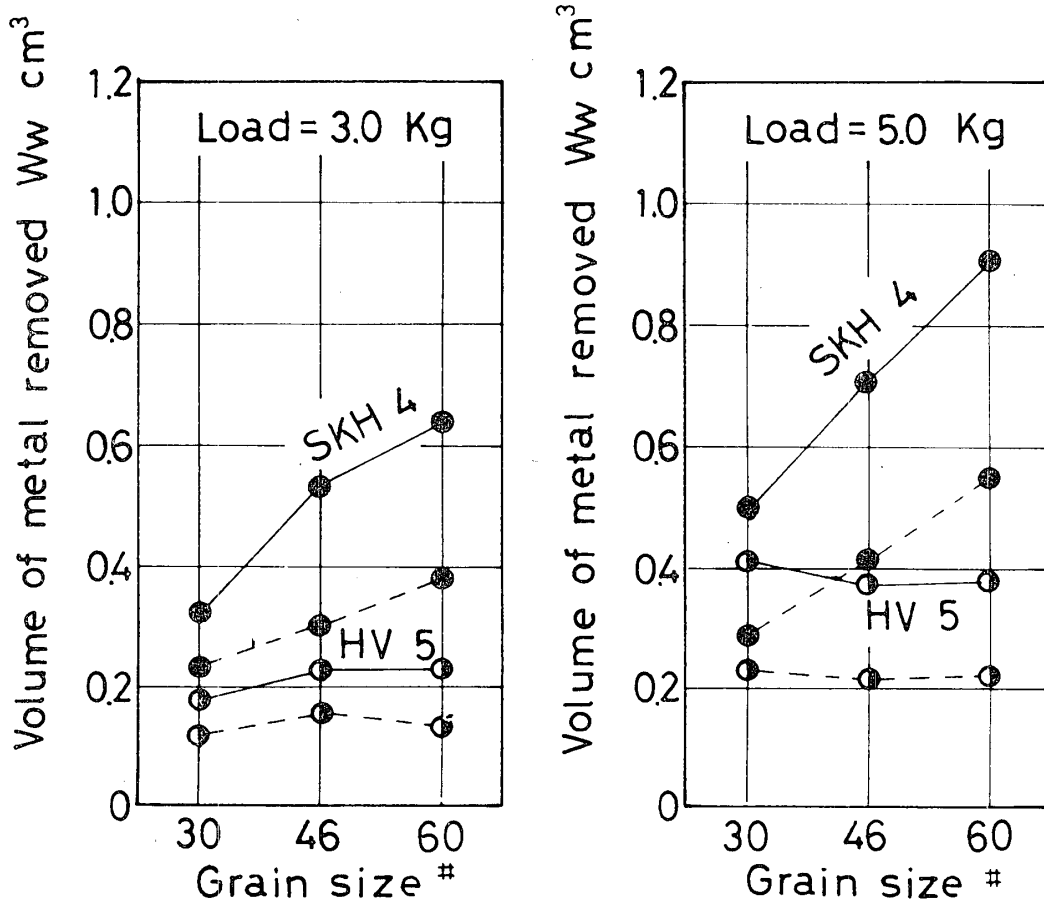


Fig.2 Relation between grain size and the volume of metal removed
Grinding wheels, WA (30~60) K6V
——Grinding time $t=60\text{min}$ -----Grinding time $t=30\text{min}$

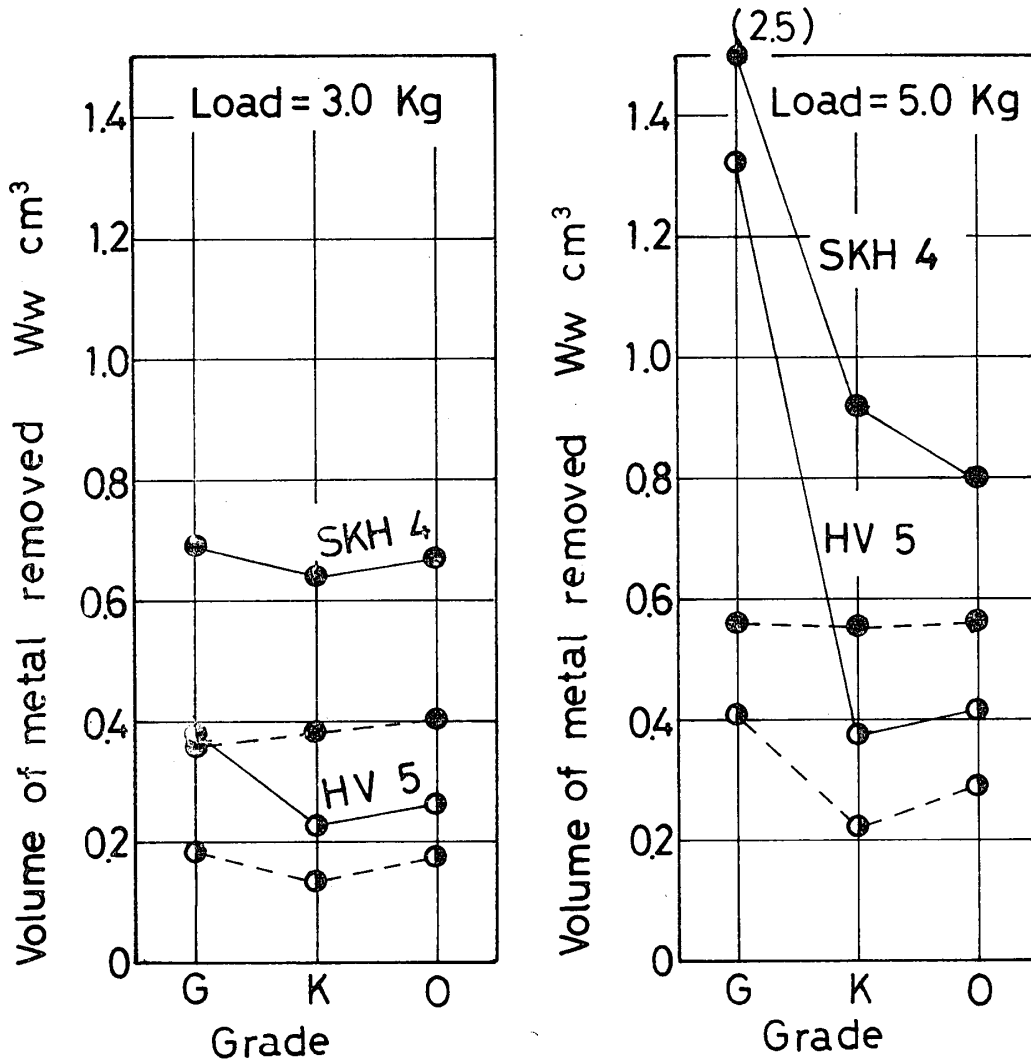


Fig.3 Relation between grade and the volume of metal removed
Grinding wheels, WA60(G~O)6V
——Grinding time $t=60\text{min}$ -----Grinding time $t=30\text{min}$

が激しく、新生切刃により研削が行なわれることによるが、特にHV 5では結合度の低目のGで研削量が多い。HV 5の研削量の点では砥石の粒度より結合度の変化の方が好ましい。

3.1.2 砥石損耗量 Wg (cm^3)—粒度($\#$), 結合度の関係

Fig. 4 は粒度と砥石損耗量の関係で、粒度の大きい時ほど、砥石損耗量が少くなり、好ましい傾向である(但し、HV 5, 荷重 5 kg, $\#60$ を除く)。これは砥粒が粗い時には、それぞれの砥粒は比較的重研削となり、摩耗が大きくなり易いことと、しかもそれが脱落した時には、その体積も大きいので、砥石損耗量が大きくなる。

Fig. 5 で結合度を変化した時の砥石損耗量は結合度が弱く、砥粒の脱落容易なGで大きく、KとOでは

あまり変わらない。

以上、粒度、結合度による研削量や砥石損耗量の変化は、いずれの場合も加圧荷重の大きいほど傾向が明白となる。

3.1.3 研削比 G —粒度($\#$), 結合度の関係

研削比は30分と60分でその大きさに大差ないので、ここでは $t=30\text{分}$ の研削比を図示する。研削比と粒度の関係は Fig. 6 に示すごとく、粒度の大きい時に、研削比が大きくなり好ましい結果である。これは粒度がある範囲で大きくなることは、前述のごとく一つの砥粒にかかる荷重がへるため、砥粒の損耗も少く、砥粒の破碎、脱落が起りにくく、平滑な研削が行なわれたためである。しかし HV 5では SKH 4 よりその影響が遙かに少ない。

結合度を変化した時の研削比は Fig. 7 に示すごと

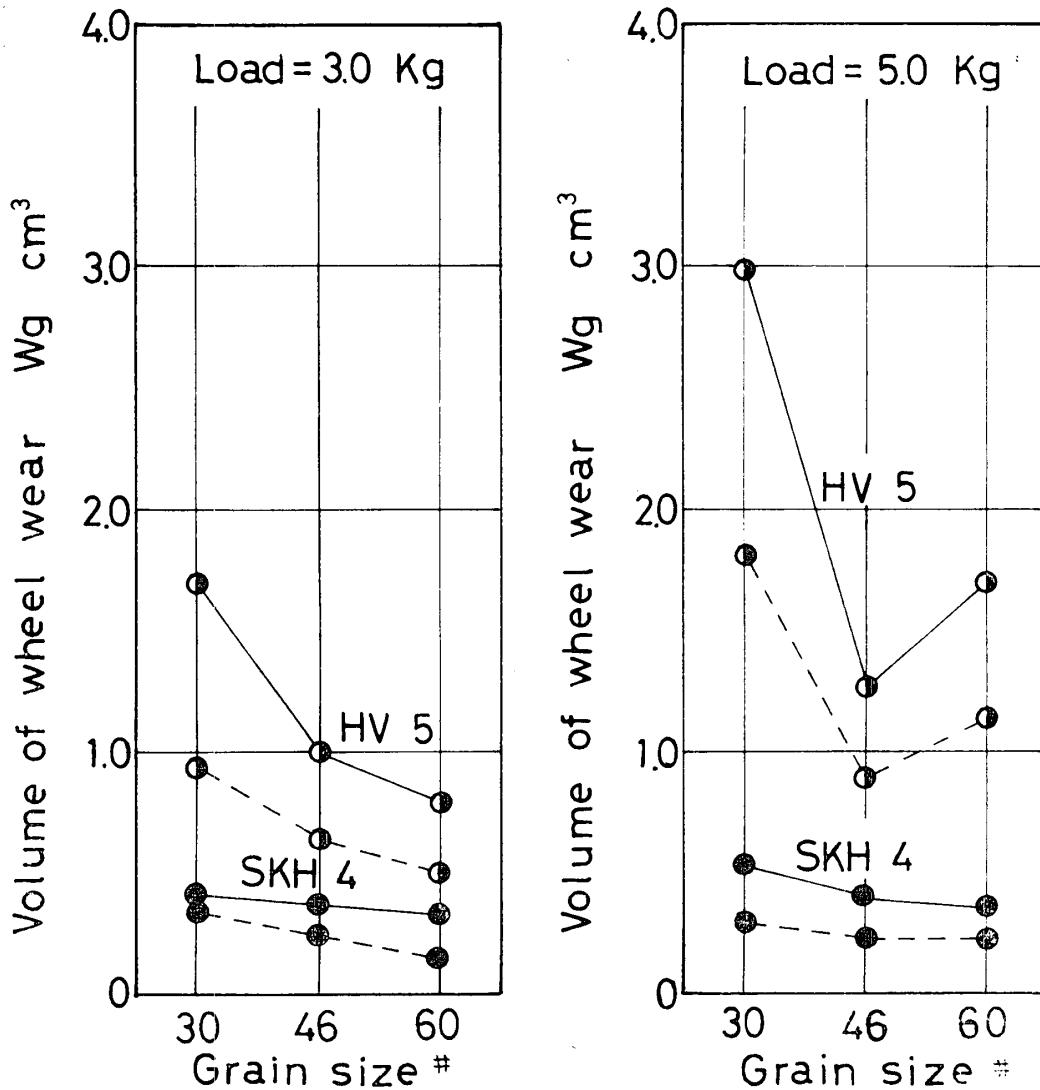


Fig.4 Relation between grain size and the volume of wheel wear
Grinding wheels, WA(30~60)K6V

—Grinding time $t=60$ min - - - - -Grinding time $t=30$ min

く、結合度 G では研削量も多いが、砥石損耗量も多いため、研削比は小さくなり好ましくない。一方、研削量は小さくても、つまり被研削材を短時間に多量に研削できなくても、砥石の減りが少ない O で研削比が大きく良い結果が得られた。研削比、研削量のいずれを重視するかは研削目的によって異なる。

研削比におよぼす加圧荷重の影響は、SKH 4 の粒度変化の場合で大きいのが、HV5では逆に小さい。Fig. 6, 7 から HV 5 の研削比をみると、粒度大より結合度の高い方がよいが、粒度大や結合度の高い砥石はそれだけ研削熱も高いので、切削工具の仕上げ研削では問題が起ろう。

3.1.4 研削抵抗 T (kg) — 粒度 (#), 結合度の関係

粒度と研削抵抗の関係を Fig. 8 に示すが、Fig. 2, 8 から SKH 4 では粒度が大きくなると研削量が多く

なるのに応じて、研削抵抗も多くなる傾向を認めるが、HV 5 では SKH 4 に比べ、研削量の割に研削抵抗が多い。

研削抵抗の大小には加圧荷重が最も大きく影響するのは勿論であるが、Fig. 8, 9 のごとく粒度が大きくなると、研削抵抗は増大し、結合度が高くなると減少する。これは粒度が細くなれば同時接触粒数が大きくなり、また結合度が高くなれば、砥石全体としてみときの耐摩耗性が増大するためと考えられる。

両被研削材の粒度や砥石結合度をかえたときの研削抵抗と研削比との差異を比べると、両者の間には大きなちがいがあがる。すなわち、両材料の研削抵抗の差異は僅かであるが、研削比の差異は大きい。従って研削抵抗だけでは砥粒の損耗機構を含めた被研削性を十分に説明しうるものでないことが予想される。

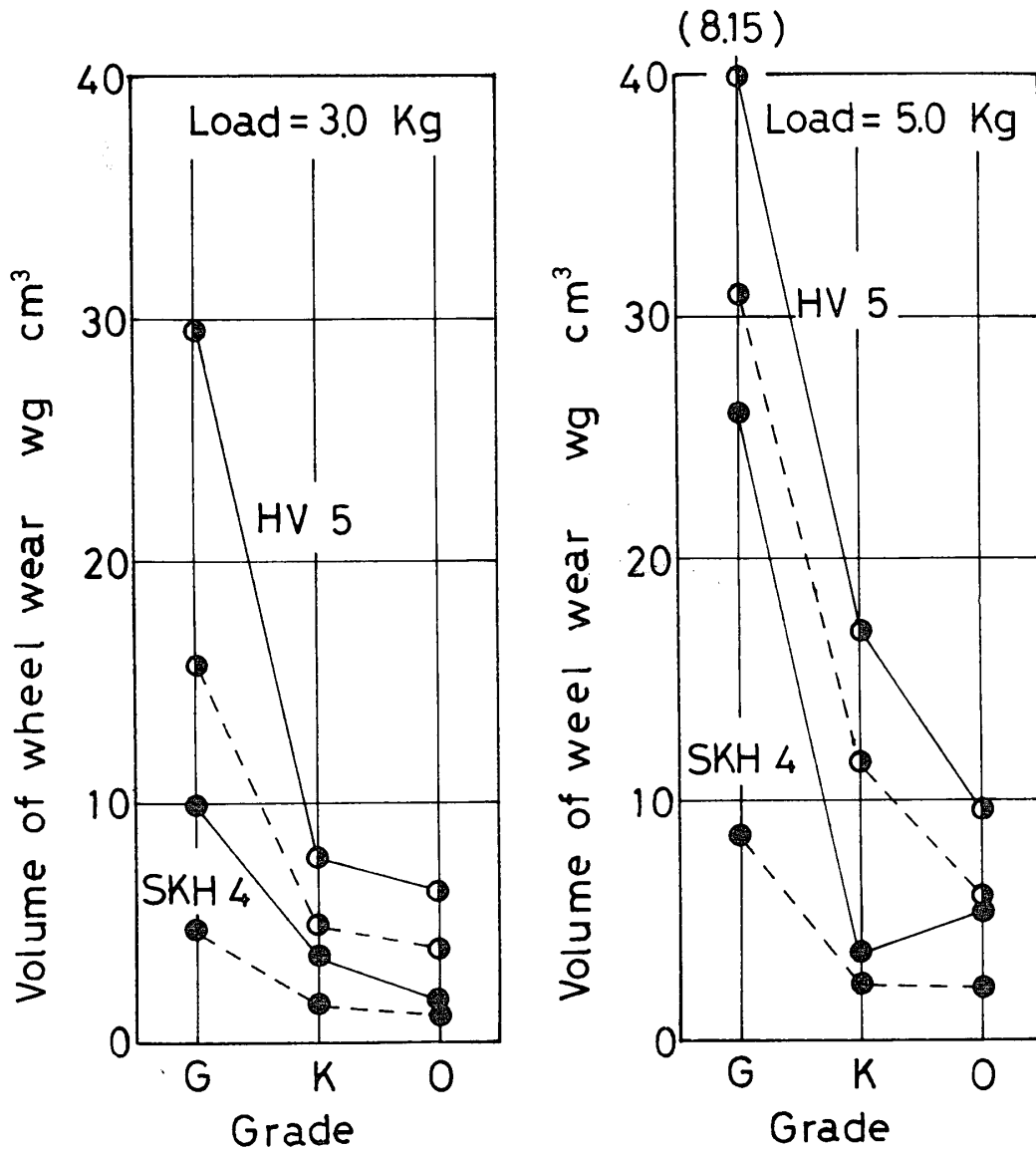


Fig.5 Relation between grade and the volume of wheel wear
Grinding wheels, WA60(G~O)6V

— Grinding time t=60min - - - - Grinding time t=30min

HV 5の方が SKH 4より研削抵抗が若干多いにもかかわらず、研削量はすべて SKH 4の方がずっと大きい。一方、砥石損耗はすべて HV 5の方が大きいことから、G/T すなわち単位研削抵抗当りの研削比からみた HV 5の被研削性は SKH 4よりさらに劣り、余程砥ぎにくい材料であることを示している。

3.2 被研削材の影響

今迄の実験で2種類の高速度鋼で被研削性が随分異なることがわかったので、ここでは Table 2のごとく、SKH 4 (W系), HV 5 (V系) のほか M7 (M₀系), MV10 (V系, 但し HV 5より W, V, C小, C₀, M₀大), HK1 (C₀系)を加えて、それぞれの被研削性を検討する。それぞれの化学成分, 硬度, 比重,

顕微鏡組織は Table 2, Fig. 1のごとくである。

Fig. 1 をみるといずれもマルテンサイトを主とする地質に一次, 二次の炭化物が析出した組織であるが HV 5, MV10のV系は二次炭化物細く, その数も多い。HK1, SKH 4は炭化物が大きい。高炭素高バナジウム系のは硬度が大きく, HK1, SKH 4特にHK1は炭素少なく, 硬度が低い。

Fig. 10に各鋼種の研削性の試験結果を一括して示したが, まず SKH 4と C₀系の HK1を比較すると, 両者とも W が約20%も入り, 複炭化物 (M₆C タイプといわれる) によって耐摩耗性をもたせた高速度鋼である。

両者とも研削性は他の材種よりずっとよいが, Vは

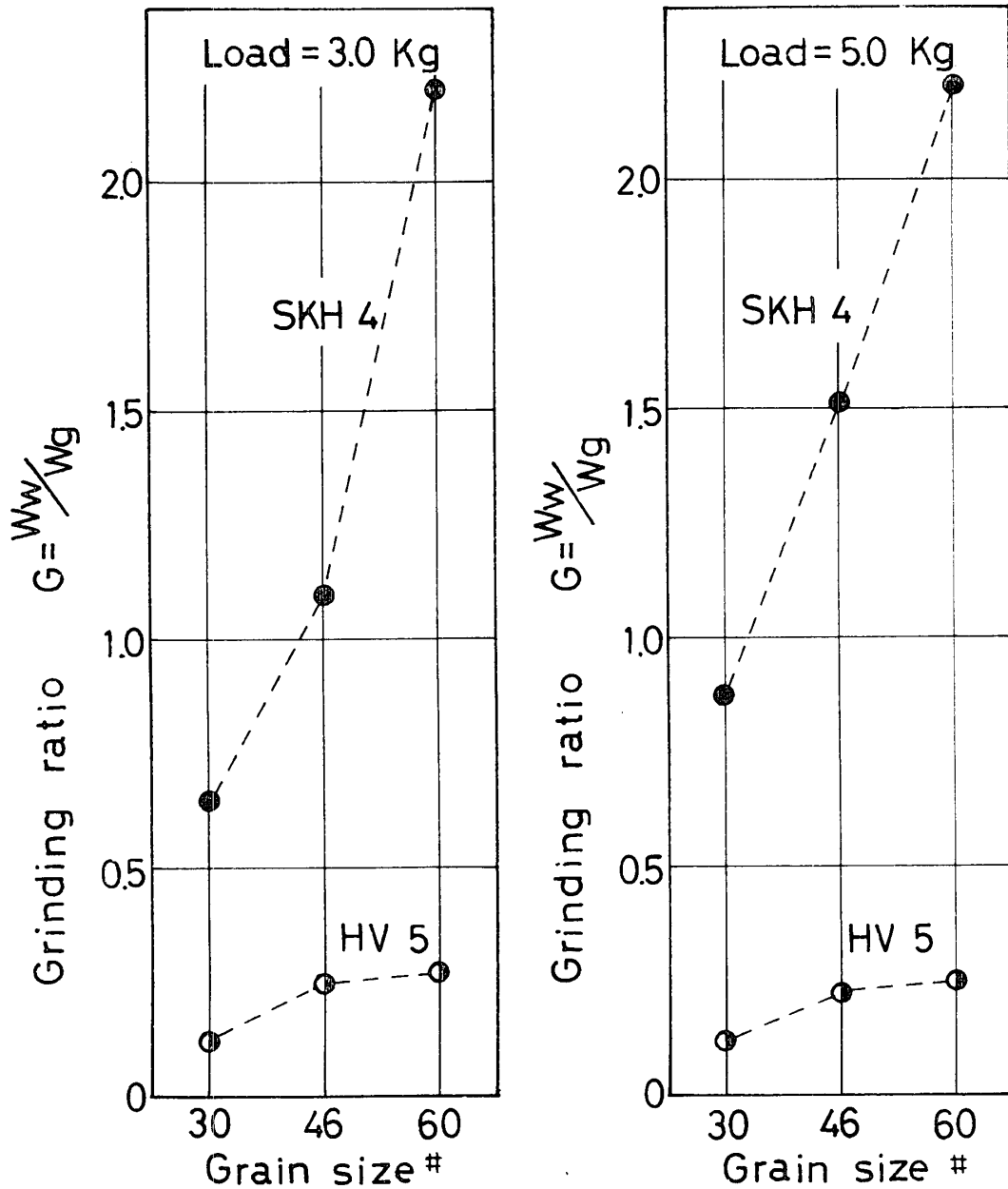


Fig.6 Relation between grain size and grinding ratio
Grinding wheels, WA(30~60)K6V
Grinding time $t=30\text{min}$

多いが炭素量のずっと少いHK1の方がわずかながら研削量や研削比が大きく、被研削性にやや優れている。これはC量が少くVC炭化物の析出が少ないためであろう。MV10, HV5は逆に被研削性が劣る。

M7はC, V含有量からみると上記2グループの中間にあり、被研削性も両グループの中間にある。成分と被研削性についてはV, Cの含有量とMCタイプのVCの析出量が最も影響し、反面C₀のごとく地質に固溶し、炭化物を形成しない成分はあまり被研削性に悪影響しないようである。

すなわち、Fig.10より、被研削性の良いものより順番に並べると、HK1>SKH4>M7>MV10>HV5の順で、Vとそれに対応する量のCを加え、硬いMCタイプの炭化物を多く作ると、WやM₀などよりなるM₆Cタイプの炭化物などより、ずっと被研削性は劣ってくる。

文献²⁾によればV<2%の高速度鋼材種ではM₆C (Hv=1495~1812)タイプの炭化物が被研削性に最も影響し、一方V>2%ではその被研削性がVC (Hv=2700~2900)によって支配されるといわれているが本

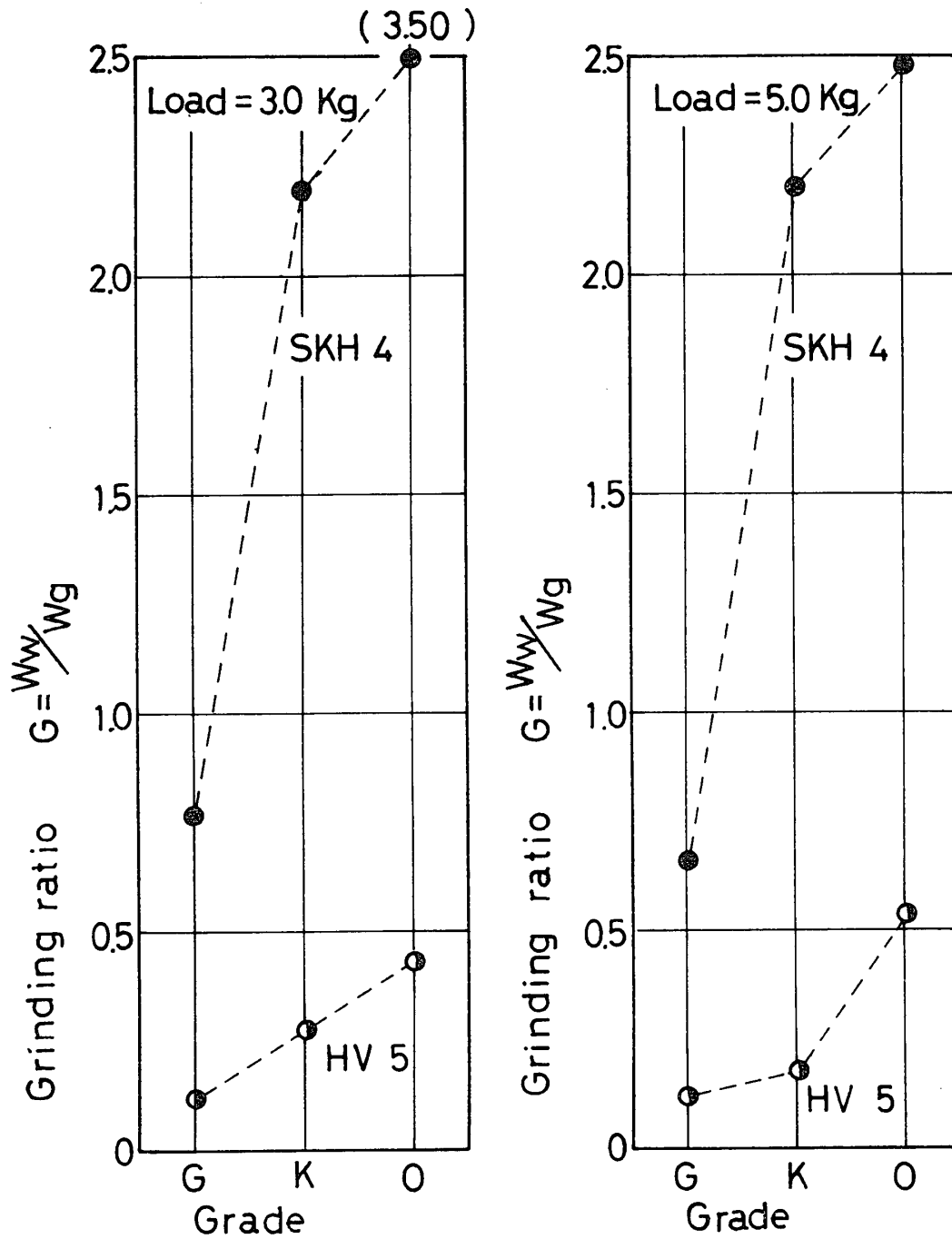


Fig.7 Relation between grade and grinding ratio
Grinding wheels, WA60(G~O)6V
Grinding time t=30min

実験はこれを裏書きしている。なお、砥粒の硬度は Hv 2400である。

本実験では地質に溶解している V や C の被研削性への影響は識別できなかったが、同文献によれば被研削性は未溶解炭化物により著しく影響されるといわれている。

3.3 工具材としての切削性能

被研削材の成分が被研削性におよぼす影響は前述のごとくであるが、ここでは被研削材が工具として使われた時の切削性能について検討するため、旋削と正面フライス切削を行なった。

旋削の結果は Fig. 11~14 に示す。V=15m/minのごとく比較的低速で、工具損傷の主原因が摩耗であると考えられる場合には、被研削性の悪い HV 5,

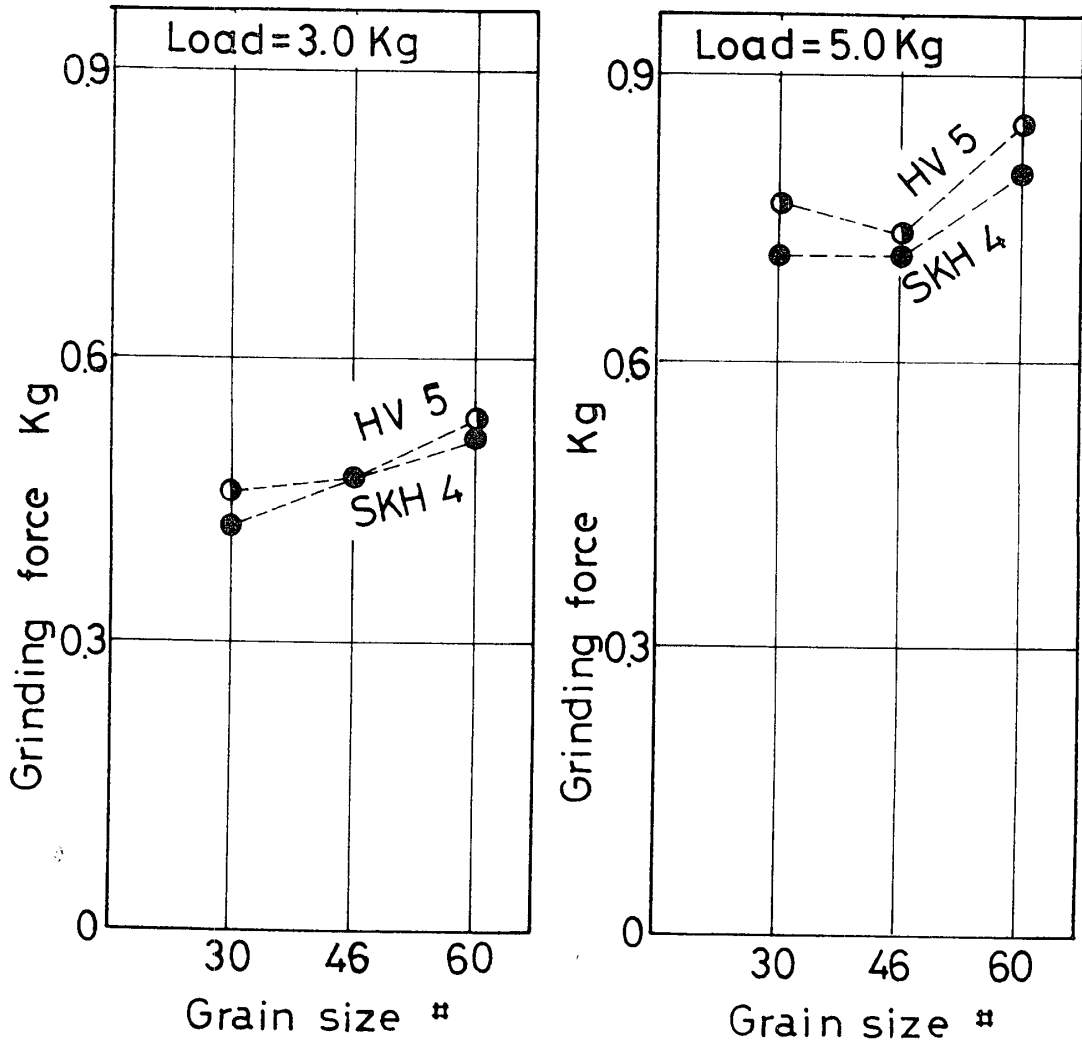


Fig.8 Relation between grain size and grinding force
Grinding wheels, WA(30~60)K6V
Grinding time $t=30\text{min}$

MV10 で切削性能がよく、被研削性の良い HK1, SKH4 で切削性能が劣る。その時の各材種の切削時間30分時の工具損傷はFig.13に示すように、構成刃先は存在するが、いずれも境界摩耗を伴った矩形型の損傷で、欠損の跡は見られない。

Fig.13 のように構成刃先を伴うときの工具の損傷はおもにフランク摩耗の形で起り、それには加工硬化した構成刃先の小片の脱落による機械的すきとり摩耗が主要原因である。このときのすきとり摩耗に対してHV5, MV10の耐摩耗性がすぐれていることが、フランク摩耗と特に境界摩耗で明らかである。それより高速の $V=25\text{m/min}$ では構成刃先は存在しない。従ってかなりの高温下で被削材が工具材をすきとる切削条件でも、HV5, MV10はすぐれHK1, SKH4は劣る。

つまり工具損傷の主原因がすきとり摩耗と考えられ

る切削条件範囲では、Fig.11, 12より $\text{HK1} < \text{SKH4} < \text{M7} < \text{MV10} < \text{HV5}$ の順に切削性能がよく、 $V=15\sim 25$ での切削性能順は前述の被研削性とは逆の傾向である。すなわち、被研削性の良いものは工具として使用する場合、耐摩耗性に劣る。

しかしもっと削り速度が早くなると、いわゆる切削熱による完全摩耗が工具寿命を支配する。Fig.14の矢印で示した高速での完全摩耗は工具の耐熱性による場合が多く、この場合には C_0 を20%入れたHK1が良く、 C_0 が5%と少いM7, HV5は耐熱性が劣り、HK1, SKH4より早期に完全摩耗に到り、MV10 ($C_0, 10\%$)はSKH4 ($C_0, 10\%$)と大差ない。

しかし Fig.14で、切削時間30秒までは $V=35\text{m/min}$ のごとき高速でもやはりHV5, MV10がHK1, SKH4よりすぐれていることは、かなりの高温下の耐摩耗性でも高V, C系がすぐれていることを示す。

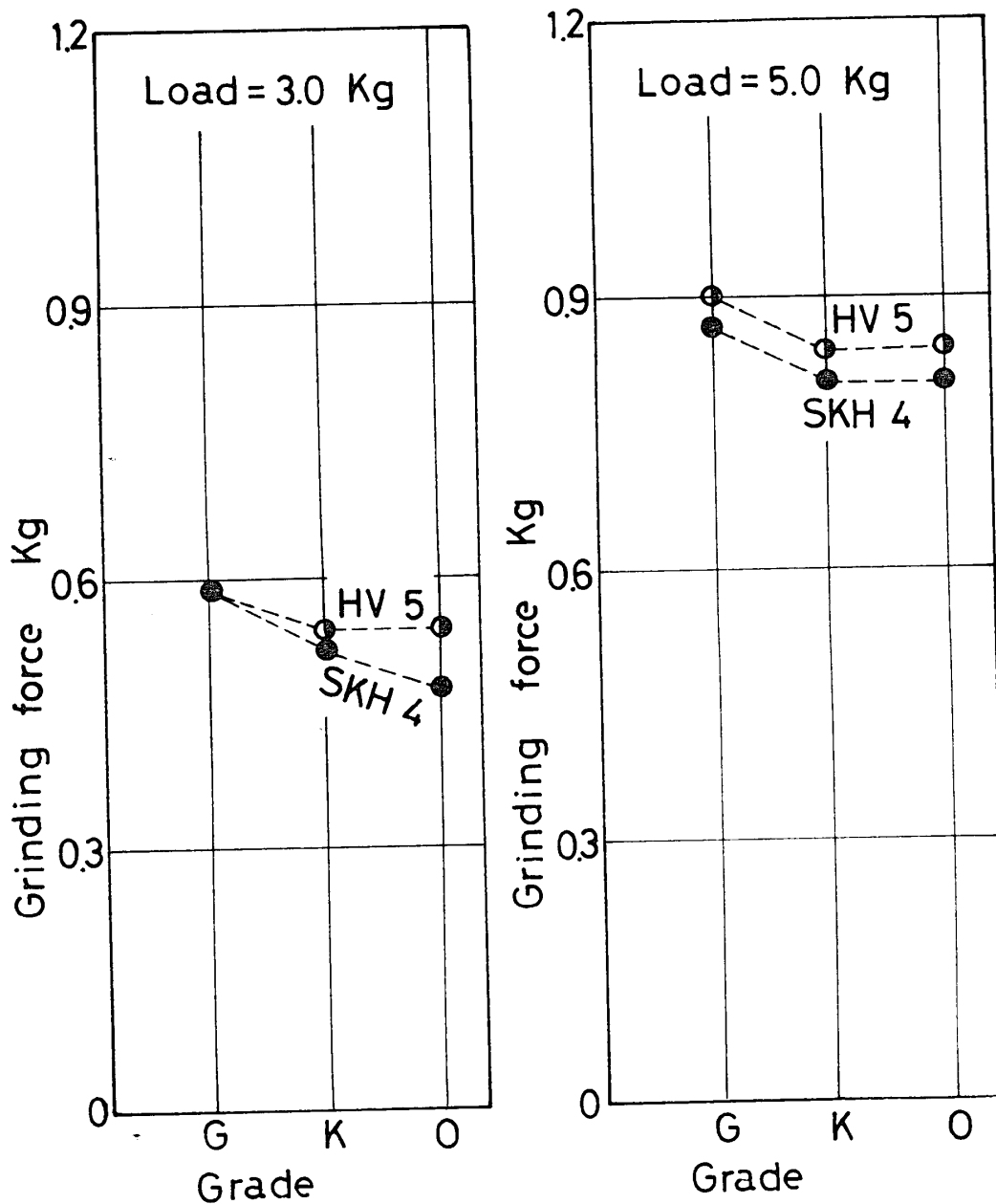


Fig.9 Relation between grade and grinding force
Grinding wheels, WA46(G~O)6V
Grinding time $t=30\text{min}$

しかし切削時間の進行により更に摩耗が進み、従って切削温度が上昇すると工具材の高温硬度が急に低下し、完全摩耗を引起すが、その耐熱限度には地質の影響が大きく、C₀含有量の多いものほどすぐれていることがわかる。

正面フライス切削ではFig.15,16のごとく、それぞれ削り速度と1刃当りの送り量を変えて実験した。その結果、Fig.15に示す平均フランク摩耗幅 V_B で比較すると、旋削の時と同様、いずれの条件にてもその幅は $\text{HK}1 > \text{SKH}4 > \text{M}7 > \text{MV}10 > \text{HV}5$ の順に小さ

くなった。ただし、クレータ摩耗量は削り速度によって増加するが、材種による著しい変化がなかった。ノーズ部の摩耗幅 $V_{B'}$ で比較すると Fig.16に示すごとく、大体は V_B の傾向と似ているが、若干異っていて摩耗曲線がクロスしている。これはノーズ部摩耗幅 $V_{B'}$ には若干のチップングの影響が入るためと思われるが、大部分の削り速度と送りの範囲で、HV5、MV10がやはりすぐれている。

始め正面フライス切削では靱性のすぐれた M₀ 系の M7 で高性能が期待されたが、高速度鋼は本来超硬

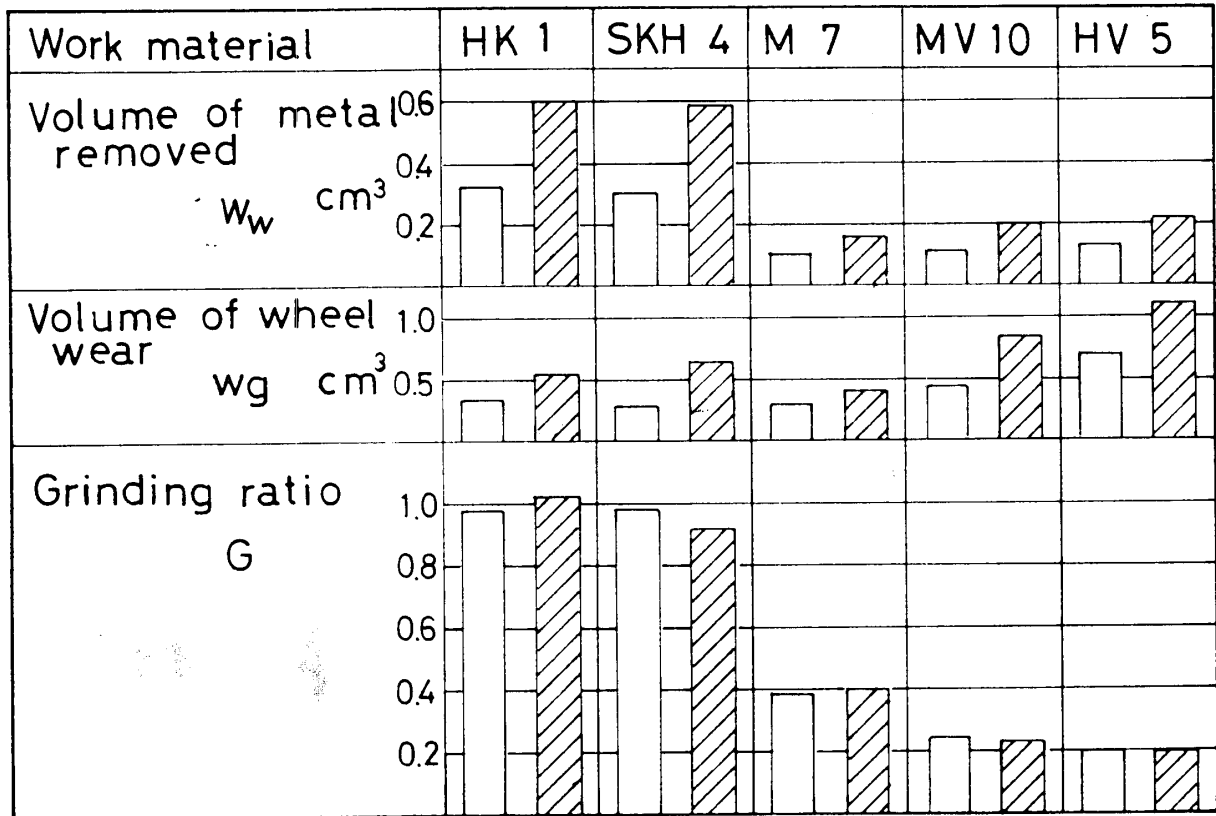


Fig.10 The volume of metal removed, the volume of wheel wear and grinding ratio for each work material

Grinding wheel, WA46G6V

▨ Grinding time $t=60\text{min}$

□ Grinding time $t=30\text{min}$

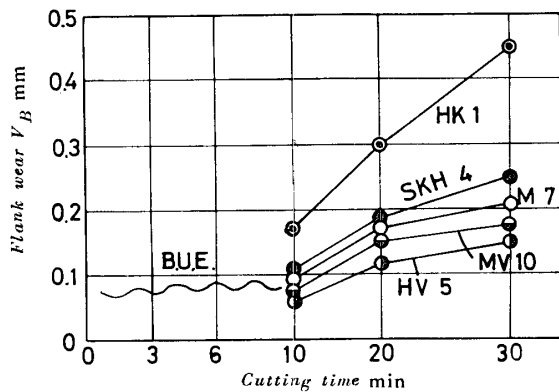


Fig.11 Relation between cutting time and flank wear

Cutting condition, $V \times d \times f = 15\text{m/min} \times 1.5\text{mm} \times 0.2\text{mm/rev}$

Work material, SCM 4(Q)

Machine, Lathe

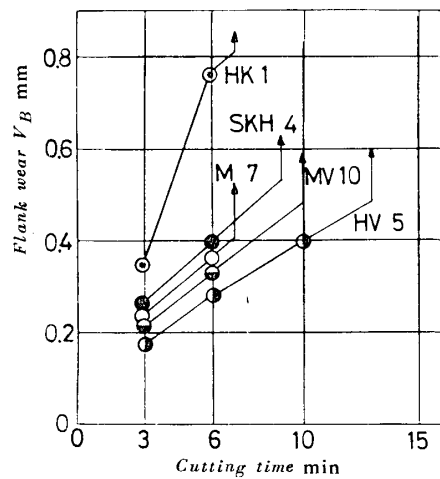


Fig.12 Relation between cutting time and flank wear

Cutting condition,

$V \times d \times f = 25\text{m/min} \times 1.5\text{mm} \times 0.2\text{mm/rev}$

Work material, SCM4(Q)

Machine, Lathe

Marks(↗) show the complete failure

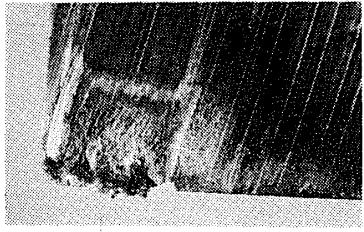
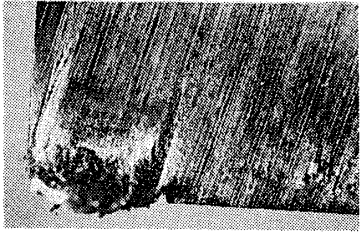
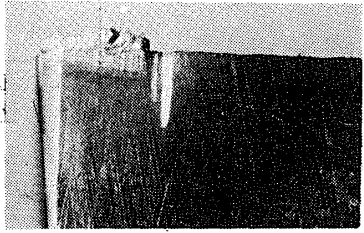
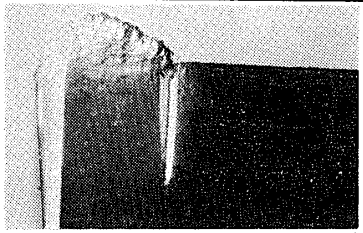
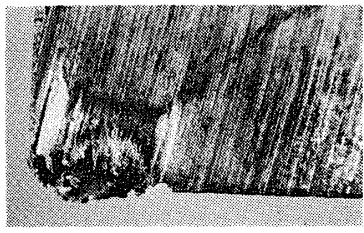
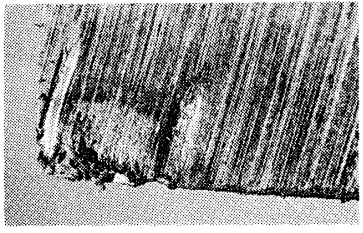
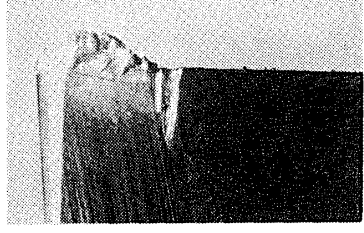
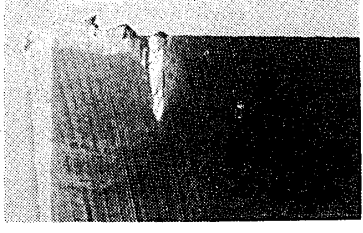
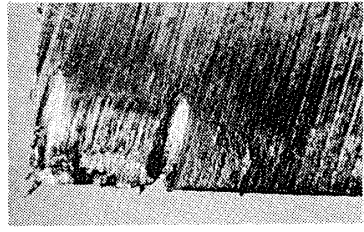
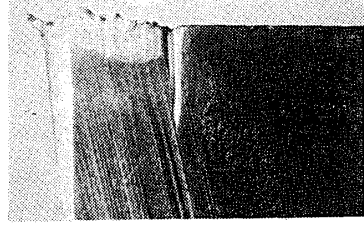
	H V 5	M 7
Crater wear		
Flank wear		
	M V 10	SK H 4
Crater wear		
Flank wear		
	H K 1	
Crater wear		
Flank wear		

Fig.13 Photographs of tool wear

Cutting condition, $V \times d \times f = 15\text{m/min} \times 1.5\text{mm} \times 0.2\text{mm/rev}$

Cutting time, $t = 30\text{min}$ Machine, Lathe Work material, SCM4 (Q)

Tool, High speed steels ($0^\circ, 6^\circ, 6^\circ, 6^\circ, 15^\circ, 15^\circ, 0.5R$)

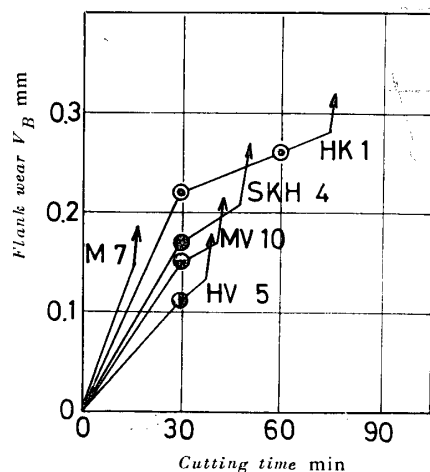
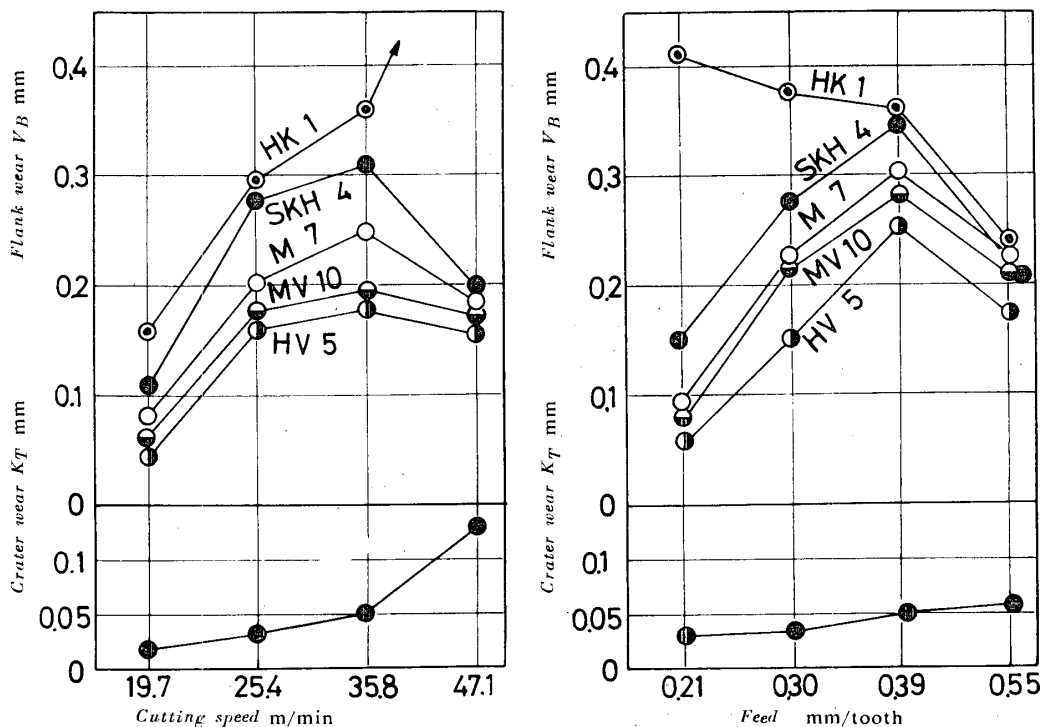


Fig.14 Relation between cutting time and flank wear

Cutting condition, $V \times d \times f = 35\text{m/min} \times 1.5\text{mm} \times 0.2\text{mm/rev}$

Work material, SCM4(Q)

Machine, Lathe Marks (↗) show the complete failure



Cutting condition

$V \times d \times f = 19.7 \sim 47.1\text{m/min} \times 1.0\text{mm} \times 0.4\text{mm/tooth}$

Cutting condition

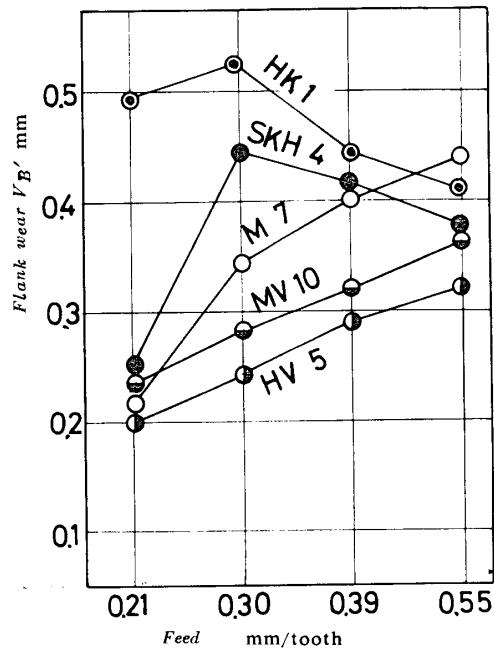
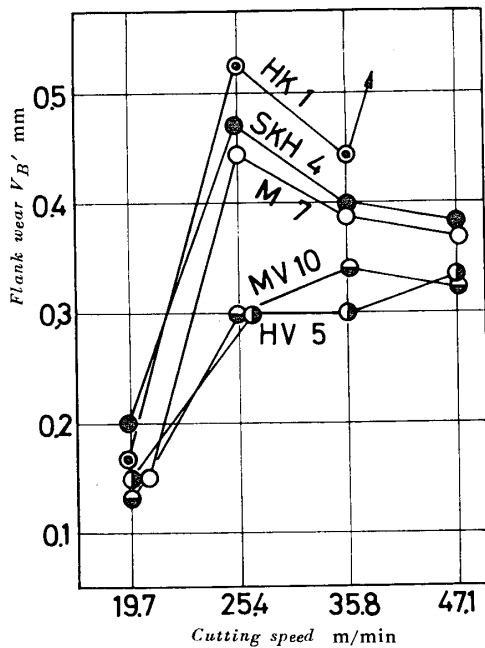
$V \times d \times f = 35.8\text{m/min} \times 1.0\text{mm} \times 0.21 \sim 0.55\text{mm/tooth}$

Fig.15 Relation between crater wear, flank wear and cutting speed

Work material, SCM4(Q) 47mm x 250mm

Cutter, 6in face milling cutter

Mark (↗) shows the complete failure



Cutting condition,

$V \times d \times f = 19.7 \sim 47.1 \text{ m/min} \times 1.0 \text{ mm} \times 0.4 \text{ mm/tooth}$

Cutting condition,

$V \times d \times f = 35.8 \text{ m/min} \times 1.0 \text{ mm} \times 0.21 \sim 0.55 \text{ mm/tooth}$

Fig.16 Relation between cutting speed, feed and flank wear

Work material, SCM4(Q) 47mm x 250mm

Cutter, 6in face milling cutter

Mark(↗) shows the complete failure

などよりずっと靱性にすぐれるため、この程度の断続切削による衝撃では各鋼種の靱性が影響せず、やはり耐摩耗性にすぐれた HV 5, MV10が好性能である。いかえると HV 5, MV10は連続、断続の可成りの広い用途範囲まで使用でき、耐熱性では MV10が若干よい。

4. 結 論

以上のことより、粒度が変わると砥粒の切れ味はかなり変化し、粒度(μ)が大きいき、つまり砥粒が細かい時の方が研削性が良い。結合度の変化によって砥石の損耗量が大きく変化し、結合度の大きい時ほど、研削比が大きくなり良い結果が得られた。しかし粒度や結合度をかなりかえても SKH 4 と HV 5 の大きな研削比のちがいは補えなかった。これに対し研削抵抗のちがいはわずか HV 5 が大きい程度である。HV 5 では研削比が1より小さいので、砥石で研削されるより砥石を研削すると言ってもよい程被研削性は劣る。

実験した5種の材種の被研削性は HK 1 > SKH 4

> M 7 > MV10 > HV 5 の順に良く、切削時の性能では HK 1 < SKH 4 < M 7 < MV10 < HV 5 の順に耐摩耗性がよい。すなわち被研削性と耐摩耗性は相反する。

高速度鋼材種の被研削性や耐摩耗性には、金属中の炭化物特に VC (あるいは V_4C_3 ともいわれる)の影響が大きく、これが被研削性を劣化さす反面、切削時の耐摩耗性を向上さす。一方、切削性能の他の重要な要素である高温かたさの急低下を阻止する耐熱性には C_0 溶解量の多少などによる鉄地質の影響が大きいことが推定される。

本研究をまとめるに際し、第1回生産機械卒業生羽山隆貫、友清吉男両君に感謝する。また高速度鋼工具についてお世話になった日本高周波鋼業(株)に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 大草, 山本, 益富: 山口大学工学部研究報告, 20, 271 (1969)
- 2) W. Haufe: Werkstatt und Betrieb, 98, 837 (1965)

(昭和44年8月15日受理)