

超硬エンドミルの工具損傷に与える工具材種の影響について

北川 亮三*・大草 喜太雄*

The Effects of the Carbide Grades on Tool Failure in Endmilling

Ryozo KITAGAWA and Kitao OHKUSA

Abstract

Tool failure mechanism of carbide tool in endmilling has been studied with regard to carbide grades and cutting edge sharpenability. Carbide tool's properties were varied by changing the chemical compositions and the carbide particle sizes.

Machining test were conducted on a milling machine by endmilling plain carbon steel block. Cutting speed was varied from 31.6 m/min to 56.7 m/min and feed rate 0.1 mm/tooth whereas depth of cut was used constantly on the tests.

After test runs, the following conclusions were obtained:

- (1) There is a great deal of influence in tool failure, when the carbide grades of endmills are changed with the sharpenability of cutting edges. It is found that the sharpenability of cutting edge relate with carbide particle sizes and binder contents.
- (2) Wear pattern on the tool flank is fine chipping in cutting edges and its chipping process is rapid in the up-endmilling.
- (3) The difference of the cutting-ability rating of the hot isostatic press treatment tool (N20H) and that of the conventional tool (N20) was not clear.

1. 緒 言

エンドミル加工は切削開始時と終了時に過渡現象を伴い、切削中の切りくず厚さも刻々と変化する切削方式である。このため、鋼系材料の加工ではエンドミル切れ刃はチップングを生じやすく、切削性能に大きく影響する。そこで、エンドミルに用いる工具材料は耐チップング性に富み、高いじん性を持つ高速度鋼を多く使用し、それに関する研究¹⁾も進められて来た。

しかし、機械加工費の低減に対する要請から、工作機械は自動化、省力化、無人化を指向し、工具の長寿命化が強く求められている。この要請に対して高速度鋼のエンドミルは金属学的、機械的性質上、超硬合金のそれと較べて高能率加工への適用に対して限界に達している。

一方、超硬合金のエンドミルは高速度鋼のそれと較べて良い耐摩耗性を示しながらも、切れ刃にチップ

ングを生じやすい。この理由から鋼系材料の加工への適応には多くの問題点を残していた。

近年、超硬合金の冶金学的研究が進み、高じん性の超微粒子系超硬合金が開発された。この超硬合金エンドミルは非鉄合金や鋳鉄の切削には良い結果を示すが、鋼の切削には十分な成果を挙げていない。

エンドミル加工は低剛性の工具で、常時厚さの変化する切りくずを排出する断続微小切削であり、この加工における超硬合金材種と工具損傷との関係について系統的な研究は殆ど行なわれていない。特に、両者の関係を解明することは長寿命で高能率加工に使用出来て、しかも高い信頼性を持つ鋼切削用エンドミルの超硬合金材種の開発に寄与するものと考えられる。

この研究では超硬合金中の炭化物粒子径と結合剤Coの含有量が鋼のエンドミル加工中の工具損傷にどのような影響を与えるかについて検討したものである。

2. 実験に供した工具と実験方法

エンドミルの切れ刃はソリッド、ろう付け、スロー

* 生産機械工学科

アウエイの3種類により設けられている。本研究では切れ刃稜を光学顕微鏡や走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察が容易に行なえるようにスローアウェイ型を採用した。そのエンドミルは Fig. 1 に示す。エンド

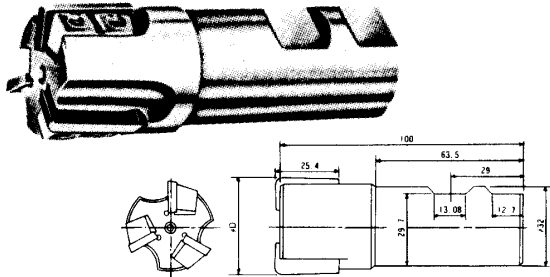


Fig. 1 Inserted blade end mill.

ミルの形状は直径 38 mm, ラジアルレーキ角 0°, アキシヤルレーキ角 3°, 切れ刃の数 3 枚である。予備実験として, 3 枚刃エンドミルと 1 枚刃エンドミルで工具寿命試験を行なった。その切削試験より工具寿命に大きな差異は認められなかった。このため, 切削実験はすべて 1 枚刃で行なった。Table 1 は実験に用いた超硬合金 5 種類の物理的性質を示す。これらの超硬合金は JIS の使用分類から鋼用の P20, 鋳鉄用の K20, そして超微粒子の 3 系列に分類される。これらの超硬合金は本研究用として特別に製作し, # 320 ダイヤモンド砥石で注意して研削仕上げを行なったものである。

Table 2 は Table 1 に示した超硬合金の化学成分であり, 超微粒子系のそれは結合剤 Co の含有量の多いことが分かる。N20 と N20H との相違は熱間静水圧処理法 (Hot Isostatic Press Treatment 略して HIP) の有無で, それらの化学成分は同一である。Fig. 2 は Table 1, 2 に示した超硬合金の組織写真 (1000倍) である。これらの写真から N37 (P20) は複炭化物, WC 粒子そして白い部分の Co より出来ている。NG2 (K20) は角ばった WC 粒子と細かい WC 粒子

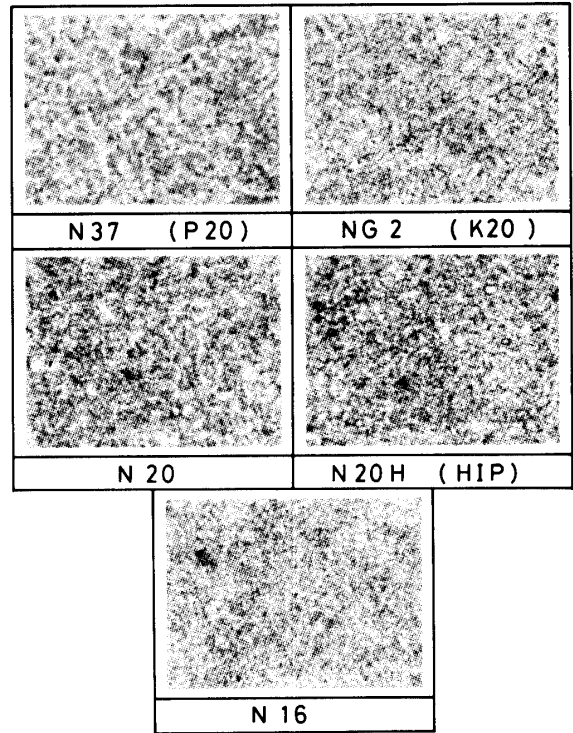


Fig. 2 Typical microstructures of carbide tools.

Table 2 Chemical compositions of carbide tools

Grade	Tool	WC	TaC	TiC	Co
P20	N37	73	11	7.5	8.5
K20	NG2	93.5	/	/	6.5
Micro grain	N20	85	2	/	13
	N20H	85	2	/	13
	N16	84	/	/	16

それに Co で構成されている。

超微粒子系の N20, N20H, N16 はいずれも炭化物粒子径 1 μm 以下の微細粒子によって構成され, 組織写真から, それぞれの特徴を見分け難い。Table 1 に

Table 1 Physical properties of carbide tools

Grade	Tool	Tool material	Properties of tool		
			Hardness HRA	Density g/cm ³	Coercive force, Oe
P20	N37	WC-TiC-TaC-Co	91.0	12.62	135
K20	NG2	WC-Co	90.3	14.91	165
Micro grain	N20	WC-TaC-Co	91.0	14.03	308
	N20H	WC-TaC-Co(HIP)	91.0	14.03	280
	N16	WC-Co	91.0	13.64	290

示した物理的性質も N20, N20H, N16 は硬度, 比重抗磁力ともにほぼ同じ値を示し, 似ているものと推察される。

使用した工作機械は一番の 堅型フライス 盤 (主軸モータ 2.2kw, 油圧モータ 3.7kw, 同時 1 軸数値制御装置つき) で, 主軸の回転数と X 軸パルスモータのパルス周波数は常時カウンターにて監視し, 主軸 1 回転当りの送りはいつも 0.1mm/tooth となるように配慮した。

実験に用いた被削材は炭素鋼 (S 45 C) の焼きならし材で, その寸法は 100 mm×100 mm×225 mm である。この被削材を工作機械のテーブルに直接とりつけ, 被削材の剛性低下を防止した。

切削条件は軸方向に 10mm, 半径方向に 2mm それぞれ切り込み, 切削速度は超微粒子超硬合金に適する 31.6, 39.6, 49.3, 56.7 m/min, 送りは 0.1 mm/tooth 一定とした。なお, 切削油剤は全く使用していない。

エンドミルの切削性能を評価する実験手順は「規準データ収集のためのフライス削り試験仕様書 (エンドミル編), 昭和50年3月, 機械振興協会」に準拠して行なった。また, 工具摩耗の測定法はすべて上記の仕様書に従い, 後述の実験結果は逃げ面摩耗幅 VB として表示した。

Fig. 3 は鋼加工中, エンドミル切れ刃に生じた工具損傷の概念図である。工具損傷は逃げ面摩耗, 切れ刃稜のチップング, フレーキング, すくい面の圧着物分離などにより生じている。しかし, この実験で注目した損傷は逃げ面摩耗と切れ刃稜のチップングである。

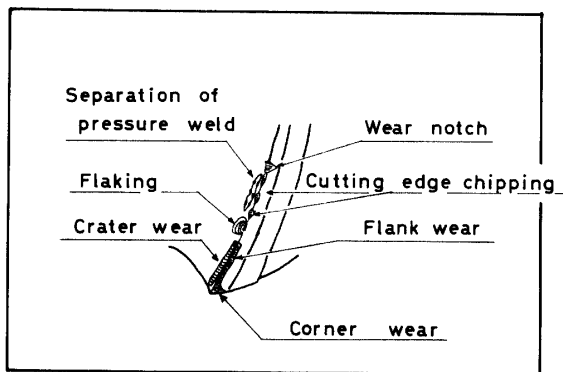


Fig. 3 Wear of end mills.

3. 実験結果と考察

3-1 下向き削りにおける工具損傷

エンドミルの切削性能を評価する切削方式は溝削り, 下向き削りや上向き削りによる段削りなどである。本

実験では段削りを行ない, 切削開始時に切れ刃のすべりが殆どなく, 切りくずの排出も良い下向き削りによって切削実験を行なった。各切削速度における決められた切削容積ごとに測定したエンドミルの逃げ面摩耗幅の変化状況を Fig. 4, 5, 6, 7 に示す。Fig. 8 は切削速度 49.3 m/min, 切削容積 22.5 cm³ における工具逃げ面側の損傷写真である。

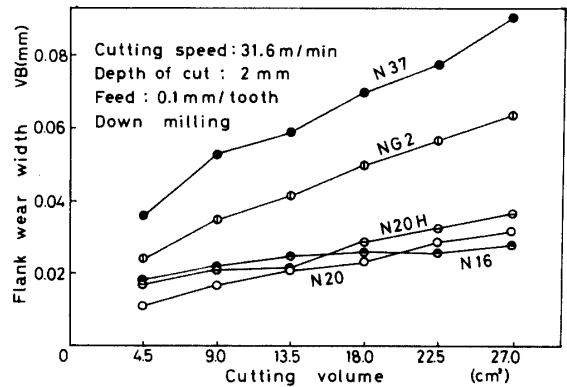


Fig. 4 Wear curves of carbide tools in cutting speed 31.6 m/min.

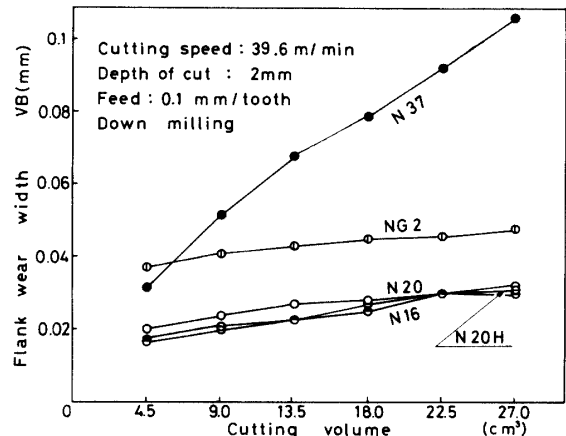


Fig. 5 Wear curves of carbide tools in cutting speed 39.6 m/min.

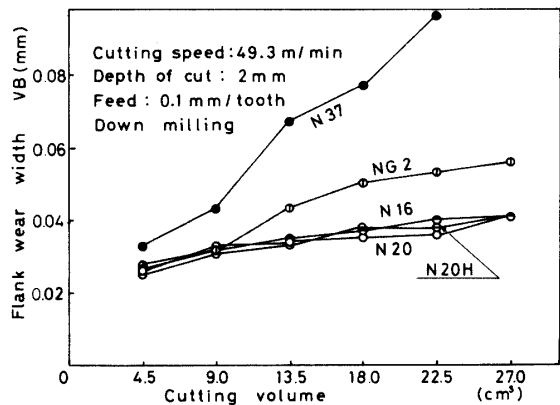


Fig. 6 Wear curves of carbide tools in cutting speed 49.3 m/min.

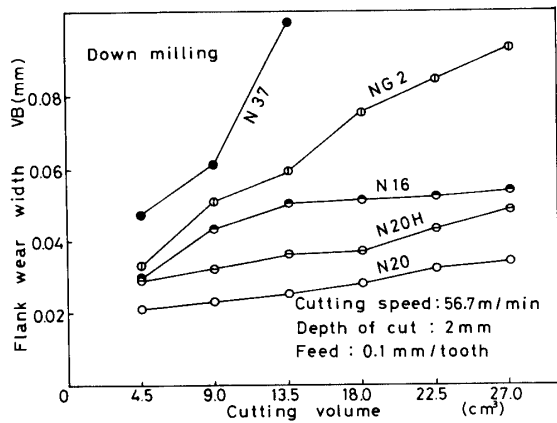


Fig. 7 Wear curves of carbide tools in cutting speed 56.7 m/min.

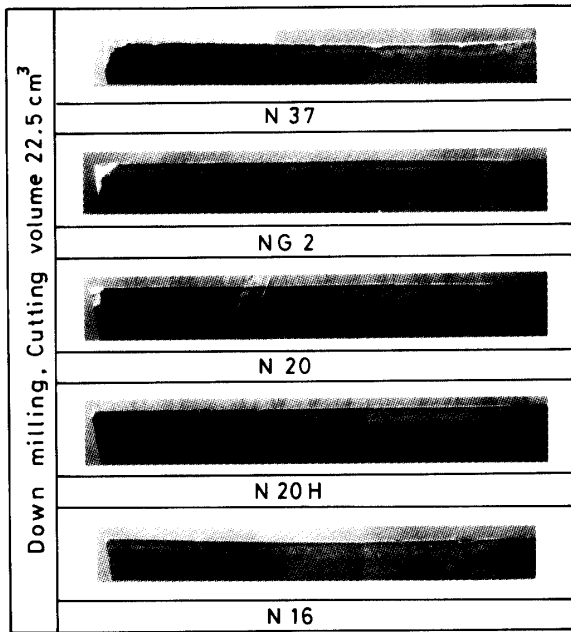


Fig. 8 Typical flank wear at cutting speed of 49.3 m/min and feed 0.1 mm/tooth (Down milling)

いずれの切削速度においても N37 (P20) が摩耗しやすく、超微粒子系が少ない摩耗を示している。切削速度が 56.7 m/min に上昇すると超微粒子系超硬合金にて VB 摩耗に差異を生じている。NG2 (K20) は N37 と超微粒子との中間の逃げ面摩耗を示して、安定な切削が行なわれている。このことは損傷写真による観察からも見られる。このように TiC を含まない超硬合金ほど炭化物の粒子と Co 相との結合が良く、粒子の脱落が生じ難いと推察される。一般に超微粒子系の切削速度は 50 m/min 以下で使用する事が望ましいと言われていたこととも符合する。超微粒子系の N20, N20H, N16 は切削速度 56.7 m/min の実験でいずれも切れ刃中央部にチッピングを生じている。これ

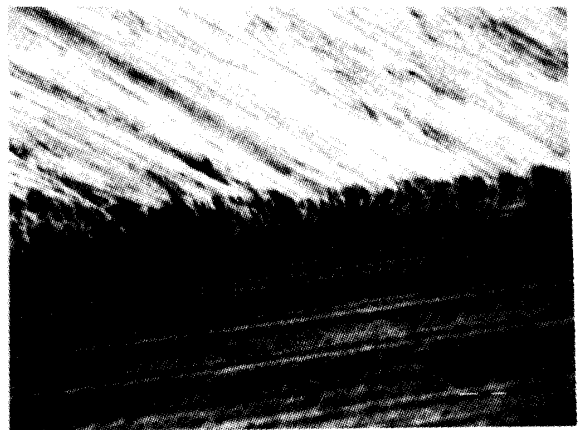
は切りくずの喰み込みに基因すると考えられる。

超硬合金工具を用いた断続切削では切れ刃後のチッピングを防止するため、チャンファを付けることが行なわれる。しかし、エンドミル加工では切削過程の進行に伴って切りくず厚さは変化し、切削開始時には切り込み零から切削を行なわねばならない。

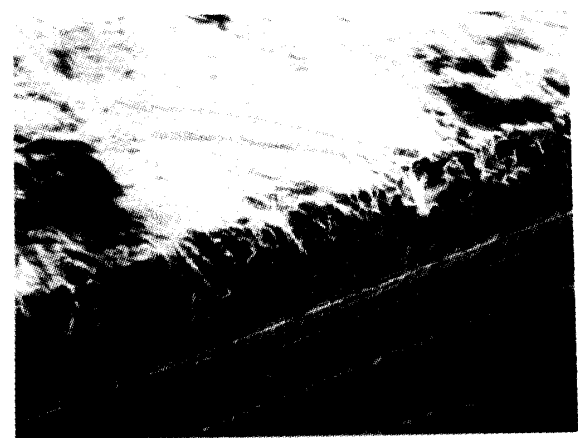
このように切りくず厚さが刻々変化するものには切れ刃後にチャンファを設けてチッピングを防止する方法の応用は妥当でない。そこで、本実験では切れ刃後に全くチャンファは設けていない。

切れ刃はすくい面、逃げ面ともにダイヤモンド砥石を用いて研削される。超硬合金に含有される炭化物粒子や結合剤 Co などの含有量により研削された切れ刃は種々の丸味半径を生ずるものと推察される。

Fig. 9 はエンドミル切れ刃として用いた超硬合金 N20 と NG2 の切れ刃を観察した走査型電子顕微鏡写真 (3000倍) である。これらの写真から炭化物粒子



N 20 (X3000)



NG 2 (K20)(X3000)

Fig. 9 S. E. M. Photographs of cutting edges of tested carbide tools are shown.

径の大きい NG2 (K20) 切れ刃は炭化物粒子の脱落によって不均一な丸味半径を生じている。炭化物粒子径の小さい N20 の切れ刃は一直線になり、鋭い稜線を示している。このように切れ刃の丸味半径は N20 と NG2 では大きく異なっている。

Fig. 10 は工具材種と逃げ面摩耗との関係として、前述の実験結果を整理したものである。この図では、切れ刃に生じた小さなチップングを含んでいるものの、摩耗の測定は逃げ面摩耗 VB である。この実験から超微粒子の N20, N20H, N16 の逃げ面摩耗幅は他の材種のそれより小さい。N37 (P20) の逃げ面摩耗が大きいのは最適な切削速度よりも低いところで実験を行ない、かえって炭化物の脱落などを起こして摩耗を促進したものと考えられる。NG2 (K20) は切削速度 40~50 m/min の範囲で低い摩耗値を示している。

このようにエンドミル削りでチップングを避けることが出来れば、超微粒子系超硬合金は良い結果を示すこととなる。

N20 の切れ刃は鋭く、切削開始時に切れ刃は応力集中を受けて、チップングを起こす原因となる。一方、NG2 の切れ刃は N20 のそれと比べて大きく、切削中の切れ刃に加わる応力集中も緩和されて、

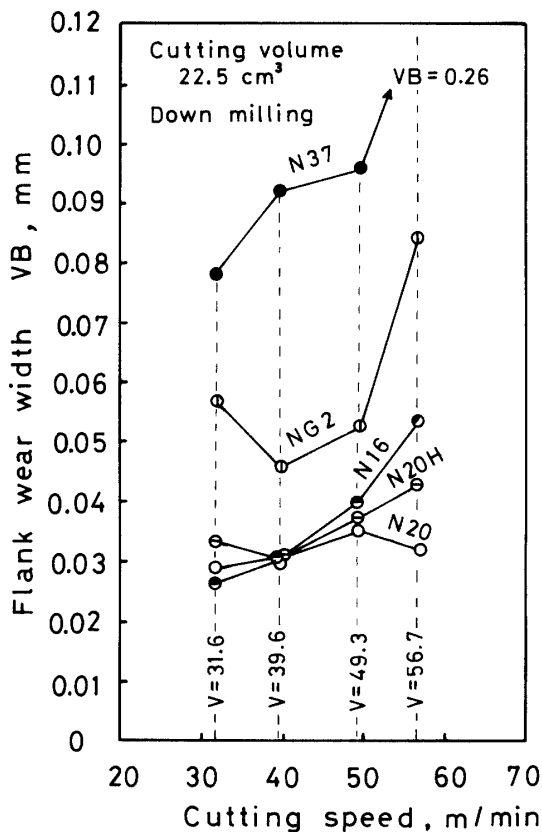


Fig. 10 Influence of the carbide grades on flank wear when endmilling carbon steel.

チップングは低減される。

工具材種による工具損傷形態の相違は切れ刃の丸味半径とも関係し、これは炭化物粒子径や結合相 Co の厚みなどと密接に関係している。このことから鋼のエンドミル加工においては最適な丸味半径を有する切れ刃が各工具材種に存在するものと考えられる。

3-2 上向き削りにおける工具損傷

上向き削りは切削開始時に切れ刃のすべりを伴う過渡切削現象である。このため、超硬エンドミルによる上向き削りでは切削開始時のすべり領域で切れ刃はチップングを生じやすいと推察される。

Fig. 11, 12, 13, 14 は各切削速度における切削容積ごとに測定した各エンドミルの逃げ面摩耗幅の変化状況を示す図である。

これらの実験結果から判るように NG2 (K20) を除いて、他のエンドミルは切れ刃すくい面から逃げ面にかけて多数のチップングを生じ、切削実験を中止している。特に超微粒子系の N20, N20H, N16 はいずれ

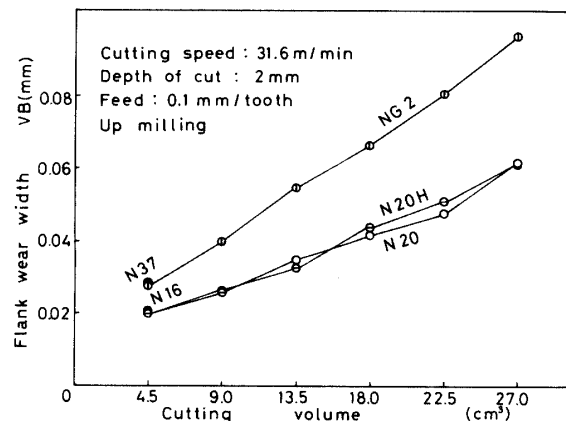


Fig. 11 Wear curves of carbide tools in cutting speed 31.6 m/min.

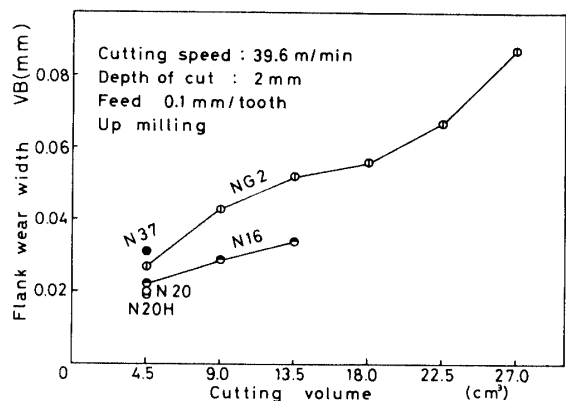


Fig. 12 Wear curves of carbide tools in cutting speed 39.6 m/min.

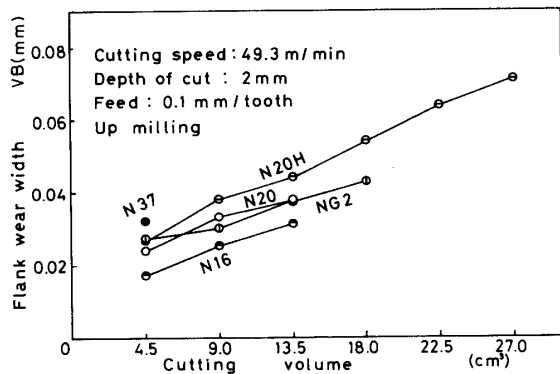


Fig. 13 Wear curves of carbide tools in cutting speed 49.3 m/min.

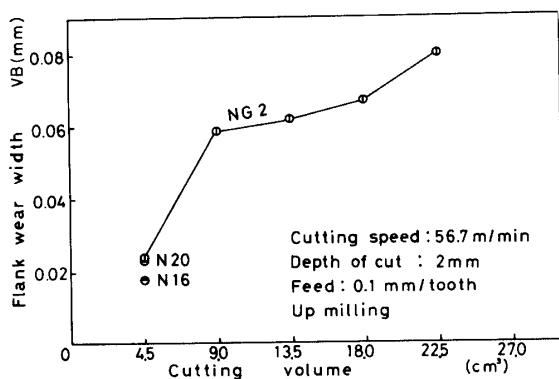


Fig. 14 Wear curves of carbide tools in cutting speed 56.7 m/min.

もチップングを生じ、良い切削性能を示していない。これは前述の Fig. 9 に示す走査型電子顕微鏡写真から炭化物粒子径 $1\mu\text{m}$ 以下と微細粒で、NG2 と較べて切れ刃稜の丸味半径の小さいことに基づいている。

この鋭利な切れ刃稜が上向き削りのすべり領域で切線方向の分力と半径方向の分力との不平衡で、切れ刃稜に引張り応力を生じてチップングを誘発したものであろう。

NG2 (K20) は超微粒子系のそれらと較べ、いずれの切削速度においても僅かなチップングを生じたと言え、安定した切削が可能であった。

Fig. 15 は切削容積 4.5cm^3 、切削速度 49.3m/min における上向き削りで生じた各工具の損傷写真である。この写真より超微粒子系の N20, N20H, N16 は大きなチップングを生じ、NG2 や N37 (P20) は比較的小さなチップングである。このことは上述した切れ刃稜の丸味半径の大小と密接な関係を示している。

Fig. 11, 12, 13, 14 に示した切削実験から超硬エンドミルで上向き削りを行なうと切れ刃にチップングを生じやすいことが分かった。

3-1, 3-2に述べた実験結果から NG2 (K20) が上向

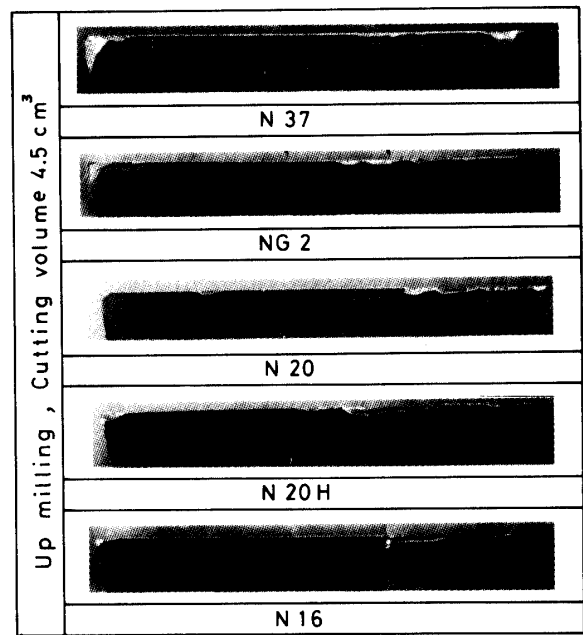


Fig. 15 Typical flank wear at cutting speed of 49.3 m/min and feed 0.1 mm/tooth (Up milling)

き削り、下向き削りともに良い結果を示している。このことから鋼切削用の超硬エンドミル材種として古くから用いられて来たことと良く符合する。その次に超微粒子系 N20 などの逃げ面摩耗は小さく、切れ刃稜に加わる切削抵抗の方向に適する切れ刃形状と切れ刃丸味の工夫により良い結果に変わることが期待される。

チップングの中には切削中、切れ刃が切りくずを喰み込むことに基づいた損傷も考えられ、切削油剤を検討して、構成刃先の生成・脱落の防止と切りくずの喰み込みを防止すれば、損傷も低減されると推察される。

4. 結 言

超硬エンドミルの工具損傷に与える工具材種の影響について調べた結果、以下のような結言を得た。

(1) 超硬合金の金属組織や化学成分の相違はエンドミルの工具損傷形態に大きな影響を与える。これは切れ刃研削時に切れ刃稜に生ずる丸味半径の相違に影響するためである。

(2) 工具損傷は切れ刃稜の小さなチップングを主体とする。特に上向き削りでは、切れ刃のすべり現象に伴ってすくい面から逃げ面にかけてチップングを生ずる。

(3) HIP 処理による切削性能改善への効果は本実験の範囲において格別に良い結果を示さなかった。

これらの原因については今後さらに詳しく検討する必要があると考える。

本研究を行なうに当って、超硬合金エンドミルを特別に製作していただいた日本タングステン（株）に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 加工技術データ・ファイル 304F00-01~26 機械振興協会, 昭和52年10月.

(昭和58年4月15日 受理)