

# 切削工具の境界摩耗に関する研究 (第三報)

藤田 武男\*・北川 亮三\*・大草喜太雄\*

## Study on Grooving Wear of Cutting Tool (3rd Report)

Takeo FUJITA, Ryoza KITAGAWA and Kitao OKUSA

### Abstract

Grooving wear on boundary portion of tools in machining SUS 304 is mainly caused by adhesive action between tool and work materials from 1st<sup>1)</sup> and 2nd<sup>2)</sup> reports.

It may be considered that the above adhesive action is influenced by adhesion of Co in tool material and Ni in work material. Accordingly, in order to investigate influences of tool material on grooving wear, turning tests are performed with various carbide tools including different amount of Co, which are specially made for this study. From this study, following results are mainly obtained.

(1) Grooving wears in case of WC-Co type carbide tools are mainly caused by high temperature after adhesive action of tool material and work material because their tool materials have not enough heat resistance. In case of WC-Co-TiC-TaC type carbide tools, grooving wears are caused by chipping after adhesion because their tool materials have not enough toughness.

(2) In case of machining SUS 304 using WC-Co type carbide tools, the criterion of tool life must not be taken by flank wear but grooving wear.

## 1. 緒 言

前報<sup>2)</sup>にて報告したように、難削材 SUS 304 の切削における工具の境界摩耗の生成要因としては、工具材と被削材との強い金属凝着によるものであることが分かった。この金属凝着は主として超硬合金中の Co と被削材中の Ni との凝着によるものが強いと考えられる。そこで今回は、超硬合金中の Co 含有量を変えた種々の工具材を特別に製作して切削実験を行った。その時における、各種工具材の境界摩耗の生成状態及び凝着の状態を電子顕微鏡を用いて観察し、凝着と工具損傷との関係について検討を行った。

## 2. 実験方法及び使用機器

### 2.1 使用工具材と被削材

使用工具材の機械的及び化学的特性を表 1 に、又工具材の組織写真を Fig. 1 に示した。A, B, C, D 及び E の各工具は WC-Co 系合金で Co 含有量を表 1

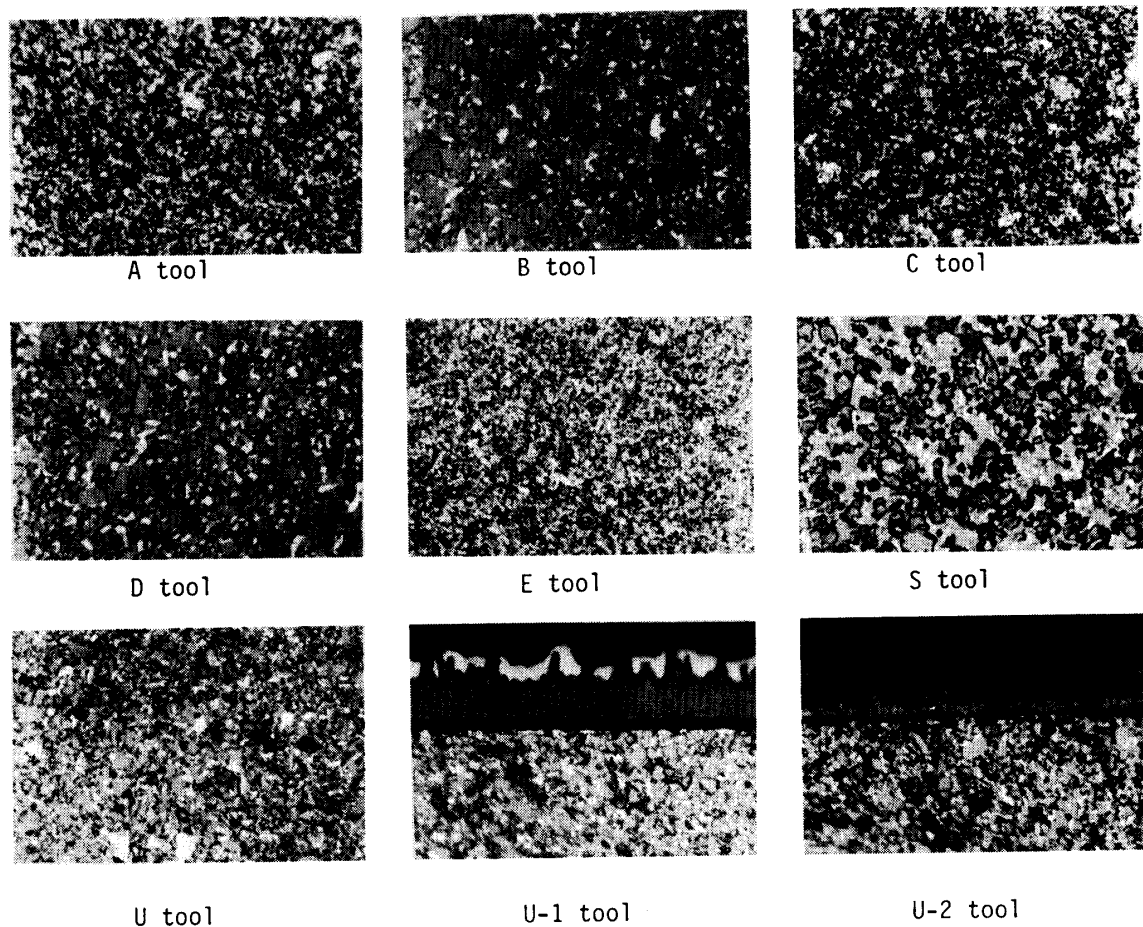
に示されたように変えた工具である。S, U, U-1, U-2 工具は比較参照用として使用している。S と U 工具は WC-Co-TiC-TaC 系の合金で鋼の切削用としては最も標準的な工具である。U-1 は U 工具の表面に炭化チタン TiC と窒化チタン TiN を複合コーティングしたものであり、TiC のもつ耐摩耗性・耐熱性と TiN のもつ高靱性・耐溶着性の両面の効果を持たせようとした工具材種である。又 U-2 は U 工具の表面に内側に TiC を主成分とした層をコーティングし外側にアルミと酸素及び窒素の固溶体による特殊セラミックをコーティングしている。A 及び C 工具は Fig. 1 に見られるように、WC の粒径が小さく又 Co 層が薄いため、硬度は非常に高く又表 1 に示されたビッカース圧痕割れ長さが長いことから抗折力は低いものと推測される。E 工具は WC の粒径が超微粒であるため、Co 含有量が多いにもかかわらず硬さは HV=1540 程度の高い値を示し、ビッカース割れ長さは 0.007 mm と非常に短い。B と D 工具は WC 粒子の大きさは A, C 及び E 工具に比較して大きい、したがって硬さも低い値である。D 工具は B 工具に比較して Co 含有量が多いため硬さは HV で 100 程度低く、ビッカース割れは全く認められなかった。S 工具は超硬合金 P

\* 工業短期大学部機械工学科

\*\* 生産機械工学科

Table 1. Mechanical and chemical properties of tool materials.

Tool material	Composition of tool	Vickers hardness	Crack length at vickers indentation (mm)	Co% (wt)	JIS grade
A	WC-Co	2036	0.273	3	K01
B	"	1467	0.111	4.5	K10
C	"	1977	0.258	5.5	K10
D	"	1362	0	9	K30
E	" (micro grain)	1544	0.007	16	
S	WC-Co-TiC-TaC	1564	0.217	9	P20
U	"	1544	0.169	7	M20
U-1	TiCN coating	1781			
U-2	TiC and Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> coating	1628			

Fig. 1 Structures of tool materials. ( $\times 1000$ )

20に相当し、比較的大きく成長した方形の WC と丸味をおびた (W, Ti, Ta) C が見られる。UはS工具と同系統の組織であるが WC の粒径が小さい。したがって、硬さはほぼ同一であるがピッカース割れ長さはU工具の方が小さい。

被削材にはオーステナイトステンレス鋼 SUS 304 (HV=181) を用い、直径 100mm、長さ 300mm のも

のを直径が 60 mm になるまで長手旋削を行った。

## 2.2 実験条件と使用機器

切削条件は次の通りである

切削速度  $V = 50, 75, 100, 150, 200$  m/min

送り  $f = 0.1$  mm/rev

切込み  $d = 1$  mm

使用旋盤は昌運カズスーブ HB-500 形である。切削抵抗の測定にはキスラー動力計9257A (圧電式) とチャージアンプ5807を使用した。工具損傷及び凝着面の観察には明石製作所の走査形電子顕微鏡を使用した。切削実験は切削距離  $L=V \cdot t=3000$  m までとし、途中でも工具ノーズ部又は境界部が大きく欠けを生じた場合及びフランク摩耗部が 0.4 mm 以上になった場合は工具の寿命に達したと判断して切削を中止した。工具の損傷の種類及び呼び方については第一報<sup>1)</sup> の場合と同様である。

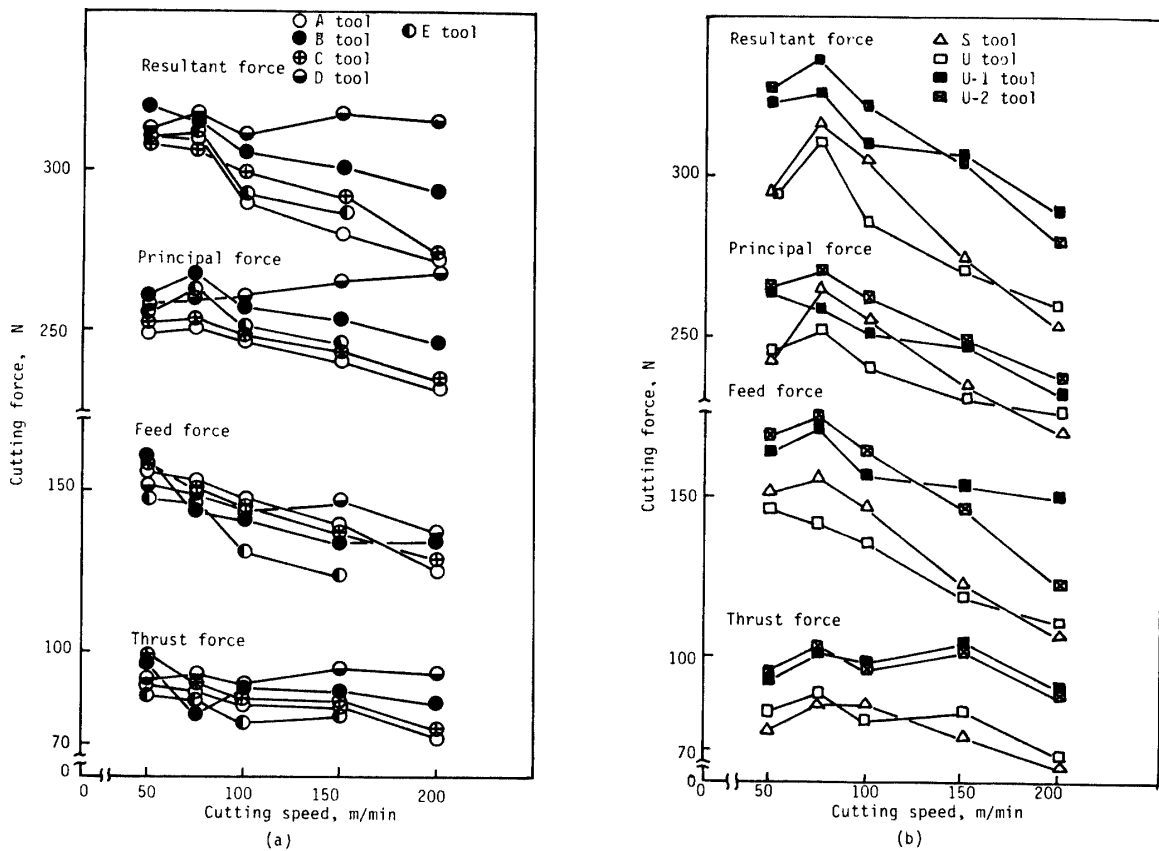
工具は SPG 421 のスローアウェイチップを使用し、刃先形状は (5°, 0°, 6°, 11°, 15°, 15°, 0.4 mm) である。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 各種工具材と切削抵抗

Fig. 2(a), (b) に切削抵抗と切削速度との関係を各工具ごとに比較して示した。Fig. 2(a) は WC-Co 系の場合について示し、Fig. 2(b) は WC-Co-TiC-TaC 系合金及びコーテッド工具について示している。い

れの場合も切削速度が増大するにしたがって切削抵抗は単調に減少する傾向を示している。D工具の場合が速度の増大につれてわずかではあるが増大する傾向を示している、これはこの工具材が他に比較して WC の粒径が大きく、Co 含有量が 9% と多いため、切削中に刃先が変形し易いものと推測されること又耐熱性に劣るため高速になるにしたがって工具摩耗が生じやすいことが関連したものと考えられる。又各工具材種の間で切削力にかなりの差が認められ、とくに割合からすれば送り分力・背分力においてその差は顕著である。A工具とB工具のように、主分力はB工具の方が大きい、送り分力及び背分力はA工具の方が大きい場合が生じるため、図の一番上に示されているように、切削抵抗の合力で比較した。図から分かるように、B, D, U-1, U-2 工具などは他の工具に比べて大きい切削合力を示している。この理由を検討するために、切くずの厚さを測定した。測定は一種類につき30回測定してその平均の値で比較した。それによると、各工具材間で全く差が認められなかった (図省略)。E工具の場合を除いて、ビッカース割れ長さの長いものは切削抵抗が小さく、短いものは切削抵抗が大きい傾向



$V=150$  m/min,  $f=0.1$  mm/rev,  $d=1$  mm. SUS 304

Fig. 2 Relation between cutting force and cutting speed under various cutting tool materials.

が認められる。割れ長さの短い工具は長い工具と比較して靱性を有していると思われるが、反面切削中刃先

がだれて変形し易いと考えられる。Fig. 3はS工具とB工具の場合の切削1分後の刃先の状態を示した写真であるが、切削抵抗の小さいS工具は刃先先端がシャープで尖っているのに反し、切削抵抗の大きいB工具は刃先先端が丸味をおびており、切削中刃先のだれが顕著に生じているものと推測される。E工具がとくに割れ長さが短いにもかかわらず切削抵抗が低いのはWCが超微粒であるため、B及びD工具に比較して変形し難いためと考えられる。コーテッド工具 U-1はFig. 1の組織写真にも示されているように、工具表面の凹凸が著しいため被削材が工具表面に凝着し易くなる。そのためこの工具の送り分力及び背分力の値が他の工具より大きくなるものと推察される。U-2工具は表面の状態はU-1よりなめらかであるが被削材との凝着は著しく又刃先先端の丸味も大きいため切削抵抗はU-1より大きく、背分力、送り分力が極端に大きい値を示している。次にWC-Co系合金工具A, B, C, D, EにおいてCo量と切削抵抗との関係を見つめる。超硬合金はWCの粒子径が異なるとその特性が異なるため、まず微細なWC粒子を有するA, C及びE工具で比較した。Fig. 1(a)に示されているように、この三者において主分力はCo含有量の最も多いEが最も大きい、送り分力及び背分力は最も小さい



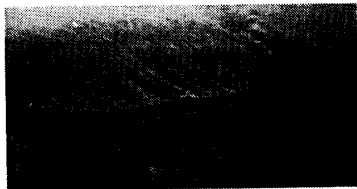
B tool



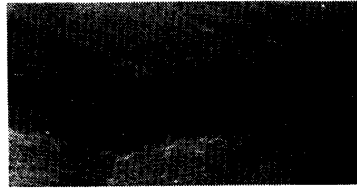
S tool

V=100 m/min, f=0.1 mm/rev  
d=1 mm, SUS304, t=1 min.

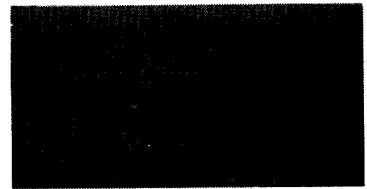
Fig. 3 Comparison of cutting tool edge between B and S tools. (×100)



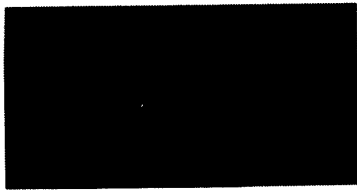
A tool



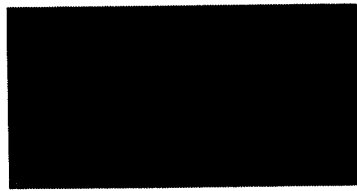
B tool



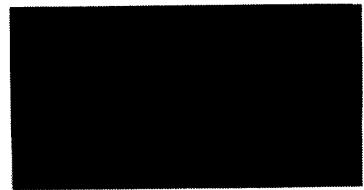
C tool



D tool



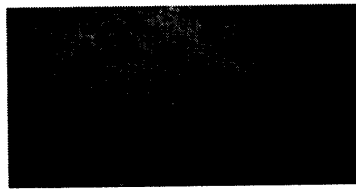
E tool



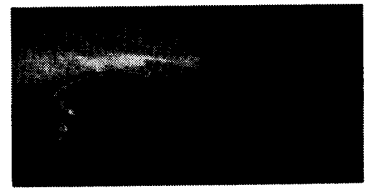
S tool



U tool



U-1 tool



U-2 tool

V= 150 m/min, f=0.1 mm/rev, d=1 mm, SUS304, t=10 min

Fig. 4 Tool wears under various cutting tool materials. (×100)

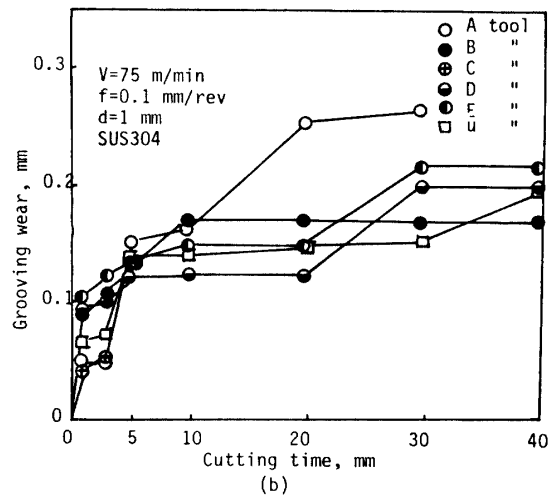
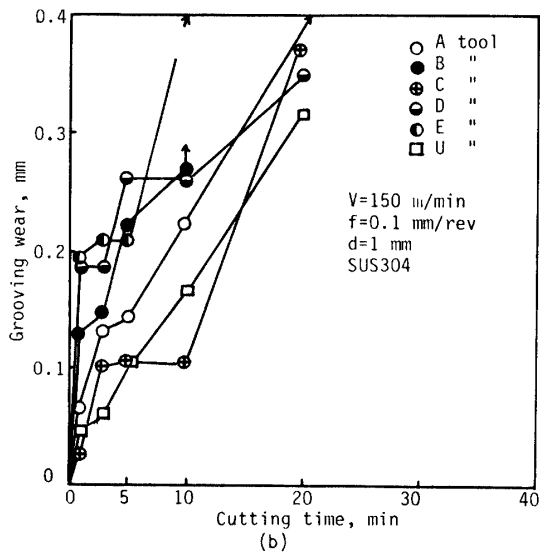
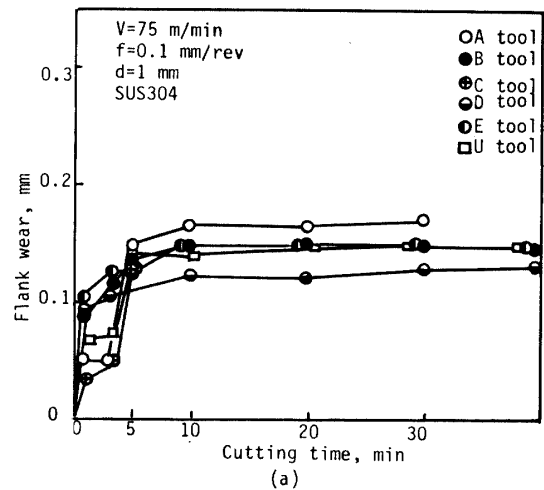
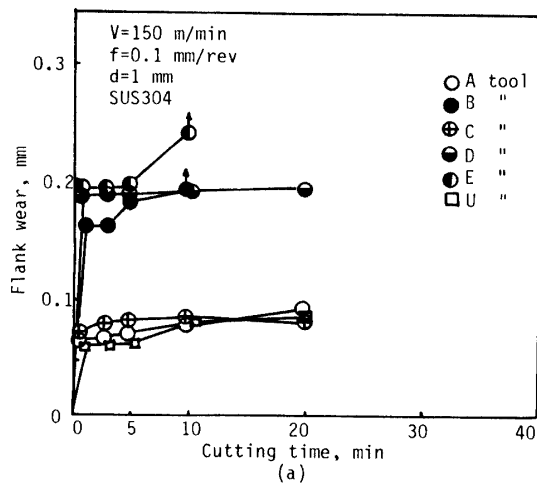


Fig. 5 Tool wears under various cutting tool materials.

Fig. 6 Tool wears under various tool materials.

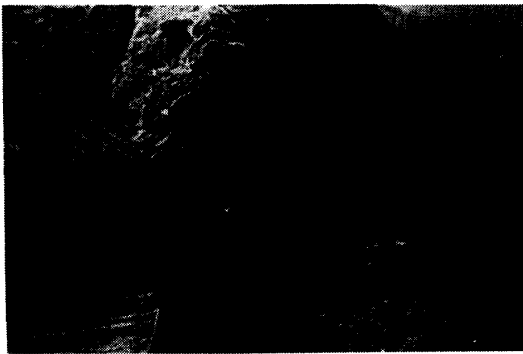
値である。この原因として考えられることは、この三者において最もピッカース割れ長さの短いE工具は切削中変形し易いと考えられる。したがって瞬間的にはすくい角が負の方向に変形するために主分力が増大したものと推測される。一方、E工具の送り分力及び背分力が他の二者より低い理由は明確ではないが、切くずと工具との摩擦力及び凝着力が二者よりも小さくなっているものと推測される。B、D工具はWCの粒径が大きいことため粒径の小さい工具と比較して同一のCo含有量でもより変形し易いと考えられる。したがって、B及びD工具よりCo含有量の少ないA工具はもちろんのことC、E工具と比較して切削抵抗は大きい値となっている。

### 3.2 工具材種と工具摩耗

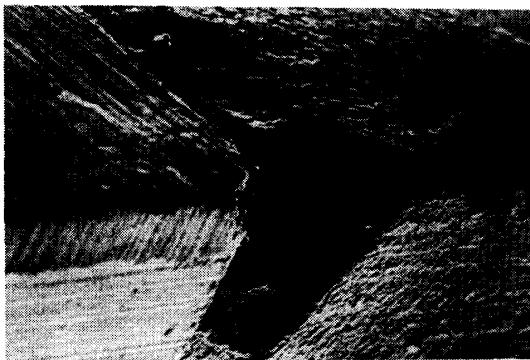
Fig. 4 に各種工具の損傷写真を示した。これは切削速度  $V=150$  m/min, 切削時間  $t=10$  分の場合である。

又 Fig. 5(a), (b) 及び Fig. 6(a), (b) に切削速度  $V=150$  m/min 及び  $V=75$  m/min における工具摩耗の進行状態を各種工具材種ごとに比較して示した。WC粒子径が小さくCo含有量の異なるA、C及びE工具で摩耗状態を比較すると、Co 3%のA及び5.5%のC工具はフランク摩耗  $VB$  は小さいが、鋭利な境界摩耗を生じている。一方、Co含有量16%のE工具はフランク摩耗  $VB$  はA、C工具の約2.5倍の値を示し、境界摩耗も著しく大きく生じており、この時点で切削不能となった。これは、 $V=150$  m/min と高速切削でありE工具がとくに耐熱強度に劣るためと考えられる。一方、ピッカース割れ長さの長いA工具は切削時間  $t=20$  分でノーズ部及び境界摩耗部に大きな欠けを生じた。C工具は  $t=20$  分の切削でノーズ部の欠けは認められないが境界摩耗は0.4 mmまでに増大した。このことから、ステンレスの切削においては耐熱強度とともに工具間の強い結合が必要である。粒子径の大

きいB, D工具は Co 含有量が4.5%及び9%とD工具の方が2倍程度含有量が多い, したがって, D工具の方がビッカース割れ長さが短くなっているが耐熱強度不足のためか, フランク摩耗 VB, 境界摩耗 VNともD工具の方が大きく生じている. いずれにしても, 高速領域においては両者とも大きい摩耗を生じている. WC-Co-TiC-TaC 系のS及びU工具は耐熱性を有しているため, フランク摩耗は両者とも小さい. しかし, フランク摩耗 VB に比較して境界摩耗 VNの生成は著しい. この理由として次のことが考えられる. 被削材の凝着は境界部において著しい(これは他の工具についても同様である). その凝着した被削材は次の瞬間被削材のかえりあるいは切りくずの端面等により衝撃力を受けて脱落する場合工具材の一部を持ち去ることが考えられる. Fig. 7はS工具の場合で境界部に凝着していた被削材(同図a)が次の瞬間脱落(同図b)した状態を示した写真である. 強く凝着し



(a)



(b)

$V=150$  m/min,  $f=0.1$ mm/rev,  $d=1$  mm  
SUS304, S tool,  $t=10$  min.

Fig. 7 State of work material clinging to tool boundary portion (a) and the state of work material dropping out of its portion (b).

ていた被削材が同図(b)の場合では全く観察されず工具そのものの表面が露出している. これは凝着物が脱落する際, 凝着面から脱落するのではなく, 工具材内面から脱落したためと考えられる. S及びU工具は耐熱性を有するが, ビッカース割れ長さが長く, したがって抗折力がとぼしく, WC-Co系の合金に比較して工具材の内部結合力が弱いためこのような形式の境界摩耗が生じ易いものと考えられる. S工具とU工具の間では割れ長さの短いU工具の方が境界摩耗はわずかではあるが小さいようである. コーテッド工具U-1は表面の凹凸が著しいため, Fig. 4に見られるように, 被削材の凝着が生じやすく, 境界部の欠けも著しい. コーテッド工具U-2も凝着が著しく Fig. 8に見られるよ



$V=100$  m/min,  $f=0.1$  mm/rev,  $t=1$  min  
SUS304, U-2 tool.

Fig. 8 Tool wear of U-2 tool.

うに切削時間  $t=1$ 分においてすくい面境界部のコーティング層ははがれ落ちており摩耗が著しい. U-1, U-2工具ともコーティングの目的が SUS 304の切削に活かされていないように思える. 一方, 低速度領域では凝着の程度が一段とはげしくなり, 切くずは流れ形を呈し切断し難くなる. したがって, 工具摩耗写真は省略したが, A及びC工具などは大きな欠けを伴ない易い. 又S, U工具も境界部の欠けを生じた. 反面, 割れ長さの短いB, D及びE工具などは欠けは生ぜず, フランク摩耗 VB及び境界摩耗 VNとも他の工具に比較して小さな値であった. コーテッド工具U-1, U-2は両者とも, 低速度領域においても, 境界部においてコーティング層のはくりが観察された. Fig. 5(a)及び Fig. 6(a)に示されたように, SUS 304切削におけるフランク摩耗の進行状態は, 初期摩耗が著しく, その後は切削の進行に伴って横ばいの傾向を示す. これは第一報において報告したように, SUS 304の切削においては, 刃先の先端がだれ易く, その結果切削の初期において刃先が斜め方向にチップングを起しその後は構成刃先の付着等によりフランク摩耗の進行が保護されるためと考えられる. したがって, フラ

ンク摩耗にて工具の寿命曲線を描くことは困難であった。一方、境界摩耗 VN の場合はフランク摩耗の場合と異なり、切削の進行により増大する傾向にある。そこで、各種工具材における境界摩耗の生成状態をより深く知るために、境界摩耗を基準とした寿命曲線を作成してみた。Fig. 9 及び Fig. 10 はその時の寿命曲線である。寿命判定基準は  $VN=0.15\text{ mm}$  である。Fig. 9 は WC-Co 系合金の場合である。図から分かるように、いずれの工具材の場合も直線的によく近似されている。このことから WC-Co 系合金の場合の境界摩耗の生成要因は熱的な要因によるものが非常に強いものと判断できる。中でも、直線の傾きのゆるやかである、B、D 及び E 工具はその傾向が強く、直線の傾きの急な A 及び C 工具はビックアス割れ長さが長いこと

から判断してもいく分チップングによる要因も含まれているものと考えられる。又 A、C 工具と B、D 及び E 工具とでは寿命曲線が低速領域で交叉しており、低速においては B、D、E 工具の方が優れていることがよく分かる。上記のことから、WC-Co 系の超硬合金で SUS 304 を切削する場合は境界摩耗 VN にて工具の寿命を判定することが必要であることが分かった。一方、Fig. 10 は WC-Co-TiC-TaC 系の S 及び U 工具の場合の寿命曲線であるが、図から分かるように、各点が散在して直線近似することが出来ない。これは S 及び U 工具の場合の境界摩耗は熱的な要因で生じるのではなく、前述のように突発的なチップングの積み重ねによるものが強いと考えられる。従来より、SUS 304 の切削においては M 種系の超硬合金が適しているとされ<sup>3)</sup>、今回もそのような傾向が認められるが、反面境界部のチップングが問題となってくる。したがって、工具材の特性としては耐熱性にすぐれしかも工具材の内部結合力すなわち大きな靱性を有することが必要となってくる。

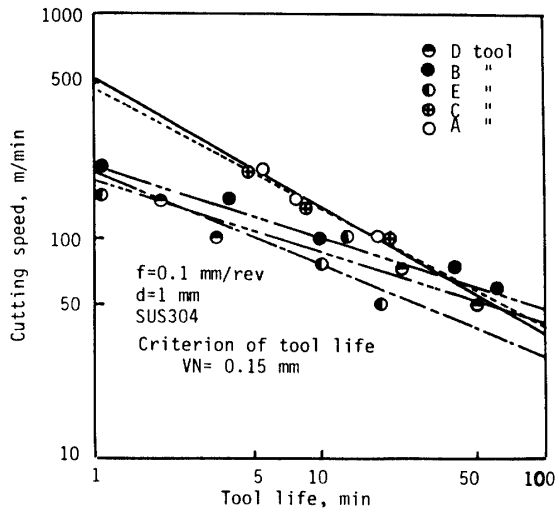


Fig. 9 Tool life curve of WC-Co type tool materials.

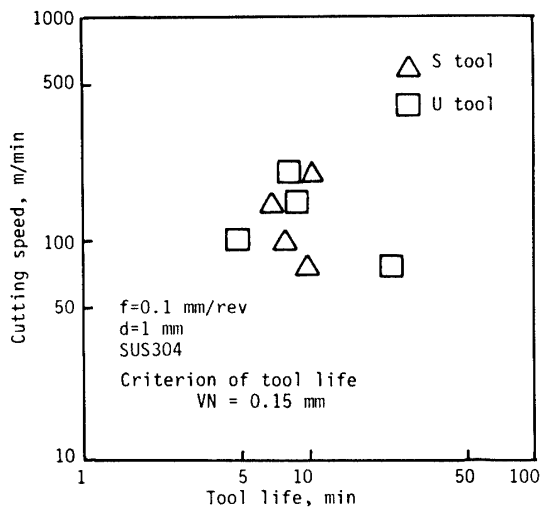
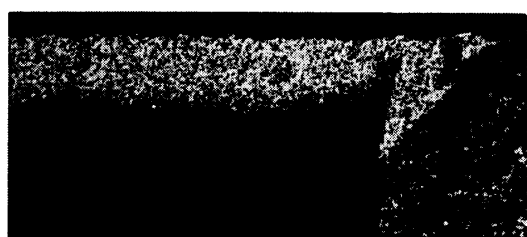


Fig. 10 Tool life curve of WC-Co-TiC-TaC type tool materials.

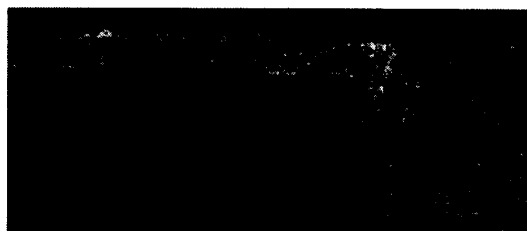
### 3.3 工具材と被削材との凝着について

超硬合金工具を用いて SUS 304 を切削する場合、前述のように工具と被削材の凝着が問題である。そこで工具と被削材との凝着の状態を調べてみた。Fig. 11 は各種工具材の工具損傷部における被削材中の Fe の成分を示した特性 X 線写真である。図から分かるように、いずれの工具材の場合も境界摩耗部においてとくに凝着が著しい。各種工具材間において被削材との凝着の強さがどの程度差があるかは判断できず、これは静的な凝着試験を行って凝着力を測定することにより推測しなければならないが、フランク摩耗部の Fe の特性 X 線写真より、WC-Co 系の B、C 及び D 工具の場合において C 工具は B 及び D 工具に比較して Fe の成分が少ないことから凝着し難いものと考えられる。又 WC-Co-TiC-TaC 系の S 及び U 工具についてもフランク摩耗部の観察から判断して、凝着の程度は B、D 工具に比較すれば小さいものと考えられる。又 Fe 以外に工具中の W、Co 及び Ti、被削材中の Ni についても特性 X 線写真を撮って、とくに凝着に関して Co と Ni とがどのように関連し合っているかを検討したが、微量なためかそれらの関係を同定することは出来なかった。このことについても静的凝着試験を行って推測してゆきたいと考えている。

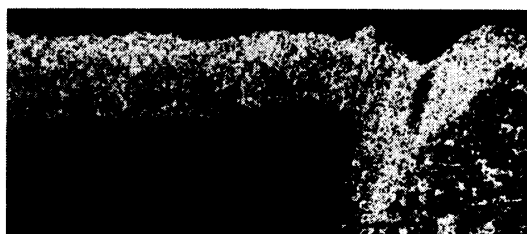
## 4. 結 果



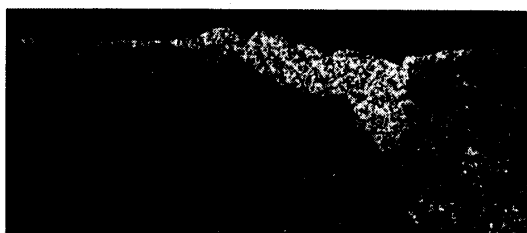
B tool



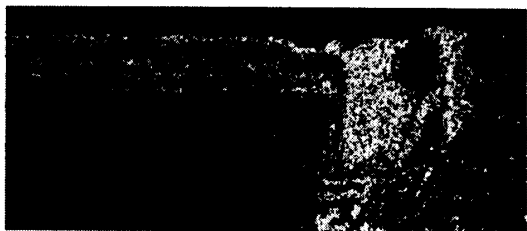
C tool



D tool



S tool



U tool

$V=150$  m/min,  $f=0.1$  mm/rev,  $d=1$  mm  
SUS304.

Fig. 11 X-ray photograph of Fe on tool wears  
in machining SUS 304. ( $\times 75$ )

今回の研究を通じて以下のことが分かった。

- (1) 境界摩耗の生成要因としては工具材と被削材とが境界部で凝着を生じその後耐熱強度の不足により温度が原因して生じる場合と、工具材の内部結合力の不足による凝着チップングが原因で生じる場合がある。WC-Co系の合金は前者の摩耗形態を示し、WC-Co-TiC-TaC系の合金は後者の形態を示す。
- (2) WC-Co系の超硬合金でSUS 304を切削する場合、工具の寿命の判定はフランク摩耗を基準とするのではなく、境界摩耗を基準として判定する必要がある。
- (3) ステンレス鋼 SUS 304の切削における切削抵抗は工具材の変形特性との関係が強く、変形しやすい工具の切削抵抗は大きい。
- (4) 工具材中のCoの含有量と被削材との凝着の関係は明確に出来なかったが、工具材の組織及びWC粒子径がほぼ同一であれば、Co量の多い方が被削材と凝着を生じやすい傾向が認められる。
- (5) SUS 304を切削するために、工具材に要求される特性としては、耐熱性に優れると同時に工具材の内部結合力の強いことが必要である。今後よりよい工具結合剤の開発が必要である。

最後に、本研究を行うにあたり工具材の製作に御協力下さいました日本タングステン株式会社に感謝いたします。又当時学生の紺谷浩之及び末繁久哉両君に援助していただき深く謝意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) 藤田武男：山口大学工学部研究報告, 33-2 (1983)
- 2) 藤田武男・北川亮三・大草喜太雄：山口大学工学部研究報告, 34-2 (1984)
- 3) 大草喜太雄他1名：山口大学工学部研究報告, 20-1 (1969)

(昭和59年4月16日受理)