

切削工具の境界摩耗に関する研究 (第二報)

藤田 武男*・北川 亮三**・大草喜太雄**

Study on Grooving Wear of Cutting Tool (2nd report)

Takeo FUJITA, Ryozo KITAGAWA and Kitao OKUSA

Abstract

Studies on grooving wear of cutting tool were continuously made after 1st report. In this study, the influences of bur of workpiece at boundary portion and state of chip flow on grooving wear formation of tool at boundary portion were mainly examined in machining of stainless steel SUS304. The extent of bur formation was changed by changing tool rake angle and controlling contact length between tool rake face and chip. From this study, it is found that the influence of bur of workpiece on grooving wear formation is remarkable, and the extent of influence of bur on groove formation in case of machining SUS304 which the grooving wear is mainly caused by adhesive action between tool and work materials is larger than in case of carbon steel S55C which the grooving wear is mainly caused by the action of mechanical friction.

1. 結 言

ニッケル系耐熱合金・高 Mn 非磁性鋼及びステンレス鋼などの難削材と称せられる金属材料は、旋削加工などの際、工具の境界摩耗の発生が著しい。炭素鋼などの通常の被削材の切削の場合、工具寿命の評価法として工具にげ面に生じるフランク摩耗の大きさをもって評価される。しかし上記のような難削材の場合は境界摩耗の生成が著しく、そのため被削材のかえりの生成が著しくなる。したがって、安定して生成しやすいフランク摩耗にて評価することができず、切削条件の違いによって非常に生成状況の異なる境界摩耗によって工具の性能を評価する必要がある。難削材における境界摩耗は、第一報¹⁾において報告したように、工具材と被削材との強い金属凝着によるものと考えられ、炭素鋼 S55C の場合のような機械的摩擦による場合と著しく異なる。この凝着のメカニズムを明確にする必要があるが、その前に境界摩耗に影響を及ぼすと考えられている外的因子すなわち、境界部における被削材のかえり及び切りくずの流出状態が、難削材の切

削においてはどのように影響を及ぼすか調べる必要がある。したがって、今回はこれら外的因子と境界摩耗との関係について検討した。

2. 実験方法

種々の方法で、被削材のかえりの生成状態及び切りくずの流出状態を変化させ、それぞれの条件下における境界摩耗の発生状況を観察する方法で実験した。被削材のかえりは切削力が増大する程生じやすいことが知られている²⁾。又切削速度が違っても生成状況が異なるので¹⁾、かえり生成状況を変化させる方法として、切削力を変えると同時に切削速度も変えて行った。切削力を変えるために、まず工具すくい角が正と負の場合について行った。工具形状は前回同様、すくい角負の場合は SNG431 タイプのスローアウェイチップを使用し、その場合刃先形状は (-5°, -5°, 5°, 5°, 15°, 15°, 0.4 mm) である。すくい角正の場合は SPG421 タイプのスローアウェイチップを使用し、その場合刃先形状は (5°, 0°, 6°, 11°, 15°, 15°, 0.4 mm) である。切削力を変えるもう一つの方法として、切りくずと工具すくい面との接触長さを拘束する方法を用いた。上記の SPG421 タイプのチップを Fig. 1 のようにダイヤモンド砥石で研磨し、接触長さ l を種々変えるよう

* 工業短期大学部機械工学科

** 生産機械工学科

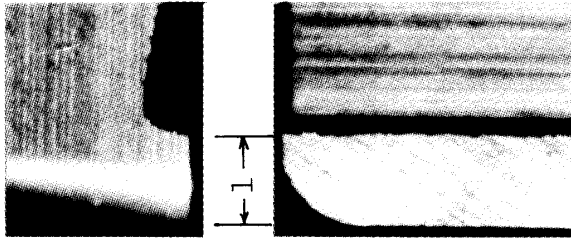


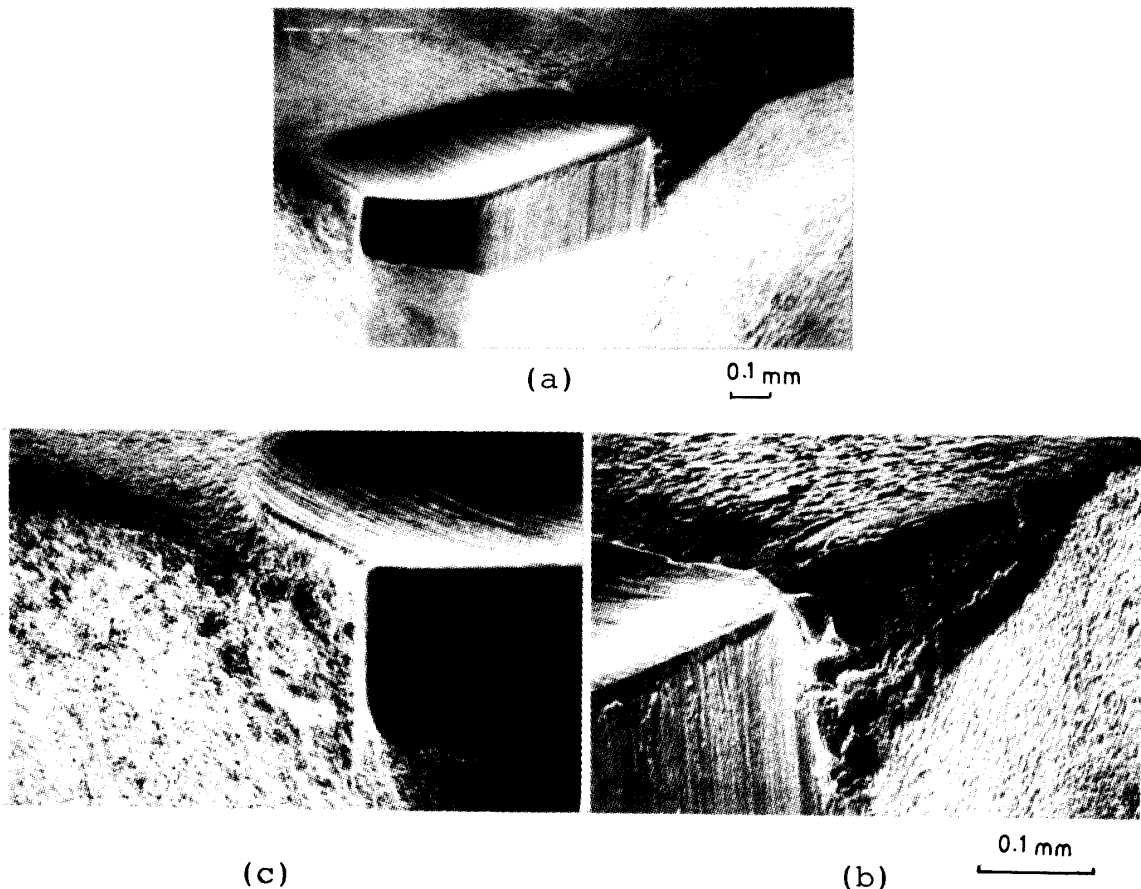
Fig. 1 Tool's shape which chip contact length is controlled.

にした。切削条件は切削速度 V を変え、送り量 f は 0.1 mm/rev 、切り込み量 d は 1 mm とした。工具材はいずれも超硬合金 P20 を使用した。使用旋盤はジャパンカズヌーブ HB-360X 形である。被削材はステンレス鋼 SUS304 ($H_v=181$) を主として使用し、参考としてフェライト系ステンレス鋼 SUS405 ($H_v=176$) を使用した。いずれも直径 100 mm 長さ 300 mm のものを直径が 60 mm になるまで長手旋削した。切削は乾式にて行い、工具損傷の記号は第一報の場合と同様である。

3. 実験結果と考察

3.1 境界摩耗の生成状態について

Fig. 2 は SUS304 を切削したときの工具の損傷写真である。これは切削速度が $V=200 \text{ m/min}$ と、ステンレス鋼の切削に対しては比較的高速であるため、フランク摩耗 VB と同様、熱によるクレータ摩耗 KT が大きく生じている。又横切れ刃上の境界摩耗（横境界摩耗 VN ）及び前切れ刃上の境界摩耗（前境界摩耗 VN' ）が著しく成長し、とくに横境界摩耗の場合は大きな欠けを伴っている。前境界摩耗は炭素鋼などの切削においてよく観察されるように、送り量 f と同一の間隔で生じる鋭利なみぞ状の境界摩耗と異なり、全体的に大きく凹んだ形を呈している。このような摩耗の形状は、炭素鋼の場合でも高速・高送りで切削した場合に観察されることから、Fig. 2 の SUS304 の切削における前境界摩耗は高い温度下において生じたものと推察される。又横境界摩耗部における欠けも、炭素鋼の場合にはあまり観察されないが、SUS304 の切削においてはほとんどの場合欠けを伴う。この横境界摩耗部の欠けは、摩耗がある程度大きくなると突然に生



$V=200 \text{ m/min}$, $f=0.1 \text{ mm/rev}$, $d=1 \text{ mm}$, SUS304, P20, $t=38 \text{ min}$, positive rake angle.

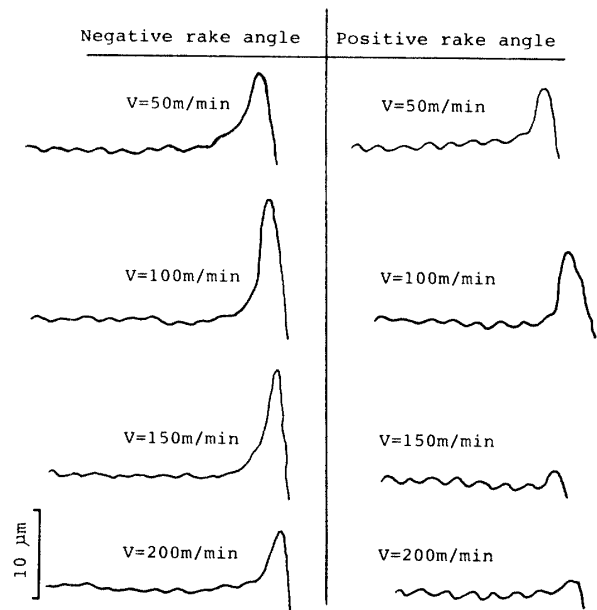
Fig. 2 Tool wears in machining SUS304.

じる, この欠けが生じると, かえりの生成がはげしくなるため一応工具の寿命に達したと考えることができる. Fig. 2(b) は横境界部を拡大した写真である, これから分かるように横境界摩擦は工具材の一部が比較的大きい粒子で脱落したものと考えられ凹凸の著しい痕跡が見られる, これは切削中, 被削材の一部が横境界部で工具材と凝着を起し, それが次の瞬間生成される切りくずの端面あるいは被削材のかえり等の影響によって脱落する際, 両者の凝着が強力であるため凝着面から脱落しないで, 工具材の一部を同時に持ち去る形式の損傷が生じたものと推察される. 一方, 同図(C)に見られるように, 前境界摩擦の場合は横境界摩擦のように凹凸の大きい摩擦痕跡は観察されない. このような摩擦形態の相違は, まず第一に被削材のかえり等による機械的な作用が横境界部の方がはげしいことが考えられる. 次の要因として, 工具と被削材との凝着の程度が横境界部の方が著しいことが考えられる. 前境界部は温度は高いが被削材との凝着力は横境界部よりむしろ弱いことが推察される. 金属の凝着力はある接触面温度以上で顕著にあらわれ, 温度の増加とともに急増して最大値に達し, 以後材料の軟化あるいは凝着接合部の軟化により低下すると云われている³⁾. 横境界部の摩擦は丁度この凝着力が最大になる温度状態になりやすいものと推察される.

3.2 かえりが境界摩擦に及ぼす影響

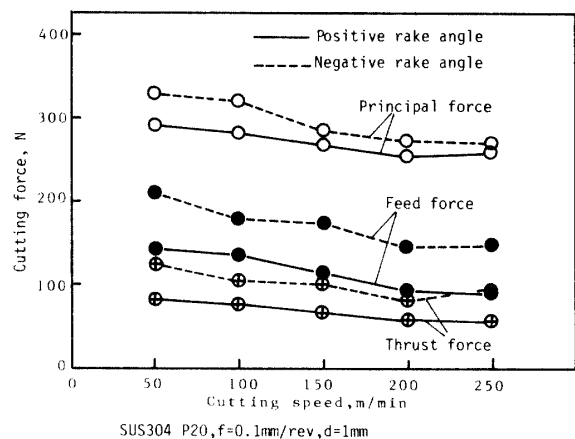
3.2.1 工具すくい角を変えた場合

工具の境界部を機械的に摩擦したり, あるいは凝着した被削材を脱落させて, 境界摩擦を促進させる外的因子としてはかえりの影響が最も大であると考えられる. かえりは前境界部においても生じるが, とくに問題となるのは, 横境界部であるので主に横境界部のかえりについて検討した. 前述のように, かえりは切削力の大小に強く影響されるため, 工具のすくい角を正と負に分けて切削力を変えてみた. Fig. 3 はそのときのかえり高さをすくい角正と負の場合で比較したものである. これは工具摩擦がまだ生じていない新しい工具で切削したときのかえり高さである. すくい角正の場合, 負の場合いずれも, 切削速度が増大するとかえり高さは小さくなる傾向にある. 又負の場合のかえり高さは正の場合に比較して高く, その程度は肉眼においても明確に判別できた. このタイプのかえりはポアソンバリ(かえり)⁴⁾と呼ばれ, 切削力の増大により被削材の横方向流れが生じるために発生すると考えられもいる. すくい角正の場合と負の場合の切削力を Fig. 4 に比較して示した. 主分力, 送り分力, 背分力いづれ



SUS304, P20, $f=0.1$ mm/rev, $d=1$ mm, $t=10$ sec

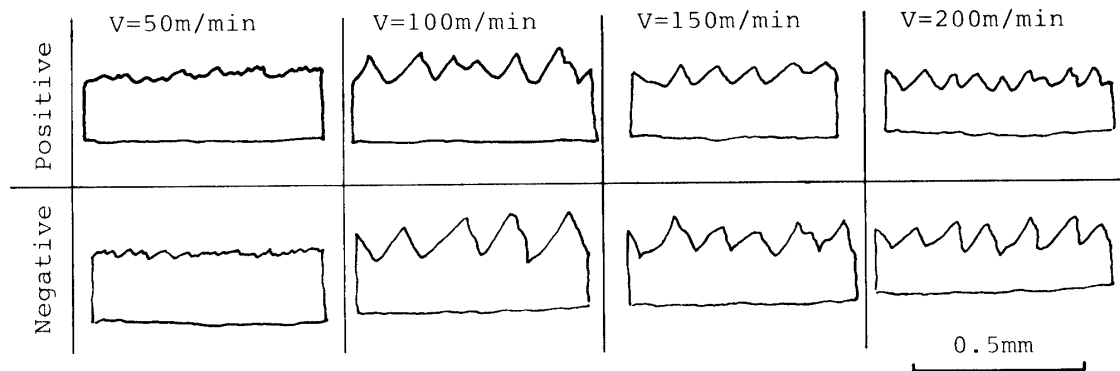
Fig. 3 Comparison of height of bur between positive and negative rake angle.



SUS304, P20, $f=0.1$ mm/rev, $d=1$ mm

Fig. 4 Comparison of cutting force between positive and negative rake angle.

も負の場合の方が大きい値である. とくに割合からいって, 送り分力及び背分力の差が著しい, このことがすくい角負におけるかえりの発生を著しくさせている原因と考えられる. 切削速度 100m/min の領域でとくにかえりの生成が顕著である, これはすくい角正の場合及び負の場合いずれも同様の傾向である. これは次に示す切りくずの生成の形態とよく対応している. Fig. 5 は生成された切りくずを長手方向に切断して観察したときの図である. 切削速度 $V=50$ m/min 程度の低速領域では流れ形の切りくずであり, 切りくずの剪断ピッチ及びすべり量も小さいことが分かる. 一方, 切削速度が $V=100$ m/min になると剪断ピッチ, す



SUS304, P20, $f=0.1 \text{ mm/rev}$, $d=1 \text{ mm}$

Fig. 5 Comparison of chip section under various cutting speeds.

べり量とも増大し、この歯状の切りくずになる。これが $V=150$ 及び 200 m/min と高速になると又流れ形の切りくずに近づいてくる。これは上田⁵⁾らの研究ともよく一致し、 $V=100 \text{ m/min}$ の領域でとくにこの歯状の切りくずになりやすい原因として上田らは、温度上昇による流動応力の急激な低下や低い熱拡散率のためせん断領域の温度勾配が急となり熱集中による集中の変形が不安定な変形をひき起こすことによるものと推察している。このことについては今後、物性面より十分な検討を行う必要がある。この歯状の切りくずが生じやすい $V=100 \text{ m/min}$ のあたりでは、被削材のかえりの生成も著しく、大変ビビリ振動の生じやすい領域でもあった。Fig. 6 は切削距離 L を一定としたときの横境界摩耗 VN を各速度で比較した図である。 $V=100 \text{ m/min}$ で VN 値が最大を示しているのも上記のような SUS304 の材料特性によるものと考えられる。次に、切削実験を行ったときの横境界摩耗 VN を Fig. 7(a) に示した。切削速度 $V=150, 200, 250 \text{ m/min}$ の場合で比較した。いずれの場合もすくい角負の場合の方が著しく大きいことが分かる。この切削

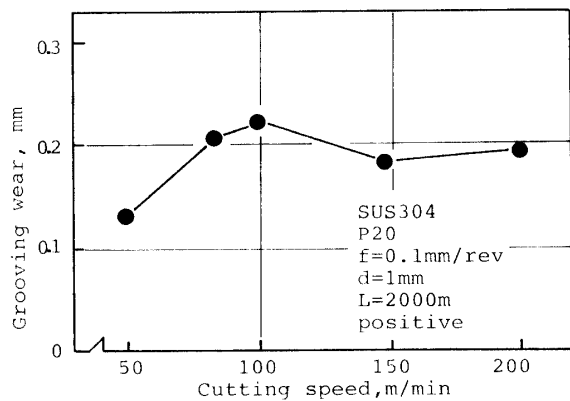


Fig. 6 Relation between grooving wear and cutting speed.

実験はビビリ振動が発生した場合にはその時点で切削を中止した。したがって負の場合で、短い時間で切削が中止されているのは、正の場合より短い時間でビビリ振動が発生したことを示している。同図 (b)

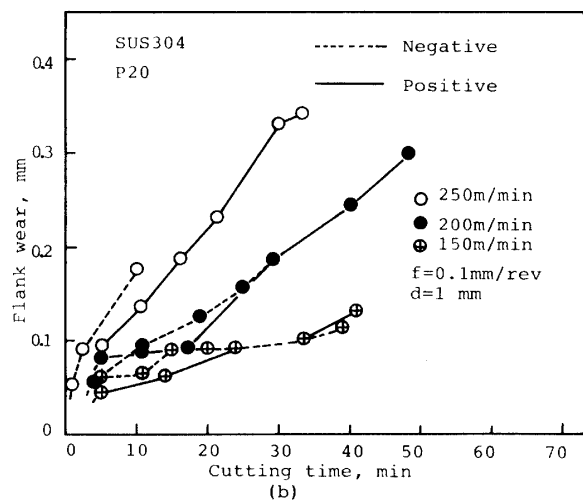
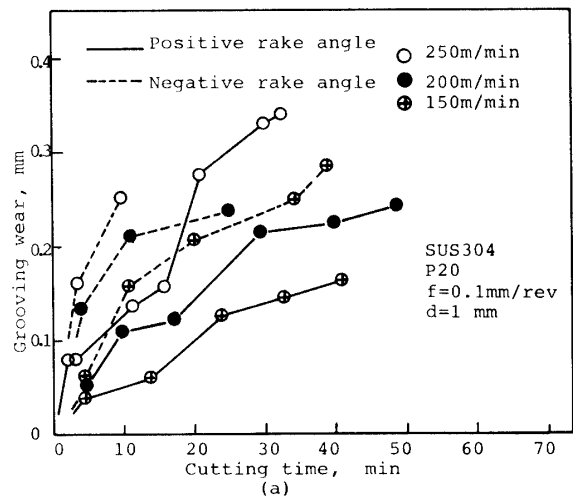


Fig. 7 Comparison of tool wear between positive and negative rake angle.

にフランク摩耗 VB を示した. VB の場合は VN に比較して, すくい角正と負の間であまり差のないことが分かる. このようにすくい角正と負でフランク摩耗 VB はあまり差がないのかかわらず, 横境界摩耗 VN に顕著な差が認められるという事実は, 両者においてとくに差違の見られる境界部における被削材のかえりが横境界摩耗に強く影響していることを示したものと考えられる. Fig. 8 にすくい角正と負の場合の切

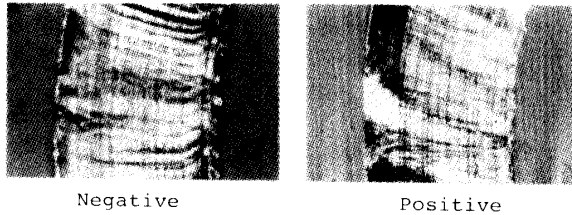


Fig. 8 Comparison of chip between positive and negative rake angle, SUS304, P20, $V=200$ m/min, $f=0.1$ mm/rev, $d=1$ mm, $t=10$ sec.

りくず写真を示した. これは切りくず裏面より観察した写真であり, 切りくず端面におけるかえりも負の場合の方が顕著であることが分かる. この切りくず端面のかえりも横境界摩耗の生成に影響を及ぼしていると考えられる. 第一報で報告したように, 炭素鋼 S55C の場合, すくい角正と負の間でかえり高さには差は認められたが, 境界摩耗はむしろすくい角正の方が大であった. これはかえりの影響より, すくい角を正にしたことによる刃先の強度の低下の影響が強いためと考えられるが, ステンレス鋼の場合は全く逆の傾向でありかえりの境界摩耗への影響は S55C より大きいといえる.

3.2.2 切りくず接触長さ と横境界摩耗との関係

被削材のかえりが境界摩耗に及ぼす影響を再度確認するために, Fig. 1 で示されたように, 工具の刃先形状は同一にして, 切りくず接触長さを抱束した工具にて切削実験を行った. 通常, 切りくず接触長さは送り量 f の約 4~6 倍と考えられているので, 今回の実験条件 $f=0.1$ mm/rev に対して接触長さ $l=0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ mm の場合で比較した. Fig. 9 はそのときの切削力を示している, 主分力・送り分力及び背分力いずれも接触長さ l が短い方が小さいことが分かる. $l=0.2$ の場合では抱束しない free の場合に比較して主分力で 60% 程度に減少し, 背分力では 50% 程度である. 又 $l=0.5$ mm では free の場合とほぼ切削力は等しくなっていることから, 実際の接触長さは 0.5 mm に近いものと推察される. Fig. 10 は横境界摩耗 VN , フランク摩耗 VB 及びかえり高さ h をそれぞれの接

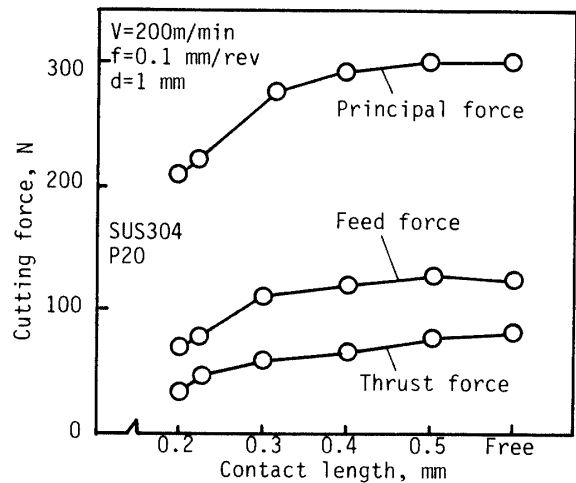


Fig. 9 Cutting force under various contact length of chip.

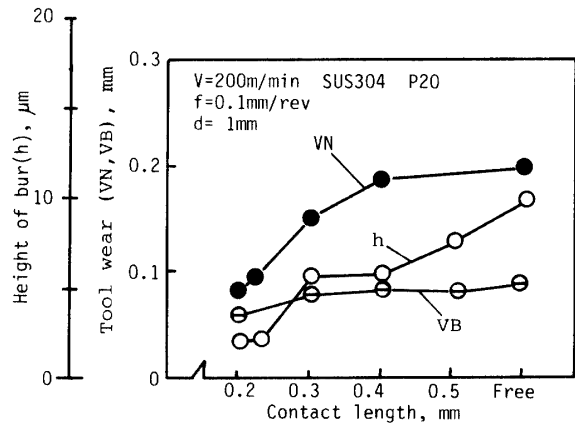


Fig. 10 Tool wear and height of bur under various contact lengths of chip.

触長さの場合で比較した図である. 図から分かるように, かえり高さは切削力の大きい程大きい値を示している. 又横境界摩耗 VN はかえり高さ h の大きい程大きい値である. これらのことから, 切削力とかえりの関係及びかえりが境界摩耗に強く影響を及ぼしていることが再度確認できた. 一方, フランク摩耗 VB は切削時間 $t=10$ 分の場合で 0.09 mm 程度でいずれの接触長さの場合において変化のないことが分かる. これは, VB の生成する場所がかえりの影響を受けない領域であるためであり, このことから被削材のかえりが工具の損傷に及ぼす影響が大であることが分かる. 上記のように, 切りくず接触長さを短くすると, 切削力が低下して横境界摩耗も減少するが, 接触長さが 0.2 mm 程度に小さくなると, 刃先の強度が低下してくるためわずかの摩耗量で, 刃先の提防部が欠け落ちる傾向が強くなる. 今回, 刃先が欠け落ちて切削できなくなるかあるいはビビリ振動が発生するまでを基

準とした寿命試験では、切りくず接触長さ $l=0.3\text{ mm}$ の場合が最も寿命が長く、それぞれの送り量 f に対して最適な l 値が存在しそうである。

Table 1 Comparison of material properties between SUS304 and SUS405.

	SUS304	SUS405
Hardness	$Hv=181$	$Hv=176$
Hardness of chip	$Hv=422$	$Hv=320$
Height of burr	$h=1\ \mu\text{m}$	$h=5\ \mu\text{m}$
Thickness of chip	0.22 mm	0.41 mm
Cutting force	$P=300\text{N}$ $F=121\text{N}$ $T=79\ \text{N}$	$P=244\text{N}$ $F=128\text{N}$ $T=71\ \text{N}$

P : Principal force

F : Feed force

T : Thrust force

$V=200\ \text{m/min}$, $f=0.1\ \text{mm/rev}$, $d=1\ \text{mm}$, P20

3.3 被削材質の相違と横境界摩耗との関係

フェライト系ステンレス鋼 SUS405 の切削を行ない SUS304 の場合と比較した。表 1 に見られるように SUS405 は SUS304 に比較して加工硬化の程度も小さく又切削抵抗も小さいため、工具損傷は SUS304 に比

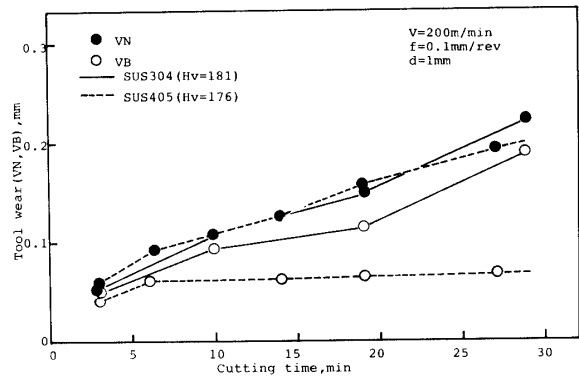
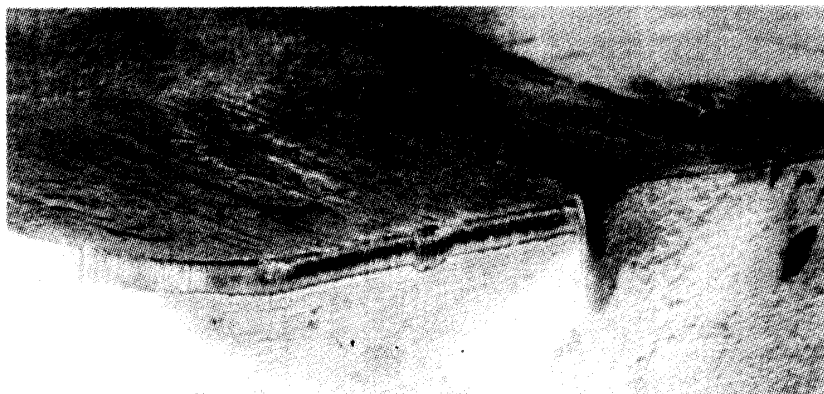
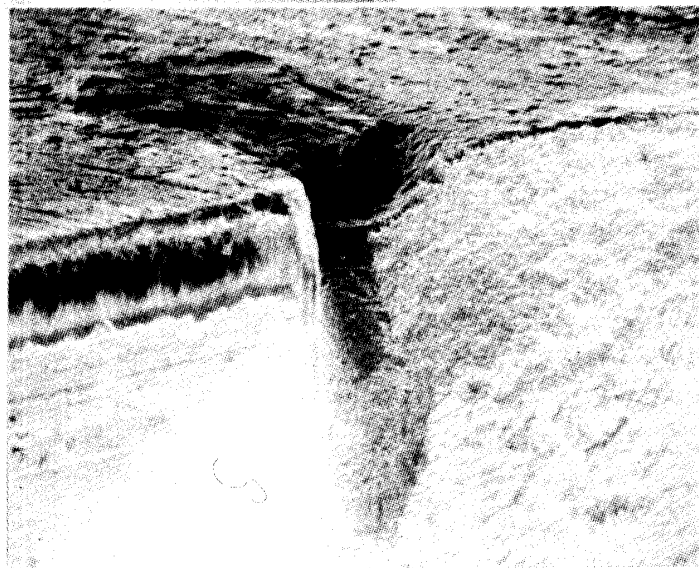


Fig. 11 Comparison of tool wears in cutting SUS304 and SUS405.



0.1mm

$V=200\ \text{m/min}$
 $f=0.1\ \text{mm/rev}$
 $d=1\ \text{mm}$
SUS405
P20
Positive rake angle.
 $t=32\text{min}$



0.1mm

Fig. 12 Tool wears in cutting SUS405.

べ起こりにくいと考えられるが、切りくずの接触長さが長く又切りくず厚さも厚く生じるため、かえりの生成が著しいと考えられる。加工前の母材のかたさは SUS304 の場合 $H_v=181$, SUS405 の場合 $H_v=176$ と両者で大きな差はないが、切りくずの硬さはピッカース硬さで 100 程度の差が認められ、SUS304 の方が加工硬化性が大であることが分かる。一方、被削材のかえり高さを比較すると、逆に SUS405 の方が 5 倍も大きい値である。これは上記のように、切りくず接触長さが SUS405 の方が、顕微鏡で観察したところ 1.5 倍程度長かったことに起因しているものと推察される。切削主分力は SUS304 の場合 300N, SUS405 の場合 244N と SUS304 の方が高い値であるが、送り分力は両者においてほぼ同一である。これは SUS405 の送り分力が主分力に比較して増大したことであり、切りくず接触長さが長いことに関連して、切りくずと工具すくい面との摩擦力が増大したためと推察される。Fig. 11 に両者の工具損傷を比較した。SUS405 の場合、フランク摩耗 VB は切削時間の経過にもかかわらず $VB=0.05\text{mm}$ 程度の小さな値より増大せず、SUS304 に比べて 2 分の 1 以下の値であるが、横境界摩耗 VN は著しく SUS304 とほぼ同一の値を示している。これは前述のように、SUS405 の切削の際に生じるはげしいかえりに影響されているためと考えられる。Fig. 12 に SUS405 の切削における工具損傷写真を示した。図から、フランク摩耗は小さく又クレータ摩耗は全く生じていないことが分かる、その反面横境界摩耗は鋭く生じ、最終的には欠けを伴っている。この横境界摩耗部の欠けも、Fig. 2 に示されたように SUS304 の場合は $t=38$ 分で欠けているが、SUS405 の場合は $t=32$ 分で欠けており、むしろ短い切削時間で欠けに達していることが分かり、かえりの境界摩耗に及ぼす影響が大きいことが確認できた。なお、SUS405 における横境界摩耗の摩耗痕跡は SUS304 の場合のように凹凸の大きい場合と異なっている。又欠けの形態も違うことから、両者における境界摩耗の生成原因は異っているものと考えられ、今後、充分検討してゆきたい。

4. 結 言

今回の研究を通して以下の結論を得た。

- (1) SUS304 の切削において、横切れ刃上の境界摩耗は、比較的大きい粒子が脱落したと考えられる凹凸の大きい痕跡が見られるのに対し、前切れ刃上の境界摩耗は凹凸の小さい痕跡である。これは、被削材のかえりによる機械的衝撃力が横境界摩耗部においてより強く加わることなどに強く影響されているものと考えられる。
- (2) 境界摩耗に及ぼす被削材のかえりの影響は大きいことが分かった。これは加工硬化しやすく熱伝導率の低い SUS304 の場合は炭素鋼 S55C などに比べて顕著である。
- (3) 被削材のかえりは、送り分力、背分力の増大する程増大し、工具の損傷を増大させるため、切削力を下げるよう工具の形状を充分検討する必要がある。
- (4) 切りくず接触長さを抱束した工具は切削力、かえり及び境界摩耗の減少に効果がある。接触長さは短い程効果は大であるが、刃先の強度が低下して工具の寿命が低下する場合がある。今回の実験では、送り量 0.1mm/rev に対して接触長さ 0.3mm の場合が最も寿命が長かった。
- (5) フェライト系ステンレス鋼 SUS405 は SUS304 に比較して加工硬化の程度及び切削力とも小さく、したがってフランク摩耗は SUS304 より小さいが、被削材のかえりの生成が著しいため横境界摩耗は SUS304 の場合と同程度生じ欠けも伴ないやすい。

参 考 文 献

- 1) 藤田武男：山口大学工学部研究報告 **33**, 2, 211 (1983)
- 2) 奥島啓式・人見勝人：精密機械 **24**, 8, 420 (1958)
- 3) 岩田一明：機械の研究 **24**, 7, 905 (1972)
- 4) 高沢孝哉：バリテクノロジー，朝倉書店(1980) p. 30
- 5) 上田 昇・松尾哲夫・安部知一郎：精密機械 **45**, 5, 585 (1979)

(昭和 58 年 10 月 15 日 受理)