

5 SUS304 の旋削における TiC 系サーメット工具と超合金工具の性能比較

泊 誠・前 野 一 朗

1. はじめに

近年の工具材種の発展はめざましいものがあり、被削材、加工条件により多くの工具材種の中から最適な工具材を選択し、より高能率、高精度の加工が可能となってきた。

その使用に当っては、データが用意され使用に供されているのが現状であるが、切削試験結果は確率的なものがあり、かなりの範囲を持って考慮されねばならない。

このため筆者らは、これまで新しい工具材種の被削材への適性を検討する目的で、最も一般的な鉄鋼材料である S45C を TiC 系サーメット工具により軽旋削し、TiC 系サーメット工具が S45C 切削に有効であり、超硬工具より長寿命であること、耐クレタ性の高いことを確認した。¹⁾

本報では難削材である SUS304 を、TiC 系サーメット工具と超合金工具を用いて、同一工具諸元のもとにはほぼ同じ切削速度範囲で比較試験し、TiC 系サーメット工具の長寿命性その他の特徴を明らかにしたことを報告する。

2. 実験方法

2・1 被削材

被削材はオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 である。被削材の化学成分、機械的性質を表 1・2 に、組織を写真 1 に示す。

表 1. 被削材の化学成分 (単位%)

	C	Si	Mn
JIS規格	0.08以下	1.00以下	2.00以下
分析値			

P	S	Ni	Cr
0.045以下	0.030以下	8.00~10.50	18.00~20.00

表 2. 被削材の機械的性質

	耐 力 Kgf/mm ²	引張強さ Kgf/mm ²	伸 び %
JIS規格	21以上	53以上	40以上
測定値	——	65.4	62

絞 り %	硬 さ HB
68	172

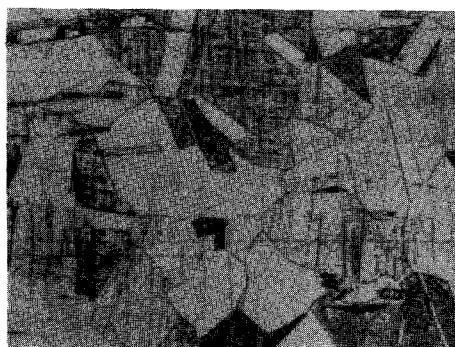


写真 1. 被削材の組織 (×200)

被削材は、外径 100mm、長さ 500mm のものを外径約 100mm まで捨て削り後、外径 60mm まで実験に供した。

2・2 使用工具と切削条件および使用機械

実験に使用した工具は、TiC 系サーメット工具 (東芝タンガロイ、X407) と JIS 使用分類 P20 相当の超合金 (東芝タンガロイ、TX20) である。これらの工具諸元を表 3 に示す。

表3. 使用工具とその諸元

項 目	諸 元
工 具 材 種	TiC系サーメット工具(東芝タンガロイ, X407) 硬ささ HRA91.0~92.0 抗折力 150~170 Kg $\frac{f}{mm^2}$ 比 重 6.5 超硬合金工具, JIS使用分類P20相当(東芝タンガロイ T $\times$ 20)
チップ形状	SNPR 432 C形
チップブレーカー	W=2.2, $\alpha=14^\circ$, R=1.0
ホルダー	PSBN R 2020
チップ取付後の刃部形状	(-6,8,6,6,15,15,0.8)
工具突出し長さ	25 mm

表4. 切削条件

工 具 材 種	TiC系サーメット(X407)
切削速度(V $\frac{m}{min}$)	100,150,180,230, ($\pm 5\%$)
切込み(t mm)	1.0
送り(f mm $\frac{rev}{rev}$)	0.2
切削方式	乾 式

超硬合金(T $\times$ 20)
120,180,230, ($\pm 5\%$)
1.0
0.2
乾 式

切削条件は、表4のとおりである。

切削は、有段変速旋盤を用い三 スクロールチャックと固定センター支持により行なった。このため、切削速度はその変動ができるだけ少なくなるよう目標切削速度の $\pm 5\%$ 範囲とした。

2・3 寿命判定と測定項目およびその方法

2・3・1 寿命判定

工具寿命判定は、横逃げ面摩耗 V_B が0.2 mmに達したときか、欠損その他の切削に起因する理由により切削不能と判断されるときとした。

2・3・2 測定項目およびその方法

測定項目は横逃げ面摩耗(V_B)、同境界摩耗(V_B^I)、前逃げ面摩耗(V_{BE})、同境界摩耗(V_{BE}^I)、すくい面摩耗(K_T)および表面あらさである。

測定は工具顕微鏡(X30)、表面あらさ計により測定し、測定時間は1、2.5、5、10、15、20分、以後10分毎とした。

すくい面摩耗については、すくい角が 14° (チップ取はずし時)と大きく測定困難であるので、横逃げ面摩耗 V_B が0.1、0.2 mmに達する付近を測定した。この場合すくい角が大きいために、表面あらさ計による記録は正しいすくい面摩耗深さを示さないの、摩耗深さがすくい面に垂直な方向になるよう倍率補正し、実測値とした。

3. 実験結果と考察

SUS304は他の鉄鋼材料に比べ、加工硬化性が高いこと、熱伝導度が小さいこと、強靱なことなどによりその切削は困難であるが、本実験でもTiC系サーメット工具(以下TX407という)、超硬合金工具(以下TX20という)共にSUS304の持つ材料の特徴が出てきた。

とくにX407においては、激しい横逃げ面の境界摩耗による二次的切屑およびその大きな成長による外周バリにより横逃げ面境界後方の欠損をともない切削不能の状態となった。この傾向は、TX20についてもいく分見られた。

以下X407とTX20について各々実験結果を検討し、後切屑形態、両者の切削性能比較を行なう。

3・1 TiC系サーメット工具(X407)について

3・1・1 横逃げ面摩耗

図1は、横逃げ面摩耗経過曲線である。 $V=100 \frac{m}{min}$ は50分切削時で境界後方切刃に

欠損を生じ、60分以後の切削は外周バリ発生のため切削不能となった。また $V=150\text{ m/min}$ の場合は、60分切削で同様な欠損を生じ、約75分切削で $V_B=0.2\text{ mm}$ 程度に達し、外周バリにより切削困難となった。 $V=180, 230\text{ m/min}$ の場合は、微小な二次切屑は発生するが、通常の安定な切削を持続した。

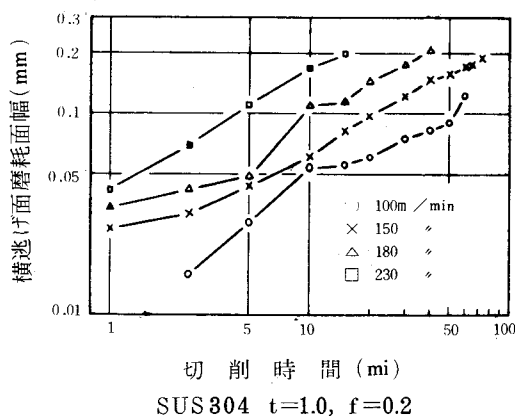
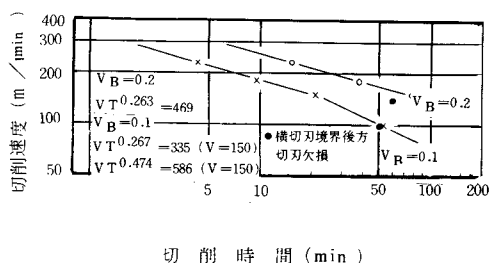


図1. X407の横逃げ面摩耗

図2は、図1より求めた $V-T$ 線図である。 $V_B=0.1\text{ mm}$ 基準の場合は、欠損を起す場合もあるが($V=100\text{ m/min}$) 安定な切削を行ない得る範囲である。 $V_B=0.2\text{ mm}$ の場合は、欠損は起すが切削可能な範囲である。寿命曲線の方程式は、 $V_B=0.1\text{ mm}$ のとき $VT^{0.267}=335$ ($V \geq 150$)、 $VT^{0.447}=586$ ($V \leq 150$)、 $V_B=0.2\text{ mm}$ のとき $VT^{0.263}=469$ である。

X407は、 $V=100\text{ m/min}$ 程度の低速域での使用は不適當であるが、一部欠損をとまうものの一応使用可能な工具寿命範囲は $V_B=0.1 \sim 0.2\text{ mm}$ の範囲と考えられる。

なお図中に工具の欠損時期を入れてある。



SUS 304, $t=1.0$, $f=0.2$
図2. X407の工具寿命線図

図3は、横逃げ面境界摩耗の経過である。境界摩耗は、切削初期においては切削速度に依存するようであるが、10分程度の切削で各切削速度共に $0.5 \sim 0.6\text{ mm}$ 程度の大きな境界摩耗を生じ、以後摩耗幅は成長しない。この摩耗はすくい面にも大きく現れる。境界摩耗の特徴は切削開始10分以後の安定域にはいった後、横切刃エッジの後方にその幅を広げていくことである。これが以後の切削で微小な二次切屑および外周バリを発生させていく。二次切屑は後述するように塑性変形したものである。

またこの逃げ面、すくい面の大きな境界摩耗は、工具チップに対する切欠き効果となり、サーメット工具(X407)の靱性の低いことと相まって、切削後期における横切刃境界後方の切刃エッジの欠損を起すと考えられる。

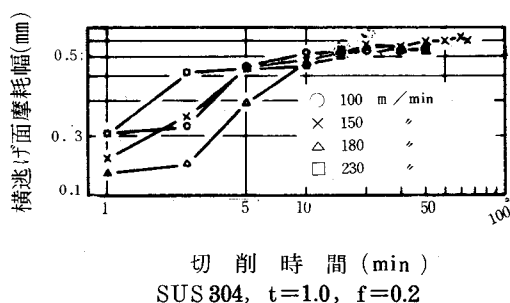
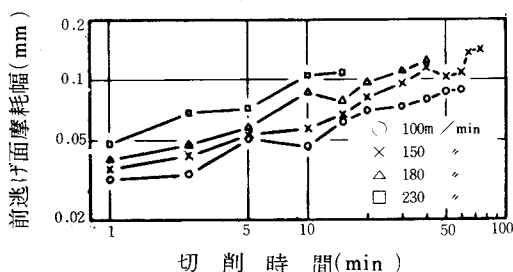


図3. X407の横逃げ面境界摩耗

3・1・2 前逃げ面摩耗

図4は、前逃げ面の摩耗経過である。

前逃げ面摩耗も切削速度の高い程早く摩耗するが、 $V=150\text{ m/min}$ 以上の速度では、寿命時において速度の低い方が大きな摩耗幅となっている。摩耗幅は横逃げ面摩耗の $1/2$ 強であり経過も安定している。

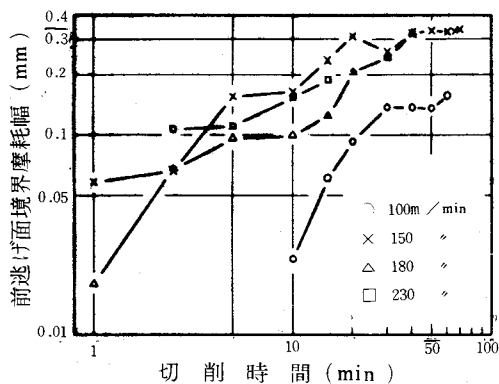


SUS 304, $t=1.0$, $f=0.2$

図4. X407 前逃げ面摩耗

図5は、前逃げ面の境界摩耗である。前逃げ面の境界摩耗には顕著な規則性はないが、 $V=100\text{ m/min}$ の場合、摩耗がゆるやかであることが特徴である。

また前切刃、同逃げ面には実験中チップングその他の異常は確認されなかった。

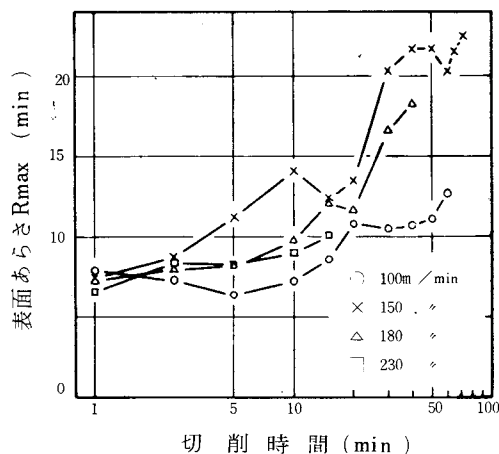


SUS 304, $t=1.0$, $f=2.0$

図5. X407 の前逃げ面境界摩耗

3・1・3 表面あらさ

図6に表面あらさの経過を示す。 $V=150\text{ m/min}$ 以外は、10分程の切削までは、比較的安定しており、 $6\sim 10\mu\text{m Rmax}$ である。 $V=150\text{ m/min}$ および $V=100\text{ m/min}$ の20分以後の表面あらさの変化の理由は不明である。



SUS 304, $t=1.0$, $f=0.2$

図6. X407 による表面あらさ

3・2 超硬合金 (TX20) について

3・2・1 横逃げ面摩耗

図7は横逃げ面摩耗経過曲線である。超硬合金でSUS 304を切削するには高すぎる切削速度であるが、摩耗経過としては正常な摩耗経過を示している。

この場合も、X407に見られた低速域における境界後方切刃エッジにおける欠損が、 $V=120\text{ m/min}$, 75分切削時に発生した。

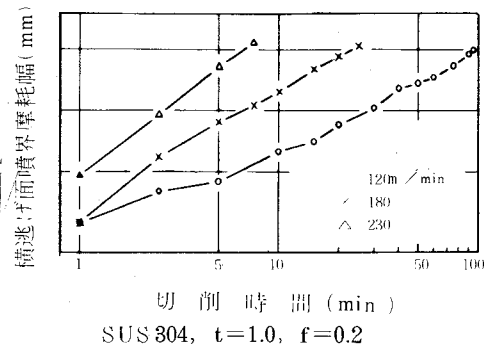
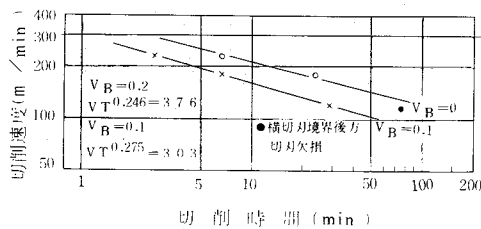


図7. TX20の横逃げ面摩耗

図8は、図7より求めたV-T線図である。
 $V_B=0.1$ のとき $VT^{0.275}=303$, $V_B=0.2$ のとき $VT^{0.246}=376$ である。図中には $V=120\text{ m/min}$ のときの横切刃境界後方の切刃エッジの欠損時期を示しているが、 $V_B=0.1\sim0.2\text{ mm}$ の範囲で、比較的安定して切削できる。しかしX407同様低速では欠損する。



SUS304, $t=1.0$, $f=0.2$

図8. TX20の工具寿命線図

図9は、横逃げ面境界摩耗経過である。切削速度の高い $V=230\text{ m/min}$ の場合は摩耗は早い、摩耗の速度は切削速度の順となっている。工具寿命時には速度のおそい $V=120\text{ m/min}$ の摩耗が大きい、X407に見られる初期の急激な摩耗および摩耗の成長しない状態は見られない。またすくい面上での境界摩耗の発達の小さいこと、切刃方向での摩耗幅の小さいこと、超硬合金の靱性の高さなどが横切刃境界

後方の切刃エッジの欠損を少なくすると考えられる。

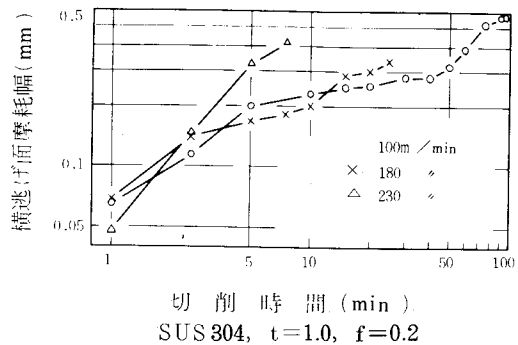
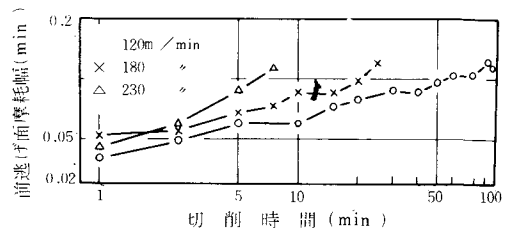


図9. TX20の横逃げ面境界摩耗

3・2・2 前逃げ面摩耗

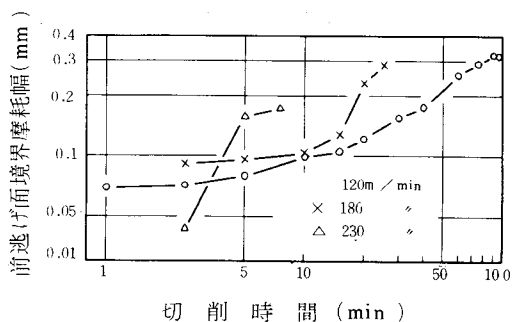
図10,11に前逃げ面摩耗、同境界摩耗の経過を示す。前逃げ面摩耗は切削速度に依存し、摩耗幅はいずれの速度でも 0.1 mm 程度であり、横逃げ面摩耗の $1/2$ 程度となっている。境界摩耗は摩耗幅、速度共に切削速度に依存する。

また、前切刃および逃げ面での、欠損、ピッチング等は、なかった。



SUS304, $t=1.0$, $f=0.2$

図10. TX20の前逃げ面摩耗

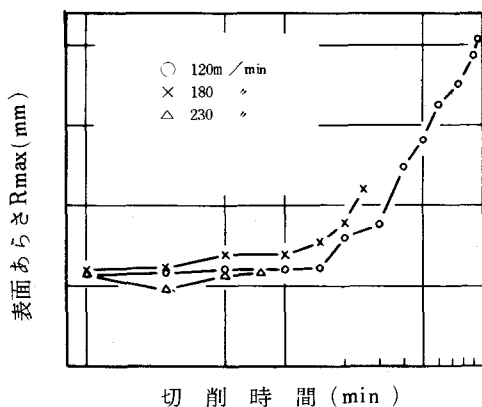


SUS304, $t=1.0$, $f=0.2$

図11. TX20の前逃げ面境界摩耗

3・2・3 表面あらさ

図12は表面あらさである。10分程度までの切削では、いずれの速度の場合も安定しており5～6 μ mRmax程度である。切削が進むと表面あらさは粗くなるが前逃げ面摩耗幅がほぼ同じであることを考慮すると、高速切削ほど切削温度が高くなるため、このような傾向になると考えられる。



SUS 304, $t=1.0$, $f=0.2$

図12. TX20による表面あらさ

4. 工具の摩耗状況

写真2にX407およびTX20の5分切削時の工具の摩耗状況を示す。横逃げ面境界摩耗をみると、すでに図3・9でみたように、X407はTX20に比べ大きく境界摩耗が発達していることがわかる。またすくい面における境界摩耗も大きく発達している。また写真3は、 $V_B=0.2mm$ 寿命時における工具摩耗、欠損状況である。 $V=100\sim150m/min$ においては、X407, TX20共に横逃げ面境界後切刃エッジに欠損を生じているが、 $V=180\sim230m/min$ の場合は大きな欠損はみられない。また寿命時における横逃げ面、すくい面の境界摩耗は、X407の方が大きい。

このことからX407は、その靱性の低さと相

まって欠損しやすいといえる。

5. 特にX407にみられる2次切屑について

以上述べてきたように、X407は境界摩耗の発達が早く、この境界摩耗が切刃エッジ方向に発達していくため、境界部は丸みをおび切刃としての役を果さなくなる。

とくにSUS304は加工硬化の著しい材料であるので、被削材の外周は塑性変形を受けることとなる。これが二次切屑となって切屑に付着してまたは単独で排出される。

このうち初期のものは、赤または青紫色を呈し厚さまたは直径が0.5mm程度、長さ8mm程度以下である。形状は層状あるいは螺旋層状である。その状態を写真4・5に示す。



写真4. 切屑に付着した二次切屑
X407, $V=100m/min$ $T=15min$
(X25) 赤又は青紫色

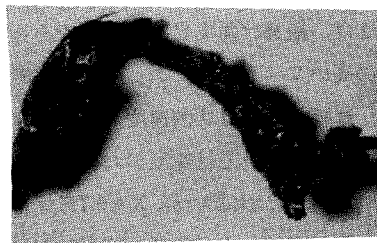


写真5. 単独に排出された二次切屑
X407, $V=100m/min$ $T=40min$
(X17) 青紫色

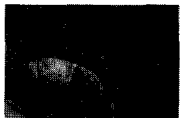
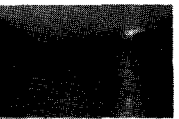
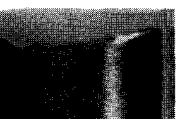
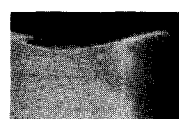
切削速度	Tic系サーメット工具(×407)	超 硬 合 金 (T×20)	切削速度
230 $\frac{m}{min}$	  	  	230 $\frac{m}{min}$
180 $\frac{m}{min}$	  	  	180 $\frac{m}{min}$
150 $\frac{m}{min}$	  	  	120 $\frac{m}{min}$
100 $\frac{m}{min}$	  		

写真 2. 5 分切削後の工具摩耗状況

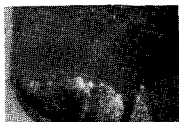
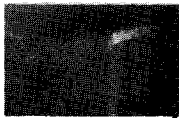
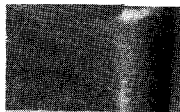
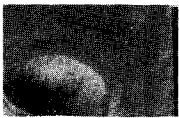
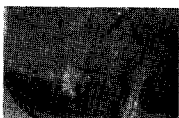
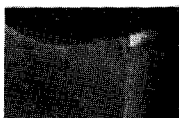
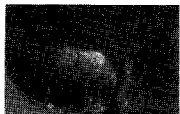
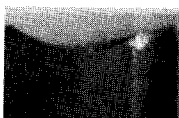
切削速度	Tic サーマイト工具 (×407)	超 硬 合 金 (T×20)	切削速度
230 $\frac{m}{min}$	15 min   	7.5 min   	230 $\frac{m}{min}$
180 $\frac{m}{min}$	40 min   	25 min   	180 $\frac{m}{min}$
150 $\frac{m}{min}$	72 min   	95 min   	120 $\frac{m}{min}$
100 $\frac{m}{min}$	60 min   		

写真 3. 寿命時における工具摩耗状況
($V_B = 0.2 \frac{m}{min}$)

切削後期になると二次切屑は銀白色をおびたかなり長いものとなり、ついには被削材外周に巻付き、切削不能の状態となる。この長い二次切屑発

生時期が、工具が欠損した時期である。このとき二次切屑は明らかに塑性変形を受けたものである。

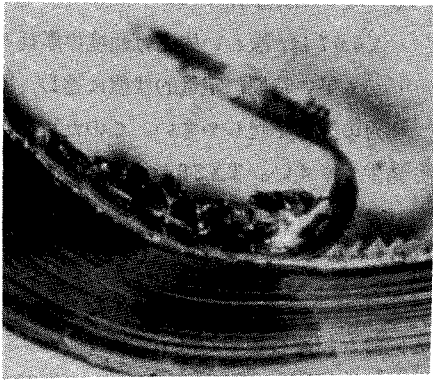
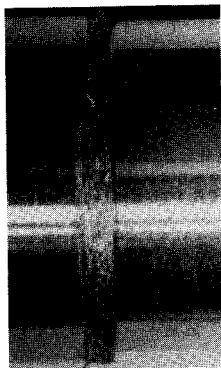
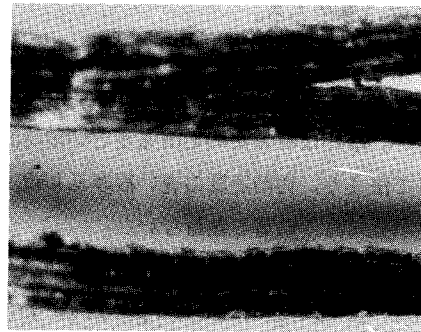


写真6. 切屑に付着した二次切屑と連続した二次切屑
X407, $V=100\text{ m/min}$ $T=60\text{ min}$ (X25)
銀白色



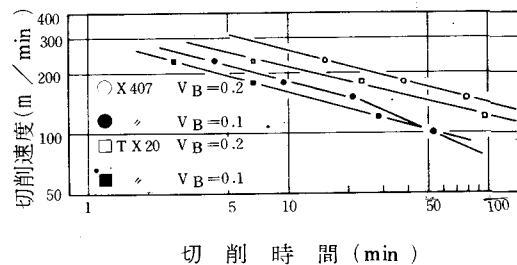
← 切削方向

写真7. 被削材に巻きついた二次切屑(バリ)
X407, $V=150\text{ m/min}$ $T=72\text{ min}$
銀白色

6. T、C系サーメット工具(X407)と超硬合金(TX20)の比較

6・1 工具寿命

図13に工具寿命をまとめた。工具寿命は正常摩耗域である $V_B=0.1\text{ mm}$ および切削不能域にかかる $V_B=0.2\text{ mm}$ 付近のいずれの場合も、X407はTX20の約2倍の寿命をもつ。



SUS 304, $t=1.0$ $f=0.2$

図13. X407, TX20の寿命線図比較

6・2 横逃げ面境界摩耗

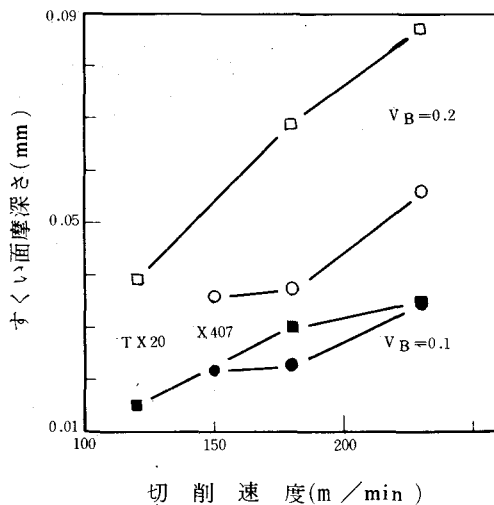
X407は境界摩耗が激しく、切削初期に大きく成長し、後安定する。これは切削速度には関係ない。この傾向はすくい面でも同様である。TX20は、切削速度、切削時間に支配され、X407の約 $1/2$ である。

6・3 前逃げ面摩耗

正常摩耗はX407がいく分小さいが、大きな差はない。摩耗は両者共に切削速度と切削時間によって決まり、切削速度の速い程摩耗も早い。境界摩耗には、顕著な差はない。

6・4 すくい面摩耗

図14は、X407とTX20の $V_B=0.1mm$ および $V_B=0.2mm$ におけるすくい面摩耗である。 $V_B=0.1mm$ では両者に大きな差はないが、 $V_B=0.2mm$ ではX407はTX20の約 $1/2$ の摩耗である。つまりX407は、耐すくい面摩耗に富む。



SUS304, $t=1.0$ $f=0.2$
図14. X407, TX20のすくい面摩耗の比較

6・5 表面あらさ

表面あらさは、 $V_B=0.2mm$ に達するまで終始TX20の方が良く、切削が進むにつれてその差

は広がる傾向にある。

切削始め10分程度までは、X407で、 $6 \sim 10 \mu m R_{max}$, TX20で $6 \mu m R_{max}$ 前後である。

6・6 工具摩耗

X407は、激しい横逃げ面境界摩耗を生じ、しかも早い時期に定量的状態に達し、境界後方切刃の欠損を起しやすい。このため二次切屑が発生しやすい。TX20はこの傾向は小さい。

TiC系サーメット工具(X407)と、ほぼこれと同等な超硬合金P20(TX20)でSUS304を切削速度 $V=100 \sim 230 m/min$ の範囲で切削し、結果を各々検討後両者を比較した結果、大略以下の結論を得た。

- (1) X407は、SUS304の切削に向いておりTX20の約2倍の寿命である。
- (2) 工具寿命について、 $V_B=0.1mm$ の場合 X407については $VT^{0.267}=335 (V \geq 150)$, $VT^{0.447}=586 (V \leq 150)$, TX20については $VT^{0.275}=305$ を得た。また $V_B=0.2mm$ の場合X407については、 $VT^{0.263}=469$, TX20については $VT^{0.246}=376$ を得た。
- (3) X407は横逃げ面境界摩耗が切削初期から大きく発達し、低速における工具欠損の原因となる。
- (4) 前逃げ面摩耗はX407, TX20間に顕著な差はなく、またチップング、欠け等は認めない。
- (5) X407は、すくい面摩耗性にすぐれており、 $V_B=0.2mm$ でTX20の約 $1/2$ 程度である。
- (6) 表面あらさは、TX20の方がすぐれており、切削の進行と共にX407との差は大となる。

本実験は、九州機械技術研究者会議共同研究と

して行なった「TiC系サーメット工具によるSU
S304の旋削」に、超硬合金によるSUS304
の旋削実験を付加してまとめたものである。

実験を進める上で、九州工業試験場の山川部長、
道津課長他関係工試各位に多大のご指導をいただ
いたことを付記し、感謝します。

- 1) 昭和54年度鹿児島県機械金属技術指導センタ
ー業務報告