

インコネル600の仕上げ旋削に関する研究（第1報）

—乾式切削の場合—

泊 誠, 山下宜良*, 浜石和人

Study on Fine Turning of Inconel 600 Alloy (I)

—on Dry Cutting—

Makoto TOMARI, Nobuyoshi YAMASHITA*, and Kazuto HAMAISHI

固溶化処理されたニッケル基耐熱合金インコネル600をCBN, サーメット, セラミックス(3種類)の計5種類の工具を使用して乾式軽仕上げ旋削し, 工具損傷, 仕上げ面, 工具の耐久性について検討した。工具はいずれも損傷が激しく仕上げ面, 工具寿命共に好結果は得られなかったが, 硬さは低くても靱性の高いサーメット工具の場合が比較的良い結果を得た。特に切削速度が100m/minの場合が最良であった。

1. はじめに

ニッケル基耐熱合金インコネル600はNiをベースとした合金で76%Ni-16%Cr-8%Feの組成を持つ析出硬化型の合金であり, 耐蝕性環境での高温強度に優れ, 硫化雰囲気中では816°C以上では使用できないものの一般には900°C以上の高温まで酸化に耐える。この優れた性質が炉室材, ソルトバス, 航空機のマニホールド, 高温スプリング等に使われ, またミルク製造業各種化学工業でも用いられている。

しかしインコネル600は熱伝導率が非常に低いため切削においては切屑が工具に溶着しやすくチップングや損傷を起しやすいので高度の難削材とされているが, 日本ではまだ加工の歴史が浅く加工データも不十分である。

本研究では, 近年一般に使用されるようになってきたCBN, サーメット, セラミックス工具によりインコネル600を仕上げ旋削し, 工具の耐久性について検討した結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 使用機械とホルダー

実験には三菱重工機HL-300U型旋盤(有段)を使用し, N11R33型ホルダーにスローアウェイ工具を取り付け, 工具突出し長さを25mmとして行った。

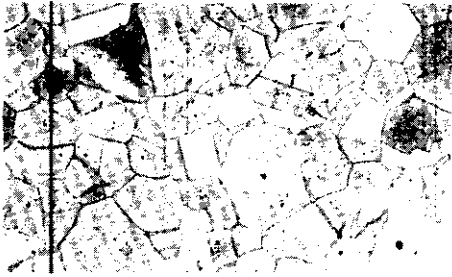
2.2 被削材

被削材は固溶化処理されており, その化学成分と機械的性質を表1に示し組織を図1に示す。

表1 被削材の成分と機械的性質

化学成分	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Fe
(%)	0.05	0.08	0.29	0.005	0.001	0.04	76.07	15.57	7.49
機械的性質	引張強さ kgf/mm ²		耐 力 kgf/mm ²		伸 び %		硬 さ H B		固溶化処理 1000°C1.5時間 水冷
	66		27		48		155		

* 鹿児島県鑑定所



0.025 mm

図1 被削材の組織

2.3 供試工具

表2に実験に使用した工具材の成分、機械的性

質、チャンファー形状を示す。

サーメットは抗折力が他の4つの工具材に比べてかなり大きい硬さはかなり低い。またCBN工具は抗折力は最小であるが硬さは最大である。図2に切削前の工具のすくい面の状態を示す。

2.4 実験条件

表3に実験条件を示す。

2.5 摩耗の測定

一定切削時間ごとに逃げ面摩耗幅及び境界摩耗幅を工具顕微鏡で測定し、工具損傷状態を観察した。

表2 工具材の成分と機械的性質及びチャンファー

工具材	成分	製造法	密度 g/cm ³	抗折力 kg f/mm ²	硬さ Hv	粒径 μm	チャンファー mm×deg
C B N	CBN+特殊セラミックス	—	3.5	65	4000	2~4	0.05~0.15×-15°
サーメット	TiN-TaN	C P	7.1	165	1580	1	0.05~0.10×-25°
セラミックス	Al ₂ O ₃	H I P	4.0	80	2400	1.5	0.17~0.23×-20°
セラミックス	Al ₂ O ₃ -TiC	H I P	4.3	90	3000	0.8	0.12~0.18×-25°
セラミックス	Si ₃ N ₄	—	3.3	80	1410	—	0.08~0.10×-20°

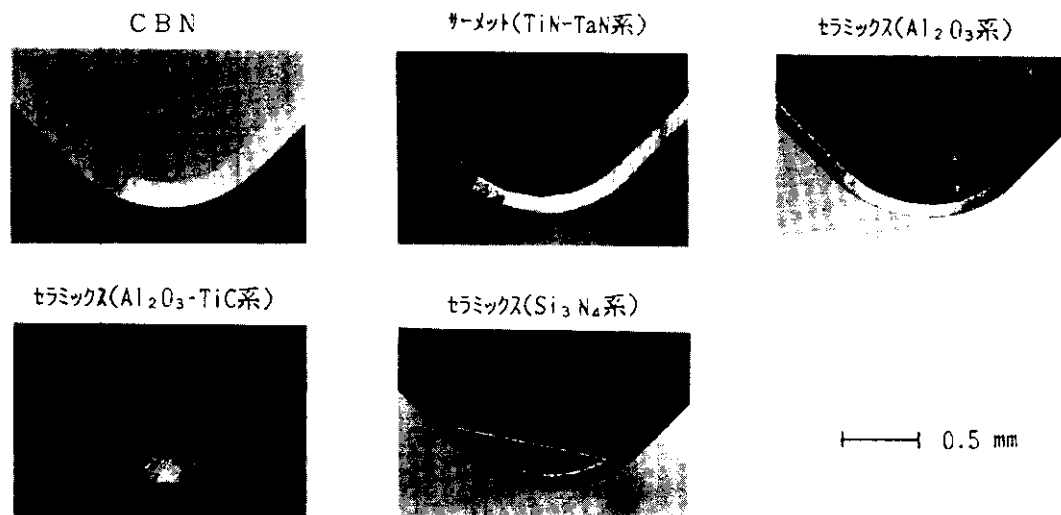


図2 切削前の工具すくい面

表3 実験条件と工具諸言

工 具 材 名	CBN サーメット (TiN-TaN系) セラミックス (アルミナ Al ₂ O ₃) (Al ₂ O ₃ -TiC系) (窒化けい素 Si ₃ N ₄)	切 削 条 件	切削形態	旋削, 外丸削り, 乾式
			工具形状	-6°, -5°, 6°, 5°, 15°, 15°, 0.8mm
			工具寸法	12.70×12.70×4.76mm
			切削速度	CBN 50, 100, 150m/min サーメット, セラミックス (Al ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ -TiC系 Si ₃ N ₄) 25, 50, 100m/min
			送り	0.1mm/rev
			切込み	0.5mm

3. 実験結果と考察

3.1 工具損傷形態

図3, 4, 5にインコネル600を切削時の工具損傷形態を示す。図3にCBN工具, 図4にTiN-TaN系サーメット工具とAl₂O₃系セラミックス工具, 図5にAl₂O₃-TiC系及びSi₃N₄系セラミックス工具の工具損傷状態を示している。

実験に供した5種類の工具のどの切削速度の場合も, 逃げ面またはすくい面に損傷または大きな摩耗を生じている。またいくつかの条件ではすくい面への激しい溶着がみられる。全ての条件中最長切削時間は3minであるが, これらは正常摩耗によって寿命に達したのではなく, 横逃げ面境界摩耗または境界部の欠損により被削材にバリが発生し, このため切削困難となって寿命となったものである。

3.1.1 CBN工具

図3に示したCBN工具の場合は150m/minで前逃げ面境界部の欠損, 100, 50m/minでは横逃げ面境界部が欠損している。逃げ面の摩耗は正常摩耗である。

すくい面の摩耗は通常の摩耗ではなくチップングが連続して生じた欠損である。すくい面の欠損は切削速度が低いほど大きい。すくい面内には溶着が生じているため正確な測定は困難であったがクレータ深さは150, 100, 50m/minのとき20, 17, 91μm以上であった。

3.1.2 TiN-TaN系サーメット工具

図4に示すように50m/minにおいて横逃げ面境界部に大きな欠損がみられ, この境界部欠損の奥にはクラックが生じているのが確認された。25m/minでは横切れ刃が大きく欠損している。逃げ面の摩耗は正常摩耗である。

すくい面においては逃げ面の境界から摩耗がすくい面内に大きく進行しており, 50, 25m/minではすくい面の欠損が生じている。すくい面の欠損は切削速度の低い方が大きい。またクレータの深さは100, 50, 25m/minの場合に3, 40, 38μm以上であった。

3.1.3 Al₂O₃系セラミックス工具

図4に示すように逃げ面の摩耗は正常摩耗である。いずれの切削速度においても横逃げ面境界部の摩耗がかなり大きい。また前逃げ面境界部も欠損しており, これは切削速度が低いほど大きく, 特に25m/minの場合は2mmにも達していた。

すくい面には溶着物が付着しチップングも起きている。

3.1.4 Al₂O₃-TiC系セラミックス工具

図5に示すように逃げ面の摩耗は正常摩耗であるが横逃げ面境界摩耗がかなり大きく, また前逃げ面の境界摩耗と欠損も大きい。

すくい面も損傷し特に50m/minでは大きな欠損を生じている。すくい面への溶着はかなり激しく, 25m/minではすくい面のクレータ部分が完全に埋っ

た。すくい面のクレータ深さは100, 50m/minの場合100, 90 μ mであり25m/minではさらに深いと考えられる。

3.1.5 Si₃N₄系セラミックス工具

図5に示すように逃げ面の摩耗は正常摩耗である。いずれの切削速度においても横逃げ面の境界摩耗が大きいか、境界部の欠損を生じている。

すくい面摩耗は100m/minの場合は正常摩耗であるが、50, 25m/minにおいてはチッピングおよびこれより大きい損傷を生じている。切削速度の低い方が損傷は大きい。クレータの深さは100, 50, 25m/minで20, 12, 44 μ mであった。

このように5種類の工具の全ての条件で激しい横逃げ面境界摩耗、あるいは特にその境界部に大きな欠損を生じ寿命に至った。

またすくい面は横前の両境界摩耗部から境界摩耗が大きく進行し、また激しい溶着が起った。

被削材には、切削により表面から0.5mm付近まで加工硬化が認められたがこの場合の表面付近の硬さはH_{MV}230程度であり工具損傷の原因にはならないと考えられ、むしろこのような工具への激しい溶着と工具損傷は、インコネル600は靱性が高くしかも熱伝導率がかなり低いため切削点近傍の切り屑温度が高くなり軟化し溶着しやすくなることと、溶着物が切り屑と共に脱落するとき工具の一部が持ち去られることによると考えることができる。

工具の損傷程度は、工具の一部が切り屑と共に脱落するとき生ずる引っ張り応力への工具の抵抗力の大小、つまり工具の靱性の大小によると考えられる。抗折力が最も高いTiN-TaN系サーメット工具の損傷程度が他の工具に比べて小さいのはこのためである。

この実験では抗折力の最も高いTiN-TaN系サーメット工具が100m/minにおいて3minの切削に耐え、最も良い結果が得られた。

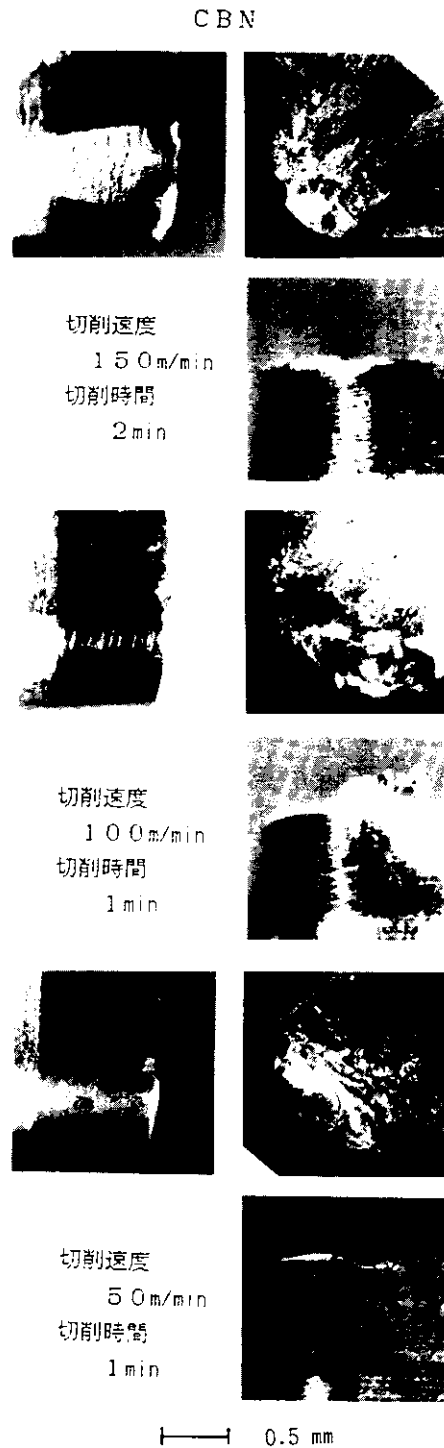


図3 インコネル600切削時の工具損傷状態 (CBN工具)

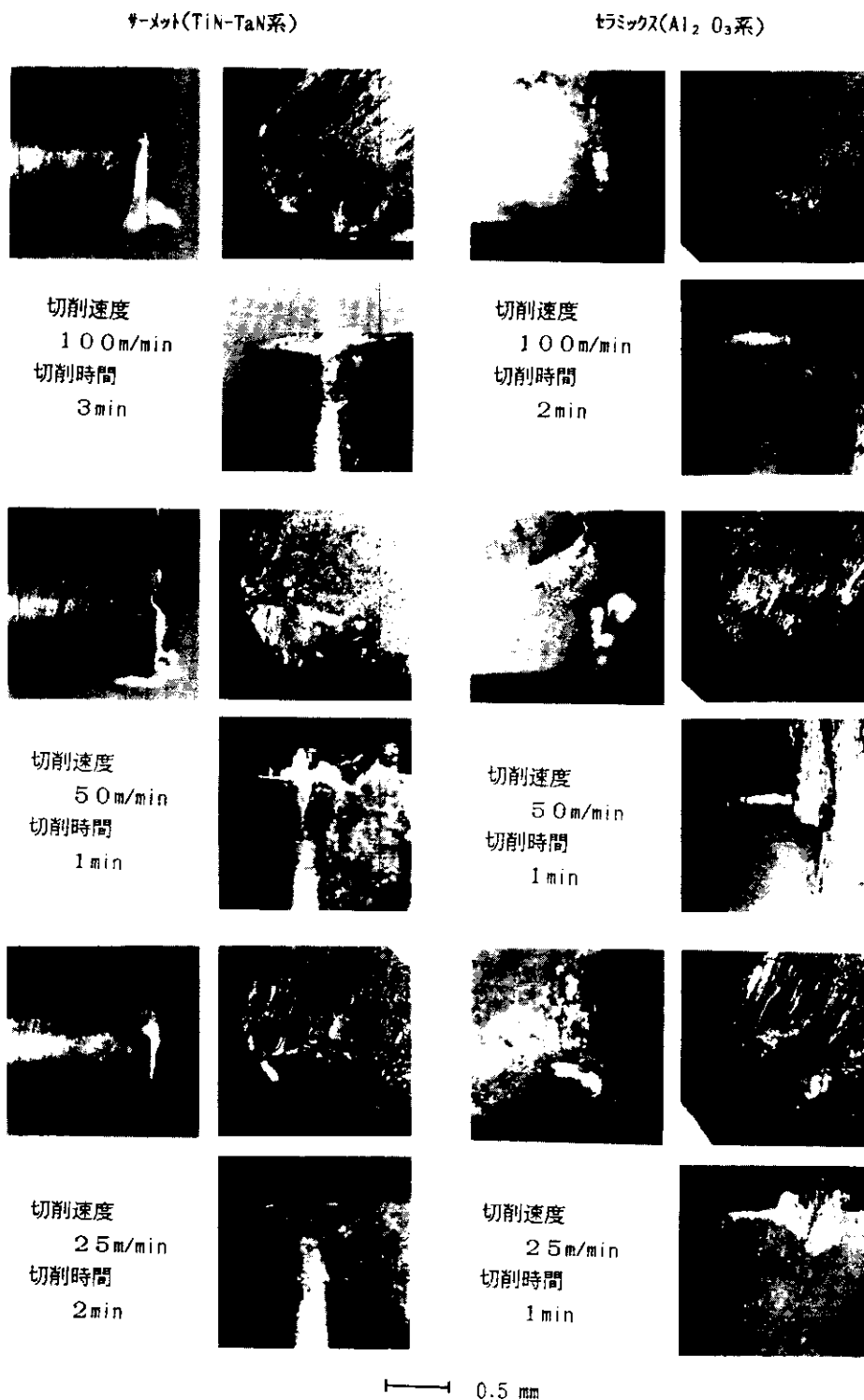


図4 インコネル600切削時の工具損傷状態
(TiN-TaN系サマット工具, Al_2O_3 系セラミックス工具)

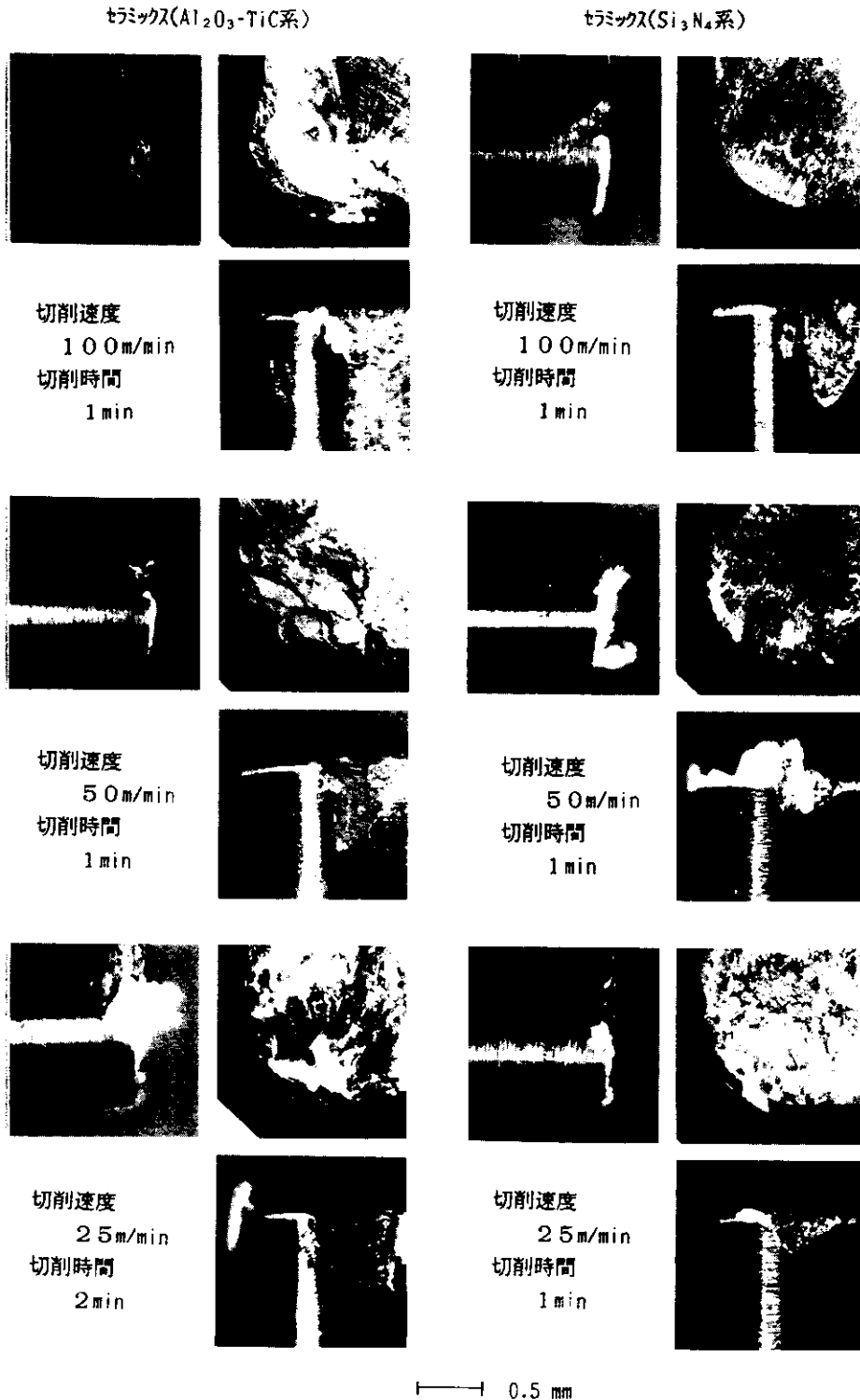


図5 インコネル600切削時の工具損傷状態
(Al_2O_3 -TiC系および Si_3N_4 系セラミックス工具)

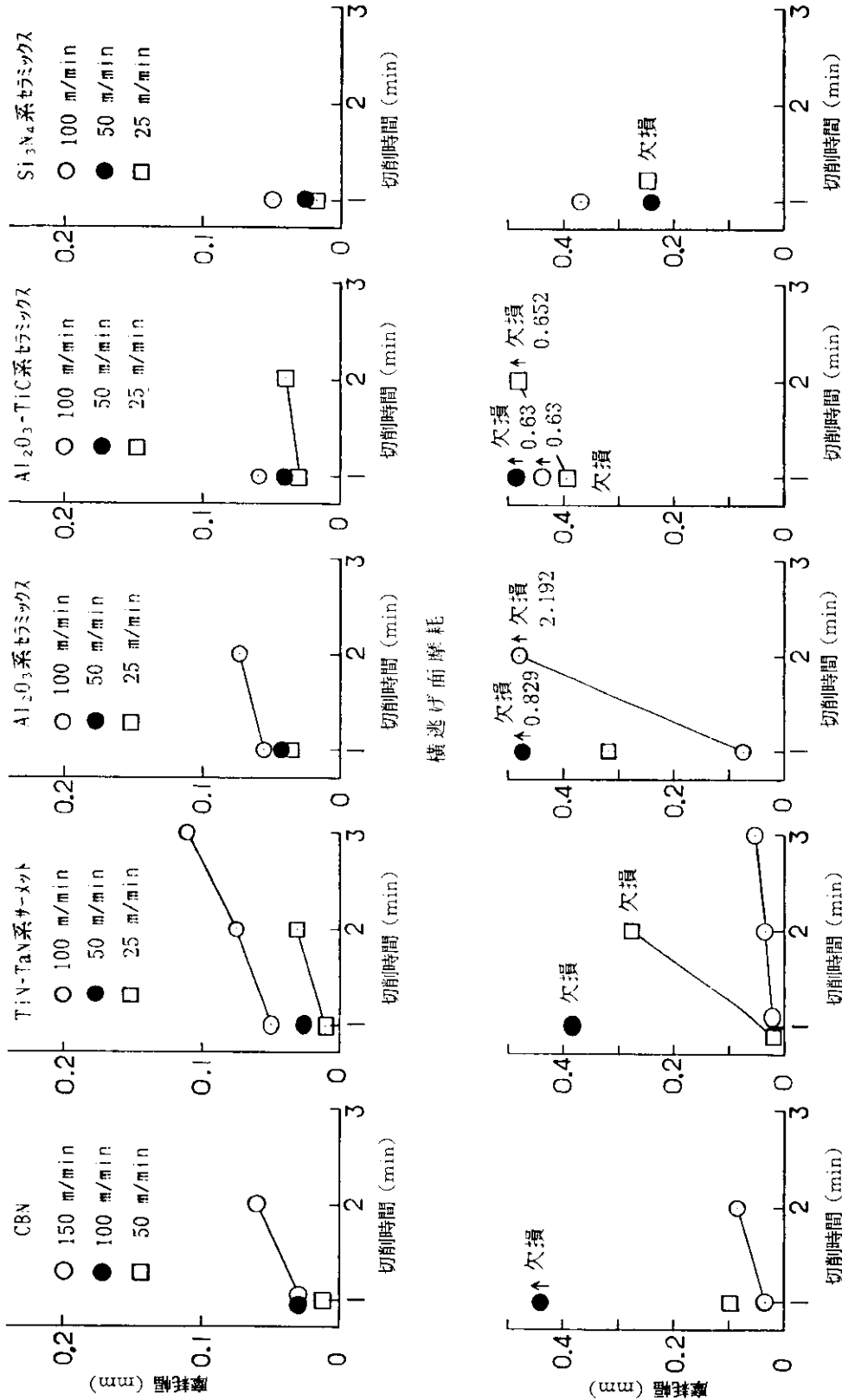


図6 インコネル600切削時の工具磨耗の進行状態(横逃げ面)

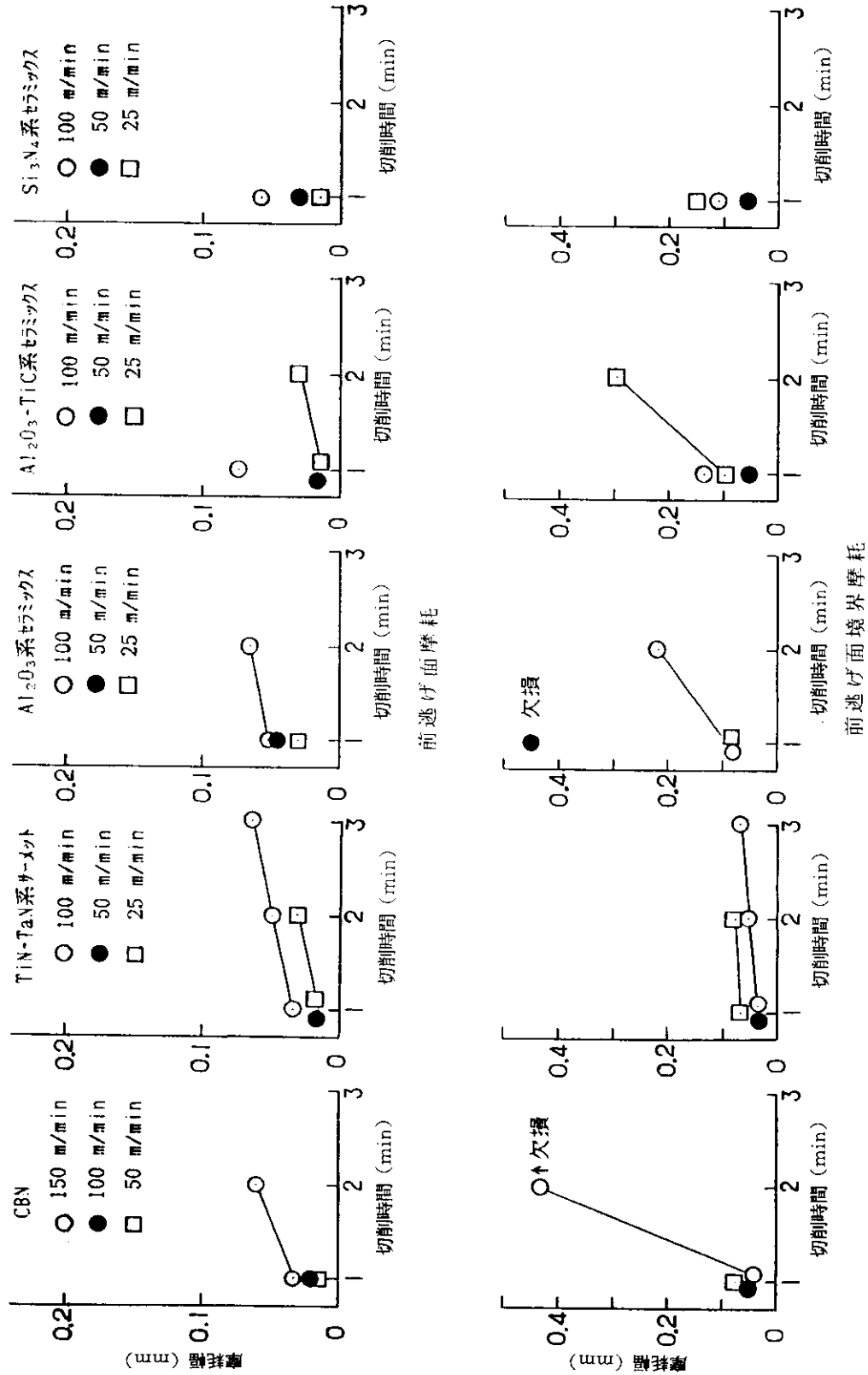


図7 インコネル600切削時の工具摩耗の進行状態 (前逃げ面)

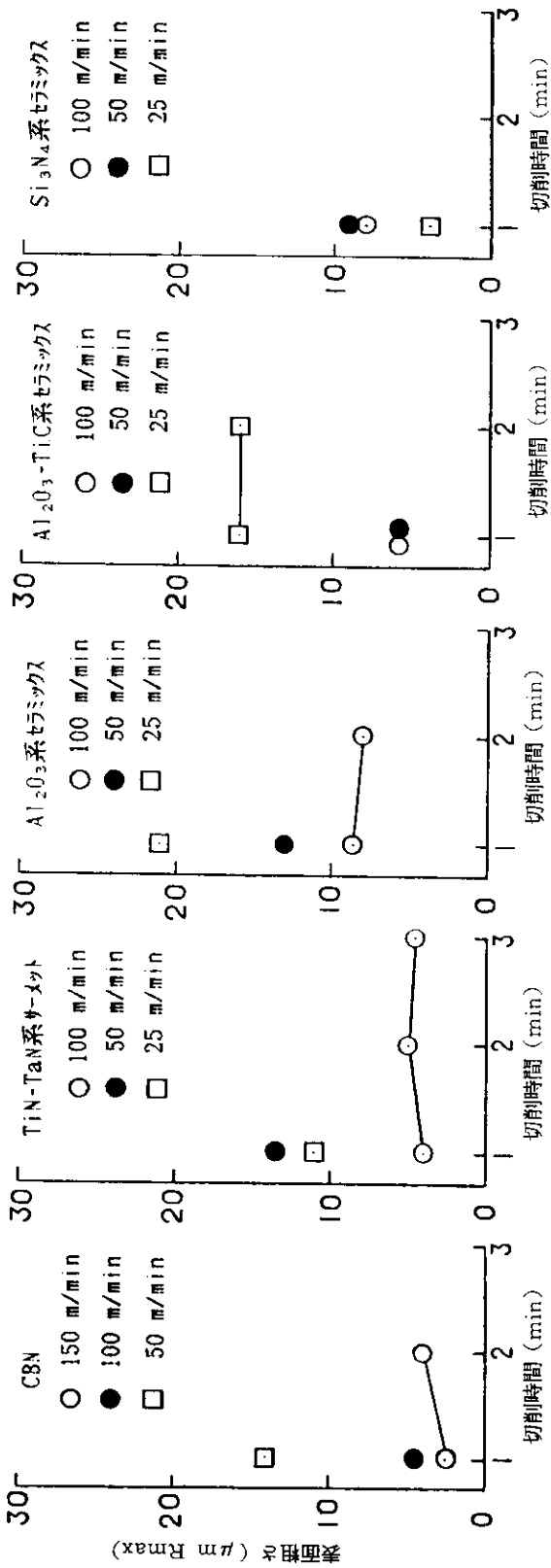


図8 インコネル600切削時の仕上げ面粗さの経過

5種類の工具について工具寿命をその損傷状態からみると、切削速度の高い方が工具寿命はより長いと考えられる。

3.2 工具摩耗進行曲線

図6に5種類の工具の横逃げ面の工具摩耗進行状況を示している。逃げ面摩耗のみについて見てみると、摩耗はかなり早く進行している。5種類の工具のなかで最も硬さが高いCBN工具が最高の耐摩耗性を示し、以下硬さが低くなると摩耗が大きくなっている。

境界摩耗はCBNの150 m/minとTiN-TaN系サーメット工具が正常な摩耗経過を示しているが、他の工具は欠損等損傷が大きい。

図7に前逃げ面の摩耗進行状況を示している。摩耗の進行状況は、横逃げ面と同様の傾向を示している。

逃げ面摩耗の進行状況は図6, 7のとおりであるが、硬さは低いが靱性の大きいTiN-TaN系サーメット工具の100 m/minの場合は、摩耗は大きいものの安定した切削を続けることができる。

3.3 仕上げ面

図8に、インコネル600の仕上げ面の表面粗さを示している。CNB工具の150 m/minの場合と、TiN-TaN系サーメット工具の100 m/minの場合は、比較的良い仕上げ面が得られており、2~5 $\mu\text{mR}_{\text{max}}$ 程度である。

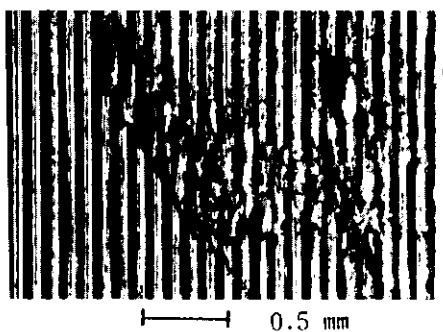


図9 インコネル600切削時の仕上げ面のキズ
Al₂O₃系セラミックス100 m/min, 2 min

前述したように、工具の切れ刃部およびすくい面には溶着物が多く発生するため、仕上げ面には溶着物の付着と巻き込みによって生ずるキズが多く発生する。図9はAl₂O₃系セラミックス工具の100 m/min, 2 min切削時の仕上げ面のキズである。

4. おわりに

高度難削材料であるニッケル基耐熱合金インコネル600を乾式で仕上げ旋削したが、インコネル600は乾式切削のもとでは非常に切削困難な材料であった。切削試験の結果次のような結論を得た。

- 1) インコネル600の乾式切削は溶着が激しく、切削としては不適当な切削である。
- 2) 硬さの高い工具材は、溶着物の脱落時に逃げ面境界部やすくい面の欠損を起こしやすく切削不能になり、このため寿命にいたる。工具寿命は極端に短い。
- 3) 最も良い結果が得られたのは、硬さは低いが靱性の大きいTiN-TaN系サーメット工具であり、特に100 m/minの場合が最良であった。
- 4) 仕上げ面には溶着物の付着と巻き込みによるキズが多く発生し、良好な仕上げ面は得にくい。

本研究は工業技術院九州工業技術試験所との共同研究として行なったものであり、ここに同試験所の機械工学課長道津毅氏にご指導いただいたことを記し、謝意を表する。