

高硬度材(SKD11)の旋削加工について

鎌田和彦*

熱処理した冷間金型材 SKD11(62.5HRC)を TiN コーティングセラミックチップと TiCN コーティング cBN チップを用いて仕上げ旋削(丸削り)を行い、最近の両チップの摩耗状態と仕上げ面粗さについて考察したところ、全体的に TiN コーティングセラミックチップの方が TiCN コーティング cBN チップよりも良い結果であった。併せて、TiCN コーティング cBN チップのワイパー仕様についても考察し、仕上げ面粗さの向上を確認した。

1. はじめに

切削加工において、難削材と呼ばれるものに、熱処理された高硬度材(鋼)がある。旋削加工における高硬度材の部品の多くは、0.5mm 以下の仕上げ代を残して熱処理された後、仕上げ加工される。被削材の硬さが 55HRC を超えるような場合には、工具には主にコーティングセラミックチップやコーティング cBN チップが用いられている。

本研究では、被削材として高硬度材の一つである冷間金型材 SKD11 (熱処理硬さ 62.5HRC) を対象に、TiN コーティングセラミックチップと TiCN コーティング cBN チップを用いて旋削加工(丸削り)を行い、最近の両チップの摩耗状態と仕上げ面粗さについて考察したので報告する(以下の文では、コーティングをコートと略す)。

2. 実験方法

表1に実験方法を示す。実験では、3種類のチップそれぞれについて切削速度は2通り、送り量と切り込みは一定とし、切削液には水溶性を用いた。表2に各チップの材料特性、写真1に各チップの刃先の形状、表3に被削材 SKD11 の化学成分と機械的性質、表4に実験に使用した機械器具、写真2に旋削加工の実験状況を示す。

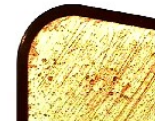
表1 実験方法

No.	チップの材種と型番	切削速度 V (m/min)	送り量 f (mm)	切り込み a (mm)	切削液
①	TiNコートセラミック (CNGA120408)	50・100 の2通り	0.1	0.2	水溶性
②	TiCNコートcBN "				
③	" (ワイパー仕様)				

※ バイト形式は、レバーロック形 (PCLNR2525M12)
水溶性切削液は、エマルジョンA1種2号

表2 各チップの材料特性

No.	チップの材種	主成分	母材硬さ HV	抗折強度 Mpa	用途等
①	TiNコート セラミック	Al ₂ O ₃ +TiC	2000	980	高硬度材用 (連続仕上げ)
②	TiCNコート cBN	cBN + セラミック結合材	3000	1050	" 高速仕上げ (連続~弱連続)
③	"	"	"	"	" (ワイパー仕様)



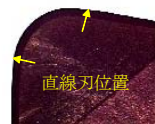
チャンファ(0.15mm×25°) + ホーニング有り

① TiNコートセラミック



チャンファ(0.15mm×25°)のみ

② TiCNコートcBN



チャンファ(0.12mm×15°)のみ

③ TiCNコートcBN (ワイパー仕様)

写真1 各チップの刃先の形状(ノーズ R0.8mm)

表3 被削材 SKD11 の化学成分と機械的性質

化学成分 (mass %)	C	Si	Mn	P
	1.47	0.24	0.41	0.022
	S	Cr	Mo	V
	0.001	12.15	0.85	0.23
機械的 性質	熱処理硬さ 62.5HRC	(熱処理前の製品硬さ) 217HB		

表4 実験に使用した機械器具

機械器具	メーカー	型式
NC旋盤	(株)森精機製作所	CL-2000BT
測定顕微鏡	(株)ミツトヨ	MF-A1730H
表面粗さ測定機	"	SV-C634
デジタルマイクロスコープ	(株)ハイロックス	KH-7700

* 機械金属室 専門員

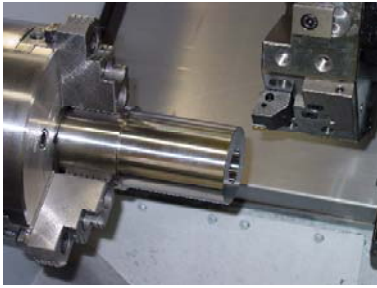


写真2 旋削加工の実験状況

3. 実験結果及び考察

3.1 TiN コートセラミックチップの場合

写真3に、切削距離 4027m まで切削したときの TiN コートセラミックチップの刃先の摩耗状態を示す。この写真からチップ摩耗には、チャンファ部のすくい面摩耗(クレータ)と逃げ面摩耗が進行し、切削速度の差による影響は余り見られない。また、図1は切削距離に対する逃げ面摩耗幅の推移を示したもので、同様に切削速度の差による影響は殆どなく、切削距離にほぼ正比例していることがわかる。

図2と図3は、切削距離に対する仕上げ面の表面粗さ R_a と R_y について示したもので、切削速度が高くなると仕上げ面粗さは大きくなり、切削距離にほぼ比例していることがわかる。この場合の理論上の表面粗さ R_y は、 $R_y = f^2 / 8 r$ の式から $R_y = \text{約 } 1.6 \mu\text{m}$ と計算され、図3の切削速度 100m/min の R_y は、これと比較すると大分大きく、切削速度が速過ぎると考えられる。

図4に切削距離 4027m まで切削したときの仕上げ面の粗さ曲線を示す。切削速度 50m/min の場合は、

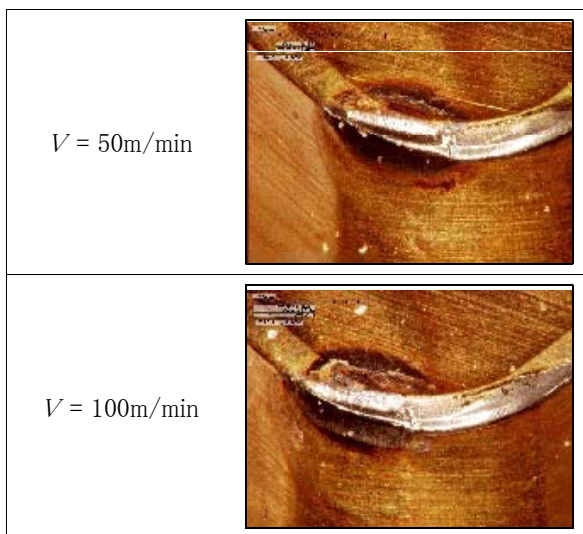


写真3 TiN コートセラミックチップの摩耗状態
($f = 0.1\text{mm}$, $a = 0.2\text{mm}$, $L = 4027\text{m}$, Wet)

山谷のきれいな粗さ曲線であるが、切削速度 100m/min の場合は、チップ摩耗の影響で山谷の差が大きく、また、切れ刃稜のチッピングの影響で2山となっていることがわかる。

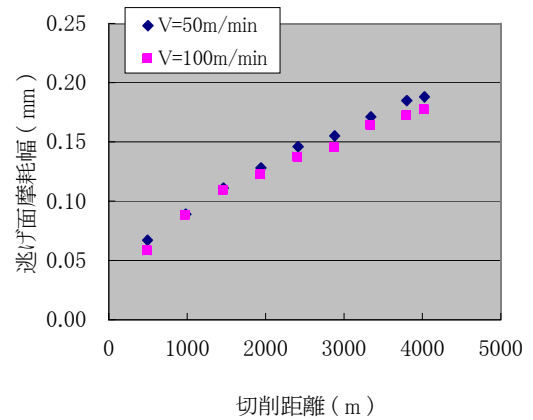


図1 TiN コートセラミックチップの逃げ面摩耗幅の推移
($f = 0.1\text{mm}$, $a = 0.2\text{mm}$, Wet)

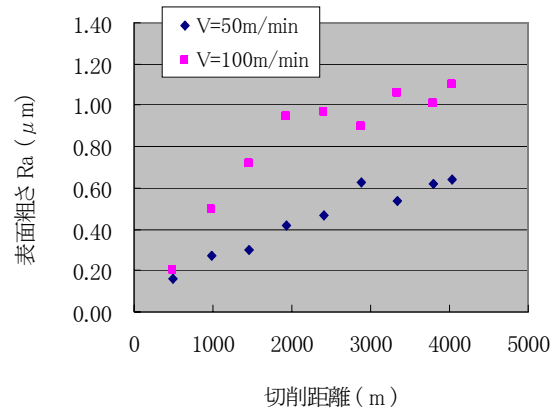


図2 TiN コートセラミックチップの表面粗さ R_a の推移
($f = 0.1\text{mm}$, $a = 0.2\text{mm}$, Wet)

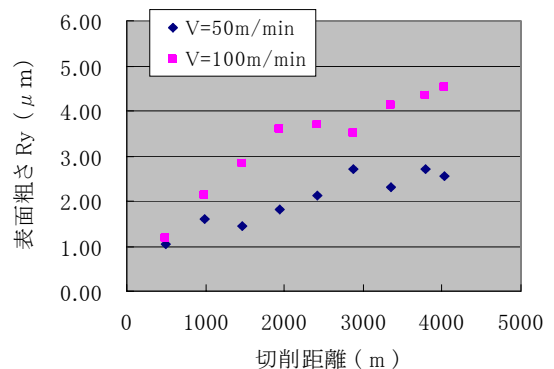


図3 TiN コートセラミックチップの表面粗さ R_y の推移
($f = 0.1\text{mm}$, $a = 0.2\text{mm}$, Wet)

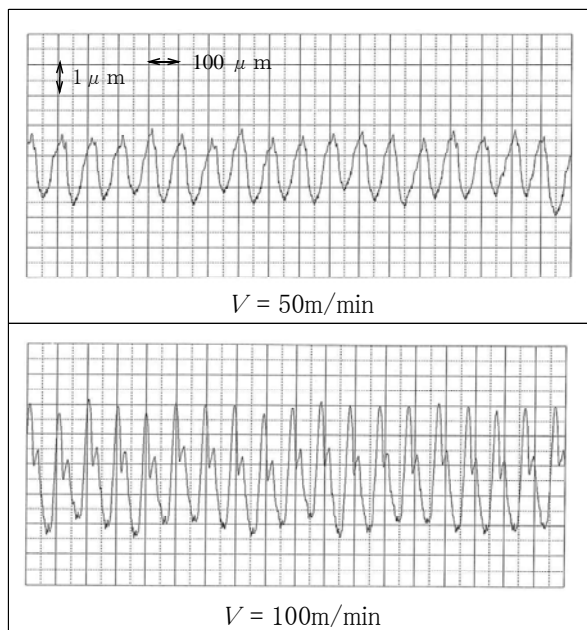


図4 TiNコートセラミックチップの粗さ曲線
($f = 0.1\text{mm}$, $a = 0.2\text{mm}$, $L = 4027\text{m}$, Wet)

3.2 TiCNコートcBNチップの場合

写真4に TiCN コート cBN チップの刃先の摩耗状態を示す。この写真の切削速度 100m/min のものは、切削距離 2413m 付近で、大きなすくい面摩耗(クレータ)を生じ、切れ刃稜の欠落損傷の危険性が考えられたため、この時点でチップ寿命と判断し、実験の継続を中止した。このチップの摩耗状態を写真3の TiN コートセラミックチップのものと比較すると、すくい面摩耗(クレータ)が大きいことから、切削熱の影響を受けやすく、耐熱性がやや低いことがわかる。

図5は、切削距離に対する逃げ面摩耗幅の推移を示したもので、切削速度が高くなると逃げ面摩耗も促進され、その幅は切削距離にかなり正比例している。

図6と図7は、切削距離に対する表面粗さ R_a と R_y の推移を示す。切削速度 50m/min の場合は切削距離に対する表面粗さ変化の幅は比較的少ないが、切削速度 100m/min の場合は急激に大きく変化していることがわかる。表面粗さの急激な変化は、チップ摩耗の進行が速いため、切削速度 100m/min は速過ぎると考えられる。

図8は粗さ曲線を示し、切削速度 50m/min の場合は、比較的良好的な形をしているが、切削速度 100m/min の場合は、切削速度 50m/min の約半分の切削距離 1940m で切れ刃稜のチッピングの影響が見られ、摩耗も進んでいることがわかる。

なお、このチップでは実験中に写真5に示すように切り屑が長くなり、チャックや被削材に絡まることが時

々見られた。原因として、すくい面摩耗(クレータ)が大きくなったために、すくい角がポジティブ側に変化し、切削の剪断角が増し、それに伴って切り屑は長くなり、絡まったものと考えられる。

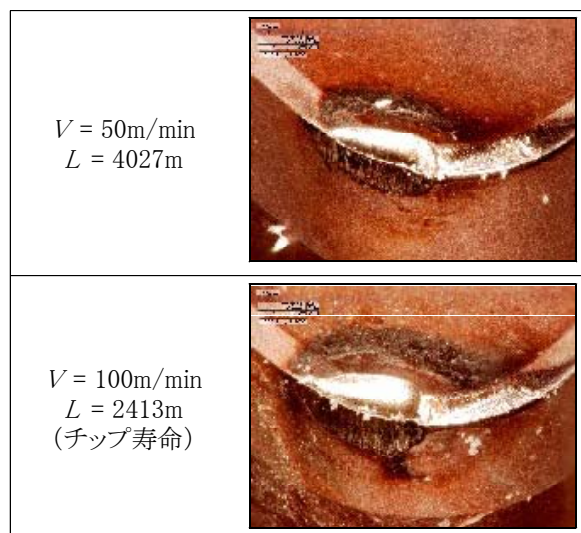


写真4 TiCNコートcBNチップの摩耗状態
($f = 0.1\text{mm}$, $a = 0.2\text{mm}$, Wet)

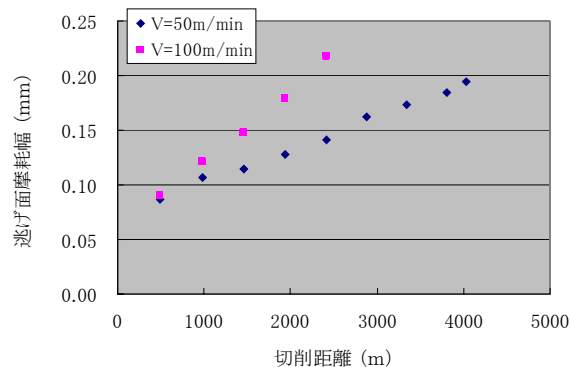


図5 TiCNコートcBNチップの逃げ面摩耗幅の推移
($f = 0.1\text{mm}$, $a = 0.2\text{mm}$, Wet)

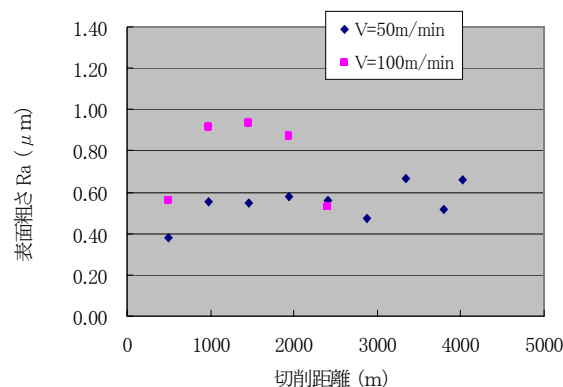


図6 TiCNコートcBNチップの表面粗さ R_a の推移
($f = 0.1\text{mm}$, $a = 0.2\text{mm}$, Wet)

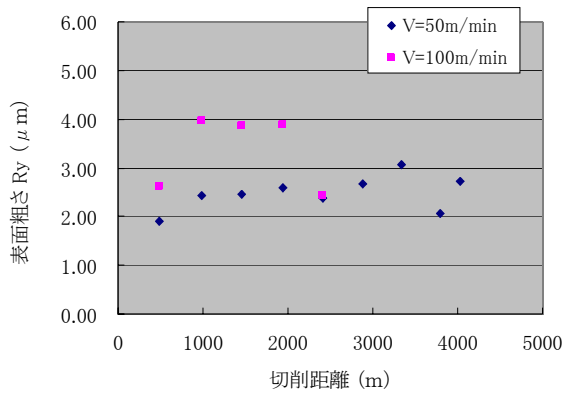


図7 TiCN コート cBN チップの表面粗さ Ry の推移
($f = 0.1\text{mm}$, $a = 0.2\text{mm}$, Wet)

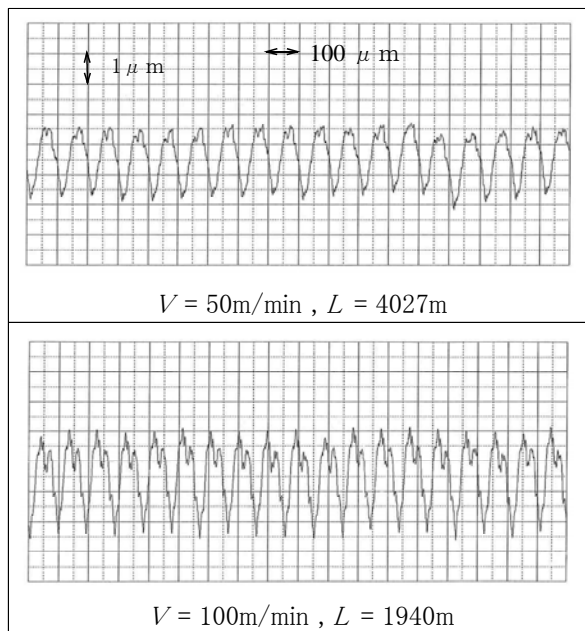


図8 TiCN コート cBN チップの粗さ曲線
($f = 0.1\text{mm}$, $a = 0.2\text{mm}$, Wet)



写真5 切り屑の絡まり

3.3 TiCN コート cBN チップ(ワイパー仕様)の場合

写真6にチップの摩耗状態、図9に切削距離に対する逃げ面摩耗幅の推移を示す。このチップの摩耗は、3.2のTiCN コート cBN チップの場合とほぼ同じであるが、特にワイパー部の直線刃にも逃げ面摩耗が生じており、ワイパー機能が働いていることがわかる。

なお、切削速度 100m/min の場合は、クレータ過大のため切削距離 2412m で工具寿命と判断した。

図10と図11に切削距離に対する仕上げ面の表面

粗さ Ra と Ry の推移を示す。3.2の図6と図7と比較すると、ワイパー機能により、仕上げ面の表面粗さはかなり良くなり、大きな効果が出ている。

図12と図13にワイパー機能の作用を見るため切削速度 50m/min, 100m/min の粗さ曲線の推移を示した。切削速度 50m/min の場合は、切削距離 1335m 付近までは、未だワイパー部の直線刃が作用せず、粗さ曲線は山形になっている。その後、ノーズ R 部分の逃げ面摩耗が進み、徐々にワイパー部の直線刃が接触し始め、切削距離 2624m 付近では粗さ曲線の山の上部が取り除かれていることがわかる。最終の切削距離 4071m 付近では、切れ刃稜のチッピング影響が見られる。切削速度 100m/min の場合は、切削速度 50m/min の場合ほどに明瞭にワイパー部の直線刃の作用状態は粗さ曲線に出ていないが、切削距離 1769m を超えた辺りからワイパー部の直線刃が接触し始め、切削距離 2199m 付近ではワイパー機能の効果が出ているものと推察される。

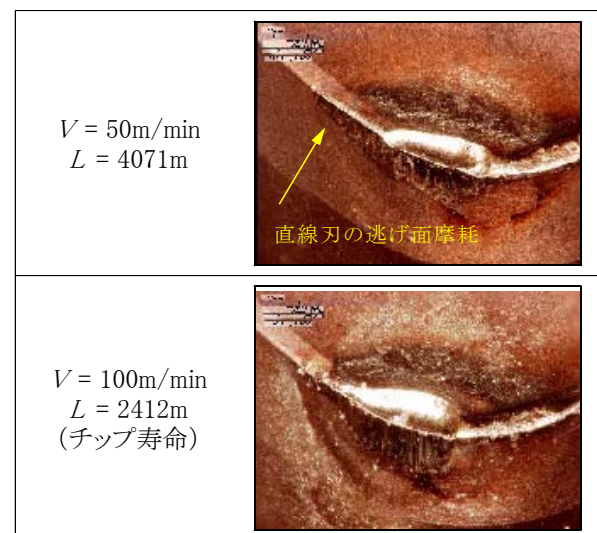


写真6 TiCN コート cBN チップ(ワイパー仕様)の摩耗状態 ($f = 0.1\text{mm}$, $a = 0.2\text{mm}$, Wet)

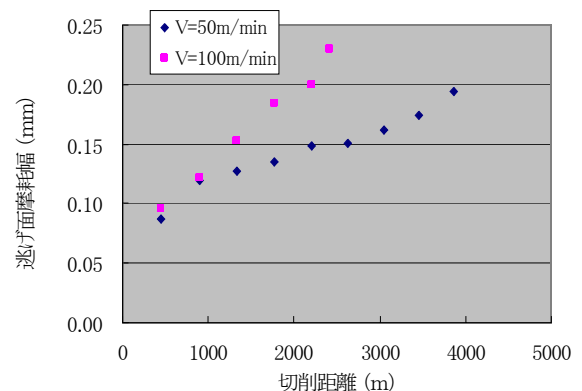


図9 TiCN コート cBN チップ(ワイパー仕様)の逃げ面摩耗幅の推移 ($f = 0.1\text{mm/rev}$, $a = 0.2\text{mm}$, Wet)

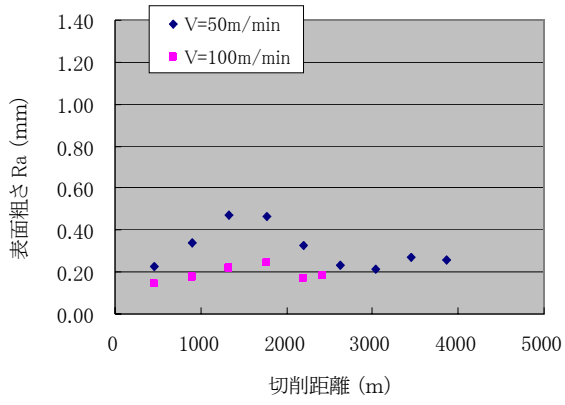


図10 TiCN コート cBN チップ°(ワイパー仕様)の表面粗さ Ra の推移($f = 0.1\text{mm/rev}$, $a = 0.2\text{mm}$,Wet)

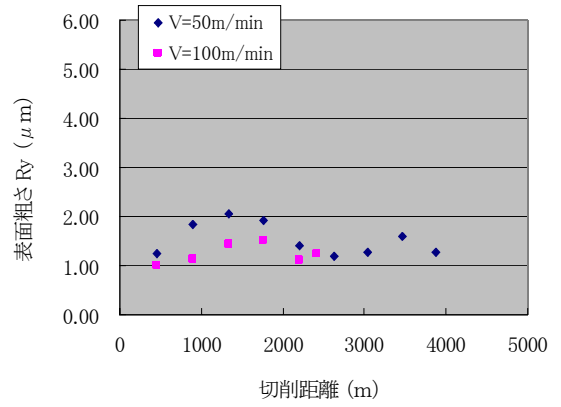


図11 TiCN コート cBN チップ°(ワイパー仕様)の表面粗さ Ry の推移($f = 0.1\text{mm/rev}$, $a = 0.2\text{mm}$,Wet)

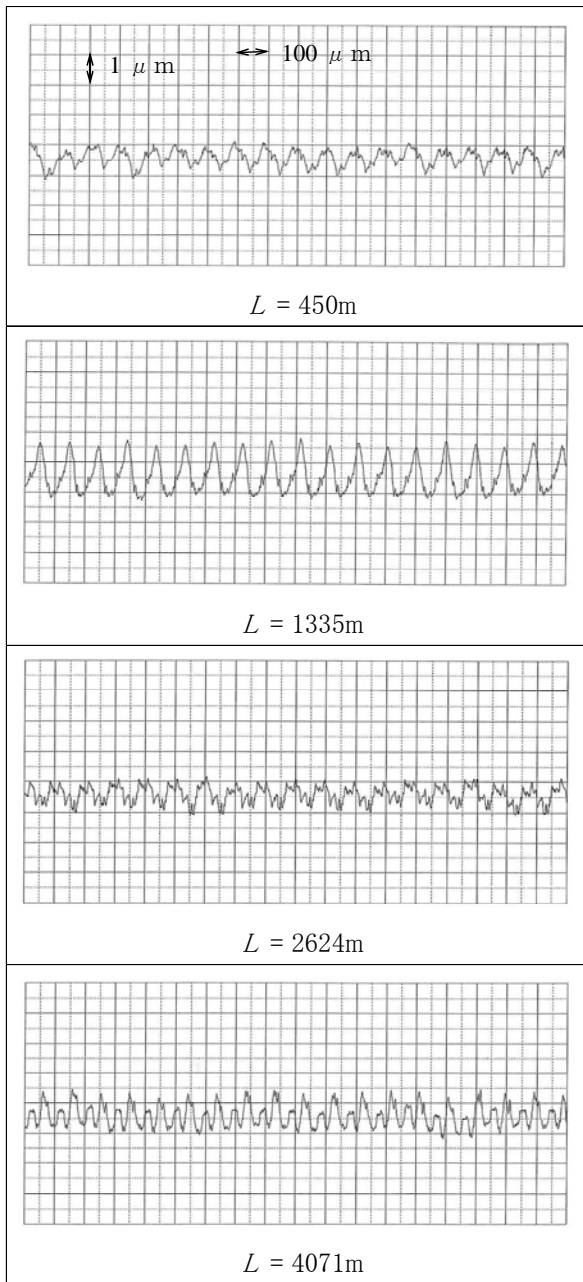


図12 TiCN コート cBN チップ°(ワイパー仕様)の粗さ曲線 ($V = 50\text{m/min}$, $f = 0.1\text{mm/rev}$, $a = 0.2\text{mm}$, Wet)

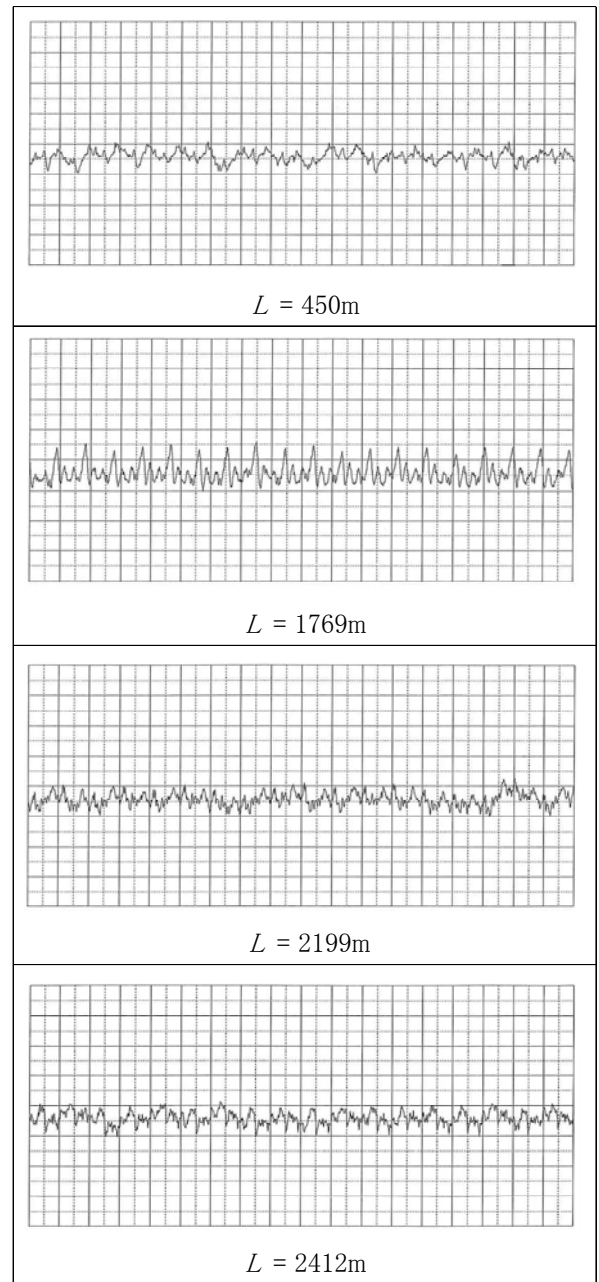


図13 TiCN コート cBN チップ°(ワイパー仕様)の粗さ曲線 ($V = 100\text{m/min}$, $f = 0.1\text{mm/rev}$, $a = 0.2\text{mm}$, Wet)

3. 4 TiN コートセラミックチップ、TiCN コート cBN チップ、TiCN コート cBN チップ(ワイパー仕様)の比較

チップ摩耗と仕上げ面が比較的良好であった切削速度 50m/min の各チップの逃げ面摩耗と仕上げ面の表面粗さについて比較を行った。

写真7に、切削距離 4027m 付近まで切削したときの各チップの逃げ面摩耗の状態を示す。この写真から TiN コートセラミックチップの逃げ面に比べて TiCN コート cBN チップ(ワイパー仕様含む)の逃げ面は、縦筋の入った荒れた表面となっていることがわかる。

また、3. 2と3. 3の実験結果から TiCN コート cBN チップ(ワイパー仕様含む)は、すくい面摩耗(クレータ)も大きいことから、チップ材種としては TiN コートセラミックの方が適しているものと考えられる。

図14に、切削距離に対する各チップの逃げ面摩耗

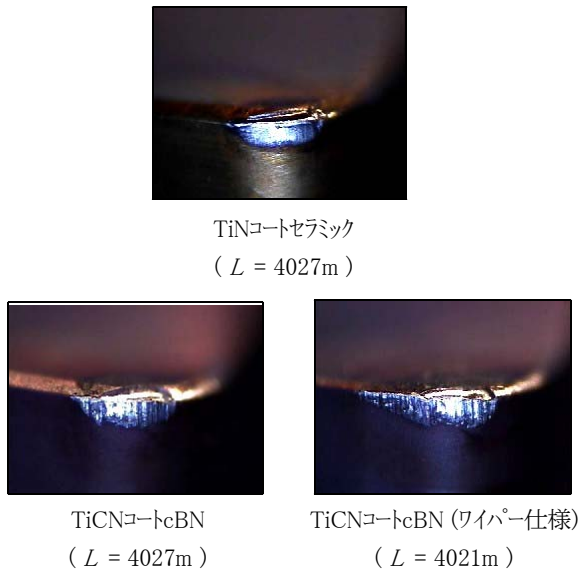


写真7 各チップの逃げ面摩耗の状態
($V = 50\text{m/min}$, $f = 0.1\text{mm}$, $a = 0.2\text{mm}$, Wet)

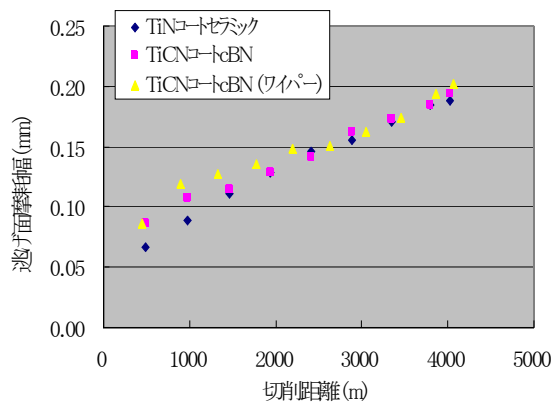


図14 各チップの逃げ面摩耗幅の推移
($V = 50\text{m/min}$, $f = 0.1\text{mm}$, $a = 0.2\text{mm}$, Wet)

幅を示した。この図から TiCN コート cBN チップ(ワイパー仕様含む)は、切削距離 2500m 付近までは、TiN コートセラミックチップよりも少し大きいのが、全体としては、ほぼ同じと考えられる。

図15と図16に、切削距離に対する仕上げ面の表面粗さの推移を示した。この図から切削距離 2000m 付近までは、TiN コートセラミックチップの方が良いが、後は TiCN コート cBN チップのワイパー仕様が良いことがわかる。また、TiN コートセラミックチップ(ワイパーなし)と TiCN コート cBN チップの比較では、全体的に TiN コートセラミックチップの方が良い結果である。

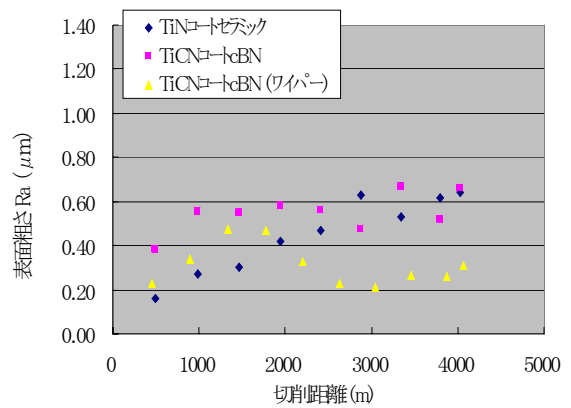


図15 各チップの表面粗さ Ra の推移
($V = 50\text{m/min}$, $f = 0.1\text{mm}$, $a = 0.2\text{mm}$, Wet)

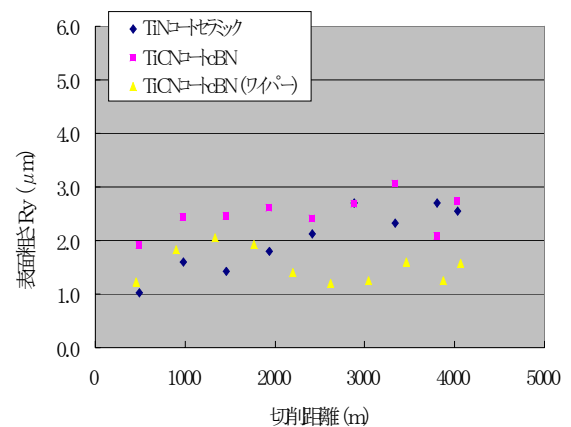


図16 各チップの表面粗さ Ry の推移
($V = 50\text{m/min}$, $f = 0.1\text{mm}$, $a = 0.2\text{mm}$, Wet)

4. まとめ

熱処理した冷間金型材 SKD11(62.5HRC)を TiN コートセラミックチップと TiCN コート cBN チップ、及び TiCN コート cBN チップ(ワイパー仕様)を用いて仕上げ旋削(丸削り)を行い、チップ摩耗と仕上げ面の表

面粗さについて考察したところ、次のことがわかった。

- (1) TiN コートセラミックチップは、TiCN コート cBN チップよりもすくい面摩耗(クレータ)は少なく、適する。
- (2) TiN コートセラミックチップと TiCN コート cBN チップ(ワイパー仕様除く)の適正な切削速度は、仕上げ面の表面粗さから 50m/min 付近と考えられる。
- (3) TiCN コート cBN ワイパーチップの仕上げ面粗さの向上を確認した。

今後の課題として、コートセラミックチップのワイパー仕様についても、実験する必要がある。

6. 謝辞

最後に、デジタルマイクロスコープの取扱いについてご指導いただきました京都府中小企業技術センター中丹技術支援室の谷川氏に、深く感謝いたします。

7. 参考文献等

- 1) 狩野勝吉: 難削材・新素材の切削加工ハンドブック 工業調査会
- 2) 旋削工具のすべて (株)大河出版
- 3) 京セラ(株): 京セラ切削工具 2007
- 4) 住友電工ハードメタル(株): イゲタロイ切削工具 総合カタログ 2005 ~ 2006