

論文

高硬度材の高速加工技術

横沢 毅* 西岡孝夫* 広田哲也** 鈴木節男***

The technology for cutting hardened steel at high speed

Tsuyoshi YOKOSAWA, Takao NISHIOKA, Tetsuya HIROTA and Setsuo SUZUKI

Abstract To carry out high speed cutting of hardened steel whose hardness is HRC60, the hardened steel was turned by each kind of tool at high cutting speed of 400m/min and, the kind of tool and cutting condition which is suitable to high speed cutting were investigated from the tool abrasion condition. TiN coated tool with a ceramic base was the most suitable to the cutting of hardened steel of HRC60 at high speed of 400m/min.

Keywords Hardened steel, High speed cutting, TiN coated tool

1. はじめに

高硬度材の加工は、砥石を用いた研削加工が主体であるが、仕上げ面粗さや寸法精度が優れている反面、加工時間が長く、能率やコストの面で問題となる。そこで、旋盤による切削加工が可能になれば生産効率の著しい向上が期待できる。しかし、通常は、工具寿命の観点から、HRC50程度の鋼材の旋削加工が生産性の限界とされている。

本研究においては、切削速度40m/min ~ 400m/min の速度領域で、高速度工具鋼に焼入れ焼戻しを施した60 HRC を越える高硬度材を切削し、その時の工具の摩耗状態を調べ、高速領域で旋削するための最適な工具材種、及び切削条件の検証を行った。

2. 実験方法

2.1 工具材種及び形状

切削加工を行う場合、工具の硬さは、通常、被削材の2~3倍必要である。従って、一般的に高硬度材の硬さが800Hvであることから、本実験では、セラミック母材(Al_2O_3)にそれぞれ TiN, TiCN, TiN + TiAlN, をコーティングした工具, 超硬(K10)母材に TiAlN をコーティングした工具, 及び CBN 工具の5種類の工具を用いた。

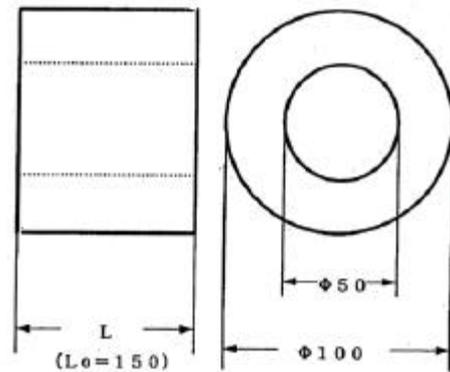


図1 被削材形状

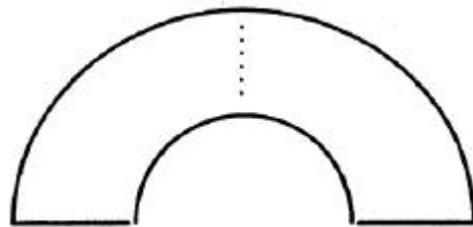


図2 被削材の硬さ試験の位置

2.2 被削材種

本実験に用いた被削材は、高速度工具鋼(SKH51)に焼入れ、焼戻しを施したものである。

通常、被削材の焼入れは、径が大きくなるほど冷却速度が異なるので内部の硬さが低下する。このため、図1に示すように外径100mm内径50mmの中空円筒を用い、硬度が一定になるように考慮した。

直径方向の位置の違いによる、硬さのばらつきを調べるために、図2に示すように直径方向の6点をロックウ

*精密加工グループ

**精密加工グループ(現技術評価室)

***城東地域中小企業振興センター

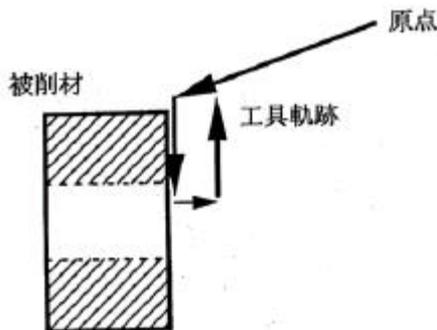


図3 工具軌跡

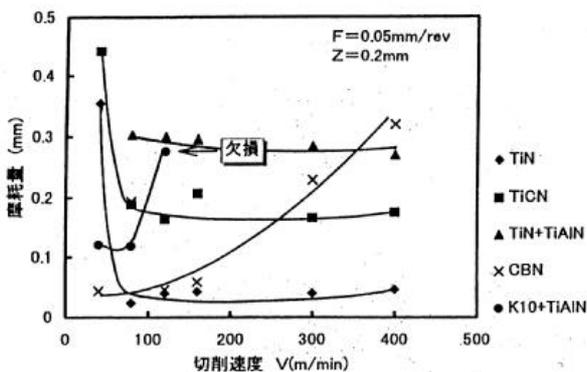


図4 各工具の切削速度と工具摩耗の関係

エル硬さ試験機によって測定した。その結果、直径方向の位置の違いによる硬さのばらつきは認められず、6点の平均値は61HRCであった。

2.3 工具摩耗試験方法

被削材の切削には、NC 旋盤を用いた。切削方法は、図3に示すような工具軌跡で端面切削を行った。この時、周速を一定にした。

また工具摩耗の測定は、所定回数端面切削した後に、工具顕微鏡によって逃げ面の摩耗幅を測定することによって行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 工具材種別の切削速度に対する工具摩耗特性

図4は、各工具の切削速度と工具摩耗量の関係を示したものである。なお、各切削速度で端面切削を2パス行い、それを4回繰り返した時の工具の逃げ面摩耗幅の平均値を摩耗量とした。また、図5に切削速度40m/min ~ 400m/min において2パス端面切削した時の各工具の逃げ面摩耗を示す。

セラミック母材に TiN コ - ティングを施した工具は、切削速度80m/min 以降摩耗量は変化せずその値は0.05mm であった。また、摩耗の状態も定常摩耗を示した。切削速度100m/min から400m/min の高速領域においては、切り粉が赤く燃えているのが観察され、更に

セラミックス+ TiN	セラミックス+ TiCN	セラミックス+ TiN+ TiAlN	CBN	超硬+ TiAlN
40m/min	40m/min	40m/min	40m/min	40m/min
80m/min	80m/min	80m/min	80m/min	80m/min
120m/min	120m/min	120m/min	120m/min	120m/min
160m/min	160m/min	160m/min	160m/min	160m/min
				欠損
300m/min	300m/min	300m/min	300m/min	300m/min
				欠損
400m/min	400m/min	400m/min	400m/min	400m/min

図5 切削速度の変化による各工具の逃げ面摩耗量

切削直後の加工面を手で触れることができたことから、高速領域において、切削熱がほとんど切り粉側に持ち去られ、加工物や工具への流入が少なかったために、摩耗の進行が遅かったと考えられる。

セラミック母材に TiCN コ - ティングを施した工具は、切削速度が80m/min 以降は摩耗量の変化がほとんどなく、その値は0.2mm 前後で推移した。これは、切削熱のほとんどが切り粉側に逃げたために、加工物や工具の温度がほとんど上昇せずに、摩耗が進行しなかったと考えられる1)。

CBN 工具は、切削速度40m/min ~ 160m/min における摩耗量は、0.05mm とほとんど変化を示さなかったが、切削速度が300m/min 以上になると急激に増加した。

セラミック母材に TiN と TiAlN の多層コ - ティングを施した工具は、切削速度が40m/min の時に、コ - ティングの一部が剥離した。切削速度を、80m/min から400m/min と上げ切削を行った際にも剥離を生じている。それぞれの切削速度における摩耗量が0.3mm とほとんど変化しなかったのは、一層目の TiAlN が剥離した後に、二層目の TiN で被削材を切削していたと考えられる。

表1 工具摩耗の評価の凡例

評価記号	逃げ面摩耗幅	損傷状態
	0.02mm 以下	定常摩耗
	0.02~0.1mm	定常摩耗
	0.1~0.15mm	定常摩耗
	0.2mm 以上	サマルウェア
x	欠損	欠損

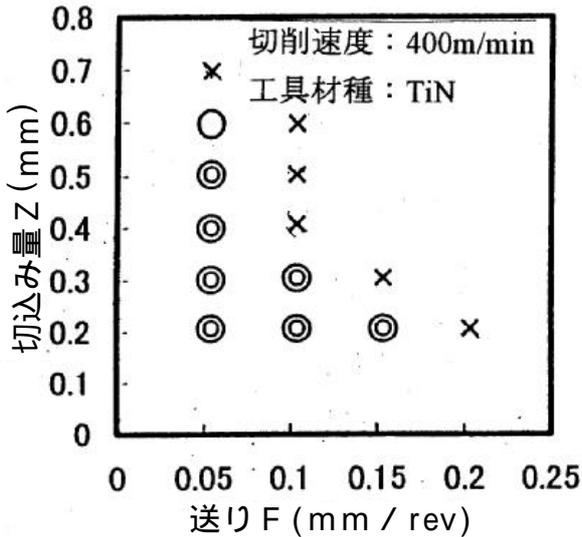


図6 送り量・切込み量の変化と工具摩耗の状態評価

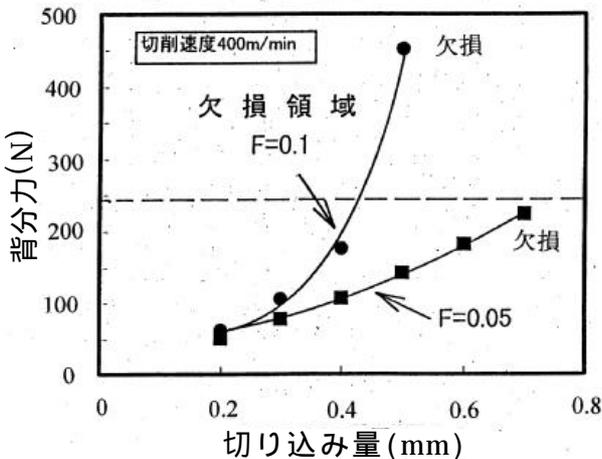


図7 送り量の違いによる切込み量と背分力の関係

超硬母材にコ-ティングを施した工具は、切削速度が120m/minの時に、母材の超硬に熱が原因と考えられる摩耗が発生し、それ以上の切削速度で切削することが不可能となった。

以上の結果から、低速領域(V=40~120m/min)では、CBN 工具やセラミックを母材とする TiCN コ-ティング工具が有効であり、高速領域(V=160~400m/min)では、セラミックを母材とする TiN コ-ティング工具が有効であることがわかった。

3.2 高速加工領域における切込み量と送り量

図6は、切削速度を400m/minにし、送り量と切込み量を変化させた時の工具摩耗の状態を評価したものである。表1に評価の凡例を示す。

用いた工具は、高硬度材の高速切削に最も適していたセラミック母材に TiN コ-ティングを施した工具である。なお、この時の摩耗量は、端面切削を2パス行ったときの工具の逃げ面摩耗幅である。

送り速度が0.05mm/revの時には、切込み量が0.6mmになるまで定常摩耗であり0.7mmの時初めて欠損を起こした。また、送り速度が0.2mm/revの時には、切込み量0.2mmで欠損を起こした。

このように送り量が一定である時、切込み量がある値を超えると、突然欠損することが分かった。欠損の原因として、工具と被削材との間に発生する抵抗力が起因していると考えられる。切削速度400m/minにおいて、送り、切込み量を変化させ AST 式工具動力計(型式:AST-BM 7021)を用いて切削時に発生する抵抗力を測定した。なお、切削抵抗は、背分力についてのみ考える。

図7は、切削速度を400m/minと一定にし、送り量を0.1mm/rev, 0.05mm/revにした時の切込み量と背分力の関係を示したものである。

送り量が0.1mm/revにおいては、切込み量が約0.4mmの時、また送り量が0.05mm/revにおいては、切込み量が約0.7mmの時、欠損を生じた。

3.3 ノ-ズ半径と工具寿命

TiN コ-ティング工具(セラミック母材)のノ-ズ半径と耐摩耗性の関係を調べた。切削条件は、切削速度400m/min, 送り量0.05mm/rev, 切込み量0.4mmで一定とした。ノ-ズ半径は、R=0.8, 1.2, 1.6mmの3種類である。図8にノ-ズ半径の違いによる切削時間と摩耗量の関係を示す。

切削時間が約3分までは、どのノ-ズ半径の工具の摩耗量もほぼ等しかったが、3分を越えると各ノ-ズ半径で摩耗量の違いが現れてくる。ノ-ズ半径0.8mmの工具は、切削時間3.5分付近で急激に摩耗量が増加し、それ以降も定常摩耗を続け、9分を過ぎると摩耗量が0.2mmを越えた。ノ-ズ半径1.6mmの工具も3分を越えると急激に摩耗量が増加し、8分で欠損が生じた。ノ-ズ半径1.2mmの工具は11分以降摩耗量は0.15mmとほぼ一定で、ノ-ズ半径1.6mmの工具の約2倍、ノ-ズ半径0.8mmの工具の約1.5倍の寿命であった。

3.4 表面性状

図9に TiN コ-ティング工具で、高硬度材を送り量0.05mm/rev, 切込み量0.4mm, 切削速度80m/min, 160m/min, 300m/min, 400m/minで端面切削したときの粗さを示す。

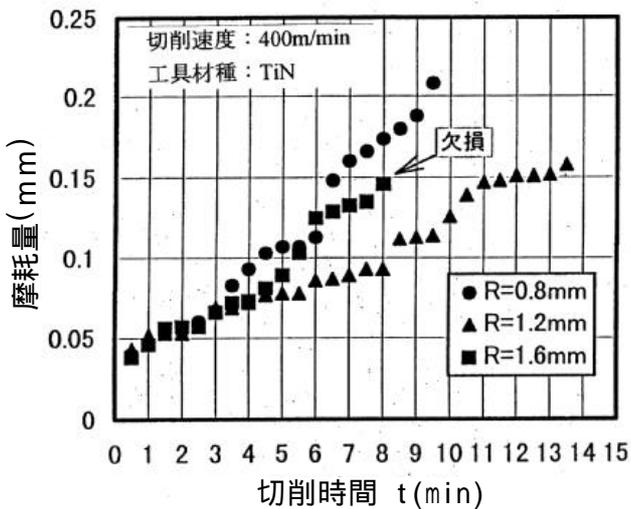


図8 ノーズ半径の違いによる切削時間と摩耗量の関係

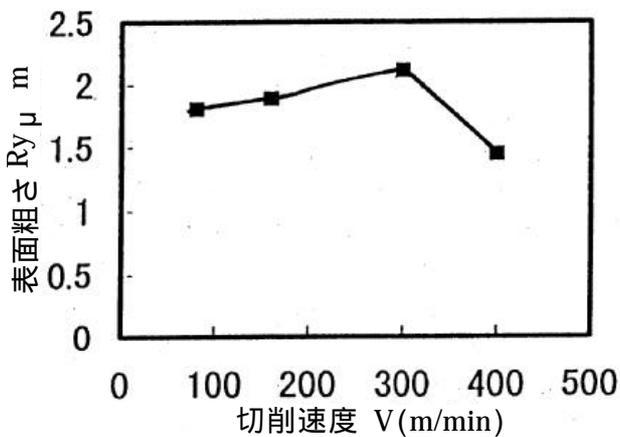


図9 切削速度と加工表面粗さの関係

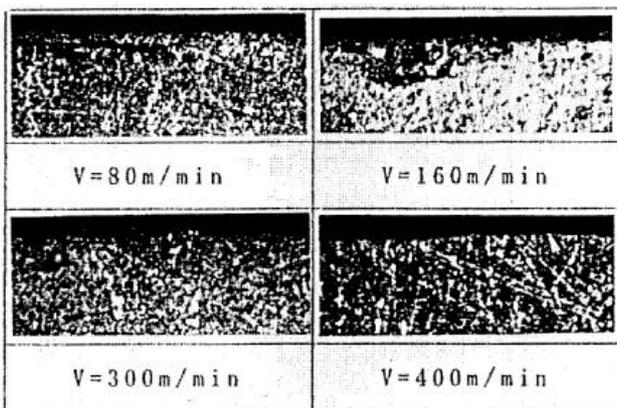


図10 加工表面性状

切削速度80m/min から300m/min の間では粗さの変化はほとんど認められないが、400m/min で粗さは減少する。従って、低速領域で切削するよりも高速領域で切削した方が良好な面性状が得られる。

また、図10に、加工表面の状態を金属顕微鏡で観察し

たものを示す。切削速度80m/min, 160m/min で切削した時の加工表面にはバリが認められるが、300m/min, 400m/min で切削した時の加工表面にはバリが認められず、また、加工表面に炭化物の粗大化や組織の流動化は認められず、高速領域における、加工表面への熱影響はほとんど認められなかった。

4.まとめ

切削速度400m/min で61HRC の高硬度材の切削加工を実現させる目的で、工具、切削条件の検討を行い、以下の結果を得た。

- (1) 61HRC の高硬度材を切削速度400m/min で切削加工するためには、 Al_2O_3 を母材とする TiN コーティング工具が最も適している。
- (2) 工具寿命を摩耗量が0.2mm に達するまでの時間とすると、TiN コーティング工具のノーズ半径の違いにより工具寿命が異なり、 $R=1.2mm$ の工具の寿命が最も長く、 $R=1.6mm$ の約2倍、 $R=0.8mm$ の約1.5倍の寿命であった。
- (3) TiN コーティング工具を用いて加工を行った場合、切削速度40m/min においては摩耗の進行が顕著であったが、80m/min ~ 400m/min の切削領域においては摩耗量の変化も小さく、また摩耗量も0.1mm 以下と小さい値であった。

参考文献

- 1) 新谷一博：切削工具セラミックスの摩耗特性，社団法人日本塑性加工学会プロセスライポロジ - 分科会，第3回，1997

(原稿受付 平成11年8月9日)