

cBN 工具による高硬度浸炭材の断続切削に関する基礎的研究*

工具材種・切削条件の工具摩耗・仕上げ面粗さに及ぼす影響

鈴木 俊 男**
大 穂 敦 良**
有 浦 泰 常***
梅 崎 洋 二****

The Basic Study on Intermittent Cutting of Case-Hardened Steel with cBN Tools

The Effect of Tool Materials and Cutting Conditions on Tool Wear and Surface Roughness

Toshio SUZUKI, Atsuyoshi OHO, Yasutsune ARIURA and Yoji UMEZAKI

The latest cubic boron nitride (cBN) has been improved in toughness and hardness for the cutting tool materials. The cutting is more effective process than grinding process in productivity. Especially as the cutting with cBN tools is able to cut hard steel at high speed, this process has the ability to take the place of the grinding. The purpose of this paper is to clarify the properties such as surface roughness and tool wear, etc. in the intermittent cutting of case-hardened steels with face milling and hobbing, etc. with cBN tools. As the result of face milling tests, (1) finished surface roughness with cBN tools is not less superior to that of grindings and (2) the wear of cBN tools is small and the chipping does not occur at the cutting speed of 100 m/min.

Key Words: Cutting, Tool Wear, Surface Roughness, Milling, cBN Tool

1. 緒 言

機械の小形・軽量化を追求し、さらに高負荷能力を持たせるためには構成する機械部品を硬くし表面などを高品質に仕上げるなどの精密仕上げ加工が要

求されている。現在は浸炭などの表面焼入れされた材料が多用されており、研削加工による仕上げが一般的である。しかし、研削加工は段取り換え、研削液の処理の問題、また加工能率向上のために切削加工に置き換えることが検討されてきている。最近、cBN が切削工具として改良が進み、高硬度材の切削に適用されるようになってきている。そこで、研削加工を切削加工に置き換えることを目的に、特にホブ切りやフライス削りなどの断続切削における浸

* 平成20年 6 月30日受付

** 機械工学科

*** 九州大学大学院工学府ものづくり工学教育研究センター

**** 九州大学大学院工学研究院知能機械システム部門

炭材の切削可能性を検討するために cBN 工具を用い、フライス加工を行い摩耗特性について調べた。さらに製品の性能に影響が大きい表面性状に関しては仕上げ面粗さについて詳細に調べた。

2. 実験方法

実験は縦型のマシニングセンタを用いた。実験の様子を図1の写真に示す。工具はスローアウェイ方式の正面フライスを使用し、工具の特性が分かりやすいように1枚の切れ刃のみを取り付けた。正面フライスの直径は100mm、半径方向すくい角 -7° 、軸方向すくい角 -6° 、切れ刃角 75° である。切れ刃はコーナ半径0.8mm、面取り角 20° で幅0.1mm (cBN100)と0.2mm(cBN300)のチャンファーがとってある。工具材種は cBN300と cBN100(セコ・ツールズ製)の2種類を用い、その特性を表1に示す。被削材は SCM420浸炭材で表面のロックウェル硬さは HRC54~60の範囲である。局所的な硬さはマイクロピッカース硬さで HV650~800である。被削材は幅68mm 長さ100mmの直方体の上面の平面切削を行った。図2に工具と被削材の位置関係を示す。工具は被削材の中心を通り、完全にすべての工具が通過するまで送りを与えた。被削材の表面から深さ方向のマイクロピッカース硬さの分布を図3に示す。1.9mmの深さまで HV650以上であることが分かる。切削条件は、切削速度 $V=100, 200, 400$ m/min で乾式切削とし、仕上げ切削を目的にしているので軸方向切込み $a=0.1$ mm, 1刃あたりの送り $s=0.1$ mm/t とした。1回の切削で約70mの切削距離になる。送

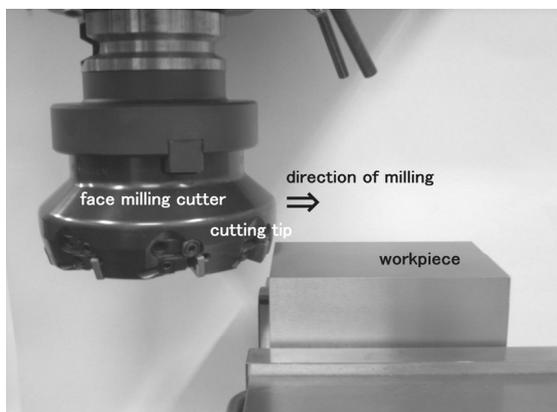


Fig.1 Photograph of face milling cutter and workpiece in machining center

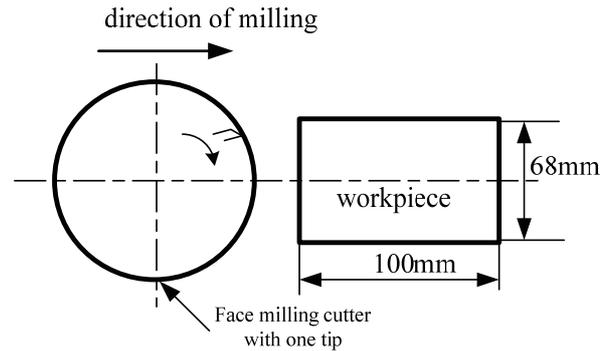


Fig.2 Relative positions of milling cutter and workpiece

Table.1 The composition and properties of cBN tool

	cBN content	grain size	binder	Thermal conductivity	Fracture toughness
	%	μm	-	$\text{Wm}^{-1}\text{k}^{-1}$	$\text{MPam}^{1/2}$
cBN100	50	2	TiC ceramics	44	4.04
cBN300	90	22	Al ceramics	130	6.4

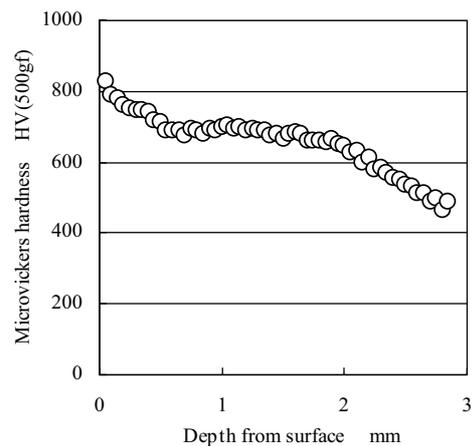


Fig.3 Distribution of hardness in workpiece

りの影響をみるために $s=0.2$ mm/t の実験も行った。測定は正面フライスが1面を切削するごとに切れ刃の逃げ面摩耗幅、仕上げ面粗さを測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 工具摩耗について

図4に切削速度 $V=100$ m/min で送り0.1mm/t、切込み0.1mmの場合の工具 cBN100と cBN300 (図中では cBN100は白印、cBN300は黒印で表示している)について、切削距離と工具摩耗の関係を示している。実験は同じ条件でそれぞれの工具について3回行った。ハイフンの後の1~3の数字で同じ条件での実

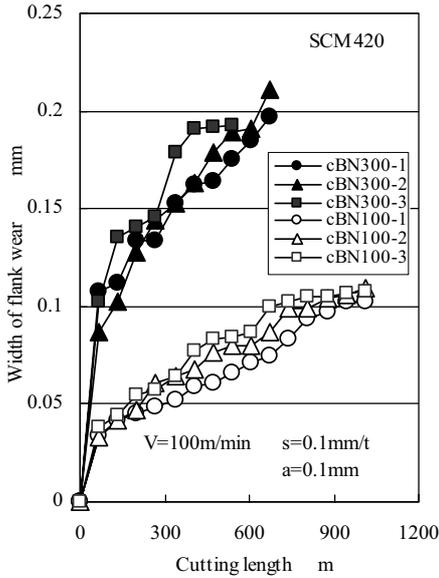


Fig.4 Relationship between flank wear and cutting length (V=100m/min)

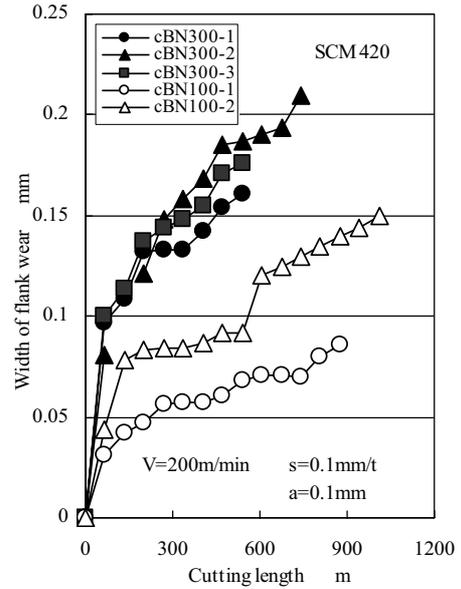


Fig.5 Relationship between flank wear and cutting length (V=200m/min)

験を区別した。切削長さは被削材上面の面積を1刃あたりの送りで割った値で示している。3回の実験で両工具とも大体同じ程度の摩耗で、特にcBN100はcBN300に比較して摩耗が少なく、安定した切削であるといえる。

図5に切削速度200m/minで送り0.1mm/t、切込み0.1mmの場合の工具cBN100とcBN300について、切削距離と工具摩耗の関係を示している。同一条件でcBN300は実験を3回行いcBN100は2回行った。cBN300は3回とも同じ程度の摩耗であった。cBN100の1回目は切削速度V=100m/minの場合と同じ程度の摩耗で安定していたが、2回目は摩耗が大きくなった。この結果からcBN300と比較するとcBN100の方が摩耗は小さいが安定性にかける結果となった。

図6に切削速度400m/minで送り0.1mm/t、切込み0.1mmの場合の工具cBN100とcBN300について、切削距離と工具摩耗の関係を示している。

cBN300は3回実験を行い、cBN100は途中で大きな欠けを生じた(この条件は切れ刃への負担が大きすぎると考えられる)ので、1回のみで実験を終了した。cBN300は3回とも同じ程度の摩耗であり、cBN100は切削距離600mまでは漸進的な摩耗でcBN300と比較して摩耗が小さかったが、670mで突然大きな欠けを生じた。切削速度400m/minの場合

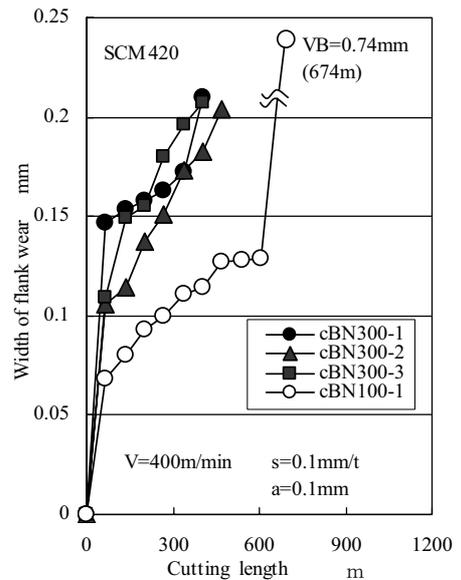


Fig.6 Relationship between flank wear and cutting length (V=400m/min)

には、切削速度100, 200m/minに比較してcBN100とcBN300の両工具とも摩耗が大きく、特にcBN100の場合は大きな欠けを生じ、高速度域では切削困難であった。しかし切削速度400m/minまでの定常摩耗領域では、cBN100の耐摩耗性は大きい。

次に送り速度の影響をみるためにcBN100を用いて、切削速度100, 200m/minで、切込み0.1mm、送り0.2mm/tの場合について切削試験を行い、切削距離と工具摩耗の関係を図7に示す。図中の黒印が切

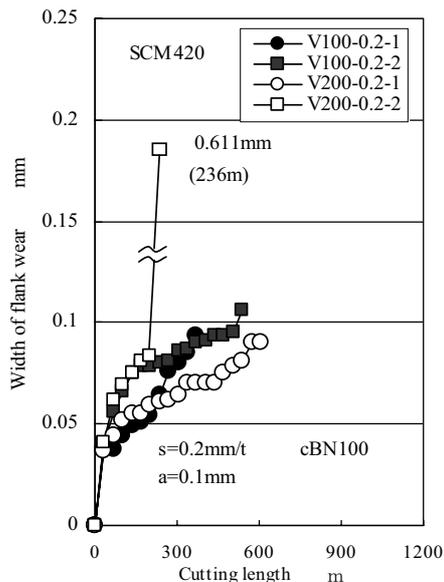


Fig.7 Relationship between flank wear and cutting length (s=0.2mm/t)

削速度100m/min の場合であり、白印が切削速度200m/min の場合を示す。最後の数字1、2が同じ条件の2回の実験を示す。切削速度100m/min の場合には2回の実験はほぼ同程度の摩耗になっているが、切削速度200m/min の場合は一方は漸進的な摩耗になっているが、他方は突然大きな欠けを生じた。以上の結果から切削速度200m/min、送り0.2mm/t では切削負担が大きく、切削力に対抗しうる刃先部の抗折力の不足が考えられる。

図8は切込み0.1mm送り0.1mm/tで切削速度(a)100m/min (b)200m/min (c)400m/minの場合の工具逃げ面摩耗とすくい面摩耗の様子を示す。wは逃げ面摩耗幅、lは切削距離を示している。切削速度100m/minと200m/minでは、cBN300に比較してcBN100は切削距離が長いにもかかわらず、逃げ面摩耗幅は小さく、特に100m/minでは耐摩耗性が非常に大きいことがわかる。しかし、切削速度が400m/minになると、cBN100は大きな破損を生じた。したがって、cBN100の工具では切削速度200m/min以上では表面硬化した浸炭材を切削するには適さない条件と考えられる。cBN300では、400m/minまでの実験範囲ではcBN100と比べて切削速度の摩耗への影響は少ないが、すべての実験条件でcBN100より定常摩耗が大きい。

以上の結果から切削速度100m/min程度であれば、

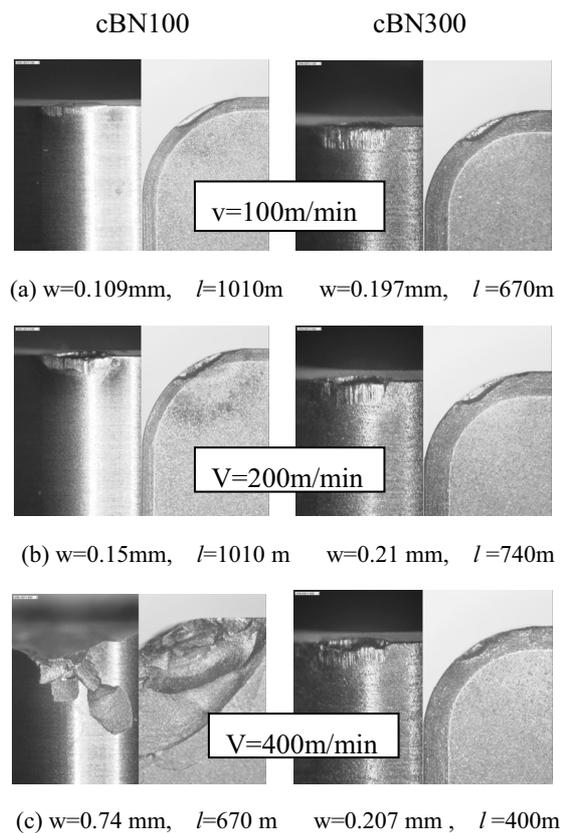


Fig.8 Photographs of flank and rake face

cBN100工具はcBN300に比較して摩耗が少なく、浸炭材に対しては適した工具材料だといえる。工具の組成を示す表1によるとcBN100はcBNの粒子の割合が50% (cBN300では90%)であり、このことは硬い材料の旋削において、いわゆるハードターニングでcBNの割合が少ないほうの工具摩耗が少ないという報告と一致する⁽¹⁾。cBN100は粒径2μmと小さく、靱性が向上していること、熱伝導率はcBN300に比較して約1/3であり、cBN100の場合は熱が伝わりにくいため、刃先切削温度が上がり被削材が軟化し、加工性があがったことも考えられる。しかし、cBN100の切削速度400m/minで欠けが生じた理由は、cBN300に比較して破壊靱性値が小さいためと考えられる。

3.2 仕上げ面粗さについて

図9に切削速度V=100m/minで送り0.1mm/t、切込み0.1mmの場合のcBN100とcBN300について、切削距離と最大高さ粗さRzの関係を示している。なお、図9の実験での理論粗さは約1.6μmである。cBN100は4回、cBN300は3回実験を行い、平均値

を丸印で、最大最小値を平均値の上下に示している。

cBN100では平均値は1.5~1.9 μm の範囲で安定した表面粗さになっており、ばらつきを考慮しても、1.0~2.4 μm の範囲に入っている。cBN300の場合は、平均値が2.0~2.9 μm と大きくなっており、切削距離が長くなるにつれて、表面粗さが悪くなる傾向にある。

図10に切削速度 $V=200\text{m/min}$ で送り0.1mm/t、切込み0.1mmの場合の切削距離と最大高さ粗さ R_z の関係を示している。cBN100について2回の実験を行った。粗さの平均値は1.6~3.5 μm の範囲であるが、切削距離210mにおいて何らかの傷と思われる5.4 μm の粗さが現れた。cBN100の刃先に小さなチップングが観察されたが、20~30 μm 程度のチップングでは粗さに大きく影響しない場合もあり、また切りくずや溶着物の挙動などが明確でないためはっきりした原因は特定できていない。一方、cBN300については3回実験を行い、粗さの平均値は1.7~2.8 μm の範囲に入った。最大最小値範囲においても1.4~2.8 μm であり、cBN300のほうがcBN100より滑らかな面に仕上げている。

図11に切削速度 $V=400\text{m/min}$ で送り0.1mm/t、切込み0.1mmの場合の切削距離と最大高さ粗さ R_z の関係を示している。cBN100は1回の実験の結果であるが、切削はじめから終わりまでの粗さは1.0~2.0 μm の範囲に入っている。cBN300は3回の実験で、平均値は1.8~2.9 μm の範囲であり、最大最小

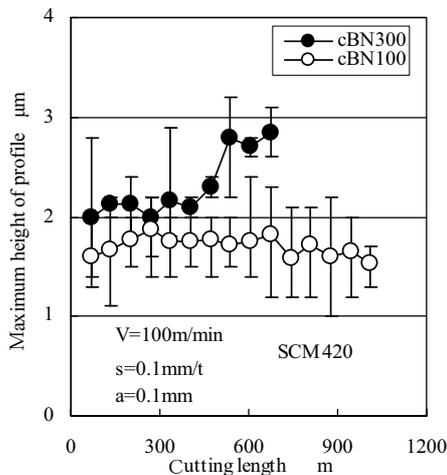


Fig.9 Relationship between surface roughness and cutting length ($V=100\text{m/min}$)

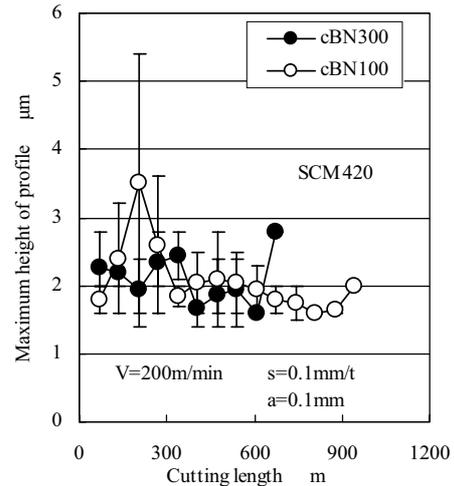


Fig.10 Relationship between surface roughness and cutting length ($V=200\text{m/min}$)

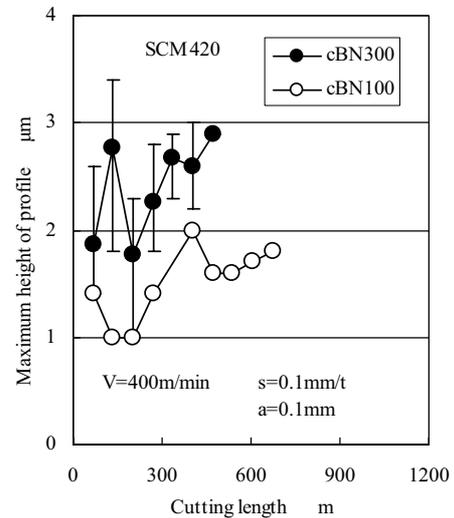


Fig.11 Relationship between surface roughness and cutting length ($V=400\text{m/min}$)

値範囲においては1.0~3.4 μm とばらつきも大きくなり、cBN100の方が小さい粗さになっている。cBN100の摩耗の少ないことが小さい粗さに寄与していると考えられる。

図12はcBN100の送り0.2mm/t、切込み0.1mmで切削速度 $V=100,200\text{m/min}$ の場合における切削距離と最大高さ粗さ R_z の関係を示している。当実験条件における理論粗さは約6.4 μm である。それぞれ2回実験を行い、平均値と最大最小の値を示している。切削速度100m/minと200m/minでは、同程度の粗さが得られている。送りが大きいと理論粗さが大きくなり、送り0.1mm/tと比較すると大きな

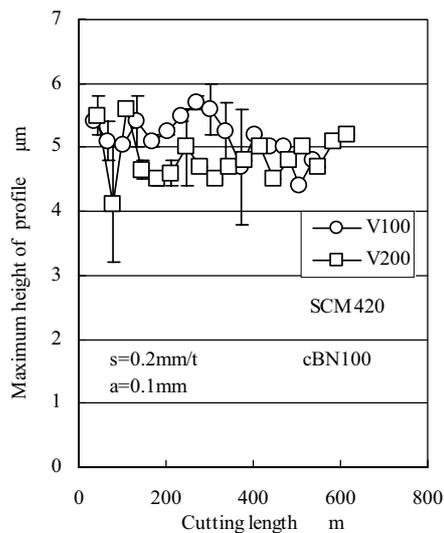


Fig.12 Relationship between surface roughness and cutting length (s=0.2mm/t)

粗さになっている。

仕上げ面粗さの観点から、浸炭された硬い材料に対しては cBN100 が工具材種としては適しており、切込み 0.1mm、送り 0.1mm/t 程度で切削速度 100m/min 前後で加工を行えば、摩耗進展が遅く、最大高さ粗さ Rz で 2 μm 程度の値が得られるので研削加工に近い仕上がりでかつ高能率な加工が可能であることが判明した。

4. 結言

cBN300 と cBN100 の 2 種類の工具を用いて、断続

切削における高硬度の浸炭材の仕上げ切削の可能性について正面フライス加工を行って調べた。切込み 0.1mm で送り速度 0.1mm/t を中心に切削速度 100, 200, 400m/min の 3 種類について調べた結果、cBN300 より cBN100 のほうが工具摩耗は小さく耐摩耗性は優れていた。cBN100 の工具は、特に切削速度 100m/min の場合は安定した漸進的な摩耗で再現性もあったが、200m/min の場合は、工具摩耗のばらつきが大きくなった。切削速度が 400m/min では工具摩耗が進行中に大きな欠けが生じたことから、切削速度 100m/min 前後に工具の摩耗が安定する領域があることが明らかになった。

仕上げ面粗さについては、cBN100 の切削速度 100m/min の場合が安定して滑らかな仕上げ面が得られており、cBN100 の耐摩耗性の良さが仕上げ面粗さの向上に寄与していると考えられる。

以上、工具摩耗と仕上げ面粗さの観点から総合すると、cBN100 を用いて切削速度 100m/min 送り 0.1mm/t 程度の切削が最適であることが明らかになった。

参 考 文 献

- (1) Y. Kevin Chou etc. "Experimental investigation on cubic boron nitride turning of hardened AISI 52100 steel", Journal of Materials processing Technology, 1-9