

## 研究論文

## Ti-6Al-4V 合金の高速ミリング加工における cBN 工具の摩耗

菅野祐介\*1、河田圭一\*2、児玉英也\*2

## Wear of cBN Tool in High Speed Milling of Ti-6Al-4V Alloy

Yusuke KANNO\*1, Keiichi KAWATA\*2 and Hideya KODAMA\*2

Industrial Research Center\*1\*2

cBN(cubic Boron Nitride)含有率の異なる cBN 工具によるチタン合金(Ti-6Al-4V)の高速ミリング加工を行い、刃先の工具摩耗・チップング状態などを観察した。その結果、cBN 含有率が高い cBN 工具のほうが cBN 含有率の低い cBN 工具より長寿命であった。また、刃先形状はチャンファのある工具よりシャープエッジの工具のほうがチップングは発生するが長い切削距離を加工することができた。

## 1. はじめに

チタン合金は熱伝導率が低いため、一般的に使用される超硬工具では、切削速度を高速にすると刃先温度が高温になり工具の強度が低下することによって急速に刃先の摩耗が進行する。よって、切削速度を遅くして加工せざるを得ず、切削効率の向上が求められている。

超硬合金より耐熱性の高い工具材料の一つに cBN がある。前報<sup>1)</sup>で cBN の中でも特に硬度・熱伝導率の高いバインダレス cBN 工具による Ti-6Al-4V 合金の高速ミリング加工について報告した。その中で、バインダレス cBN 工具を用いて給油方法を MQL(Minimum Quantity Lubrication)(切削油は合成エステル)にすると超硬工具より切削効率が向上できる可能性が示された。しかし、バインダレス cBN 工具は高価でコストが高いという課題がある。そこで工具コストも含めた切削効率向上のため、本研究ではバインダレス cBN 工具より工具単価の安い従来型の cBN 工具(バインダを含む cBN 工具)による Ti-6Al-4V 合金の高速ミリング加工を検討した。

## 2. 実験方法

## 2.1 加工条件

加工試験の様子を図 1 に示す。加工機は立形マシニングセンタ(YBM640V、安田工業(株)製)を使用した。工具は市販の cBN 工具(住友電工ハードメタル(株)製)を使用した。工具および加工条件を表に示す。まず cBN 含有率による違いを確認するため、BN7000 と BN2000LT で加工試験を行った。次に刃先形状による違いを確認するため、BN7000 と同じ材質で刃先形状の異なる BN7000LF と BN7000HS について加工試験を行

った。工具は、ボーリングバーを短く切断してコレットでチャックした工具ホルダ(図 2)に、旋削用のチップを取り付け回転させることによって、ミリング工具のように使用した。加工試験は最大逃げ面摩耗が 0.2mm になるか加工続行不可と判断するまで続けた。最大逃げ面摩耗はデジタルマイクロスコープで逃げ面を観察し、逃げ面摩耗が最大の箇所を測定した。ただし、切削距離 1757m で 0.2mm に達していないときはその時点で終了とした。

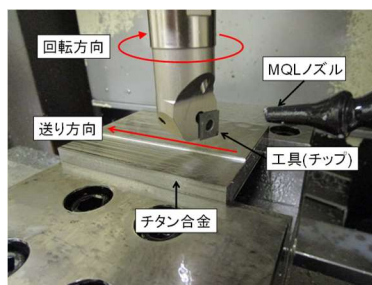


図 1 加工試験の様子

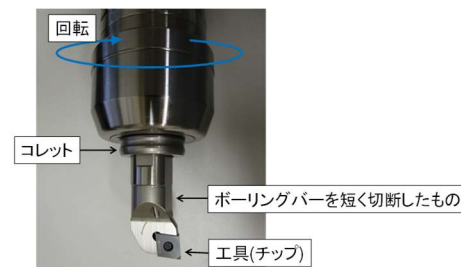


図 2 工具ホルダ

次に、BN7000 と BN2000LT について、切削のごく初期における刃先の状態を調べるため、短い切削距離で加工を止め、刃先を SEM(JCM-6000Plus、日本電子(株)製)で観察し、刃先形状を触針式粗さ形状測定機(フォームタリサーフ PGI840、アメテック製)で測定した。

表 加工条件

工具	BN2000LT 2NU-CNGA120408LT	BN7000 2NU-CNGA120408	BN7000LF 2NU-CNGA120408LF	BN7000HS 2NU-CNGA120408HS
cBN 含有率	50-55(vol%)		93(vol%)	
バインダ	TiN		Co	
刃先形状	チャンファ角：15度 チャンファ幅：0.12mm 丸ホーニング：なし		シャープエッジ	チャンファ角：25度 チャンファ幅：0.12mm 丸ホーニング：あり
被削材	Ti-6Al-4V			
工具ホルダ	工具刃先径：φ34mm A.R.：-6度 R.R.：-13度			
切削速度 Vc	200m/min、300m/min		300m/min	
軸方向切込み ap	1mm			
径方向切込み ae	1mm			
1 刃送り fz	0.1mm/tooth			
給油方法	MQL(合成エステル)			

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 工具損耗

##### 3.1.1 工具材質の影響

表の条件にて cBN 含有率の異なる工具 (BN7000、BN2000LT) で加工試験を実施した。図 3 に切削距離と最大逃げ面摩耗の関係を示す。図 4 に加工試験後の刃先の写真を示す。

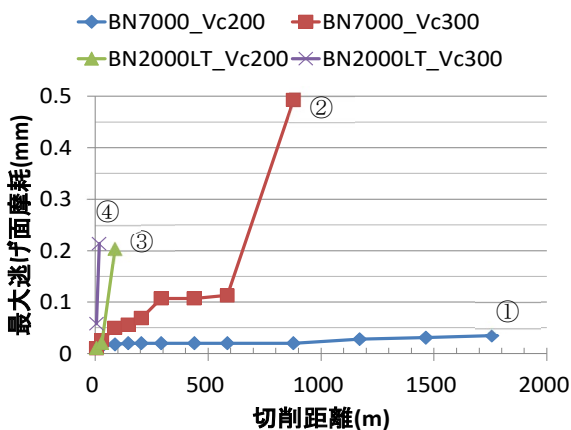
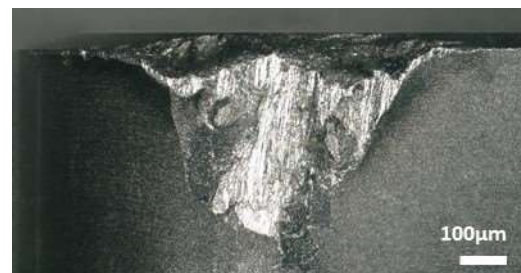


図 3 切削距離と最大逃げ面摩耗の関係

BN7000 について、切削速度(以下「Vc」)200m/min においては切削距離 1757m で最大逃げ面摩耗が約 0.04mm と小さかった(①)。しかし Vc300m/min においては最大逃げ面摩耗が増加し、切削距離 879m で大きく欠損した(②)。BN2000LT について、Vc200m/min で切削距離 88m(③)、Vc300m/min で切削距離 18m(④)となり、ともに非常に短い切削距離で寿命に達した。以上より、cBN 含有率の高い BN7000 が cBN 含有率の低い BN2000LT より長寿命を示した。



①BN7000、Vc200m/min、切削距離 1757m



②BN7000、Vc300m/min、切削距離 879m



③BN2000LT、Vc200m/min、切削距離 88m



④BN2000LT、Vc300m/min、切削距離 18m

図 4 加工試験後の刃先写真

BN7000 は熱伝導率の高い cBN の含有率が高く、BN2000LT は cBN 含有率が低く熱伝導率の低い TiN を結合材として含んでいることから、BN7000 は BN2000LT より熱伝導率が高いと推測される。よって、Vc200m/min の条件において BN7000 は刃先温度が上がりにくく、刃先損耗の進行が抑えられたと考えられる。また、BN7000 でも Vc300m/min の条件で大きく欠損したのは、切削速度が速くなったことによって刃先温度が高くなったためと考えられる。

次に、切削のごく初期における刃先の状態を調べるため、短い切削距離で加工を止め、刃先を SEM で観察し、刃先形状を触針式粗さ形状測定機で測定した。図 3 に示した実験で使用した工具とは異なる新品の工具で改めて試験した。

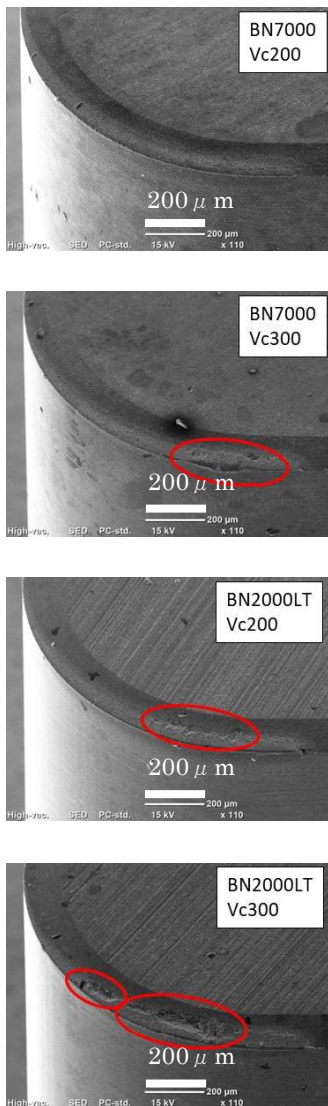


図 5 切削初期の刃先の SEM 画像

BN2000LT の Vc300m/min は切削距離 6m、それ以外は切削距離 29m で加工を止めた。SEM の観察結果を図 5 に示す。触針式粗さ形状測定機の測定結果を図 6 に示す。

SEM の観察結果より、BN2000LT の Vc200m/min、300m/min の条件および BN7000 の Vc300m/min の条件はチャンファ部分が損耗している様子が確認された。特に BN2000LT の Vc300m/min の条件は、切削距離が 6m と短いにもかかわらず最も損耗が激しかった。一方、BN7000 の Vc200m/min の条件は特に損耗は見られなかった。触針式粗さ形状測定機の測定結果より、BN2000LT の Vc200m/min、300m/min および BN7000 の Vc300m/min の条件はチャンファ部分が凹んでいることがわかった。よって BN2000LT の Vc200m/min、300m/min および BN7000 の Vc300m/min の条件は切削のごく初期よりチャンファ部分に摩耗が発生していることが明らかになった。

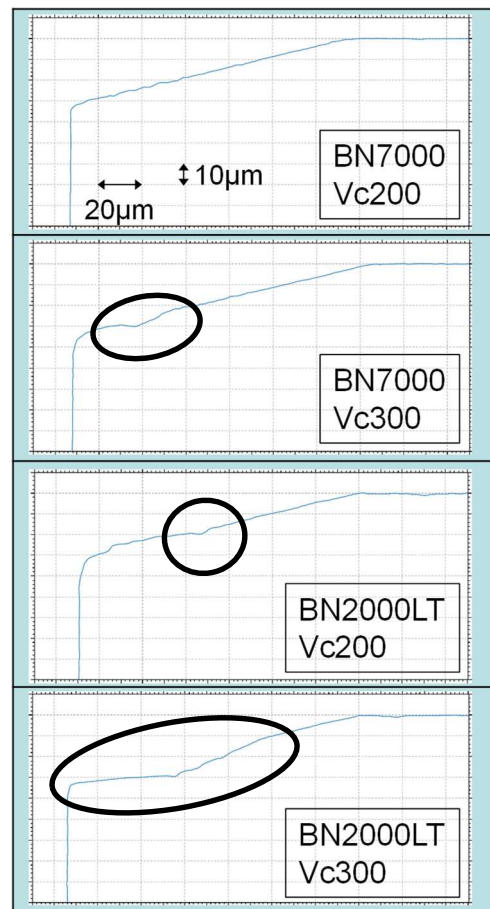


図 6 触針式粗さ形状測定機の測定結果

### 3.1.2 刃先形状の影響

表 1 の条件にて刃先形状の異なる工具 (BN7000LF、BN7000HS) で加工試験を実施した。図 7 に切削距離と最大逃げ面摩耗の関係を示す。なお、BN7000 の結果は図 3 の BN7000\_Vc300 の再掲である。図 8 に BN7000LF、BN7000HS の加工試験後の刃先の写真を示す。

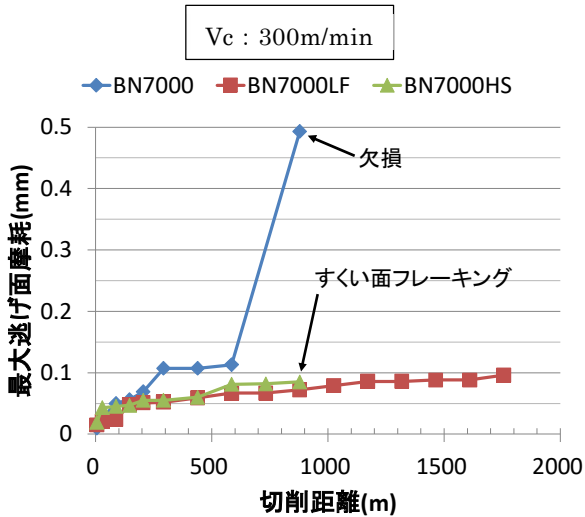
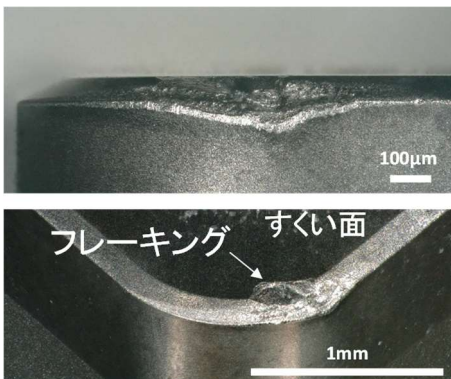


図 7 切削距離と最大逃げ面摩耗の関係



①BN7000LF、Vc300m/min、切削距離 1757m



②BN7000HS、Vc300m/min、切削距離 879m

図 8 加工試験後の刃先写真

シャープエッジの BN7000LF は切削距離 1757m まで加工でき、最大逃げ面摩耗は約 0.1mm であった。一方、チャンファ角の大きい BN7000HS は切削距離 879m ですくい面にフレーキングが発生したため、加工続行不可と判断した。一般的に、シャープエッジの工具はチャンファのある工具と比較して刃先強度が低いため、チッピングはしやすいが切削抵抗は低い。そのため切削温度が上がりやすく、切削距離 1757m まで加工できたと考えられる。チャンファ角が大きい工具は、刃先強度が高いが切削抵抗が大きいため、すくい面にフレーキングが発生したと考えられる。よって、シャープエッジの工具は、長い距離を加工できるが、刃先のチッピングが課題であることがわかった。

## 4. 結び

cBN 含有率の異なる cBN 工具および刃先形状の異なる cBN 工具による Ti-6Al-4V 合金の高速ミリング加工を実施した結果、以下のことが明らかになった。

- (1) cBN 含有率の高い cBN 工具 (BN7000) は、cBN 含有率の低い cBN 工具 (BN2000LT) より長寿命であった。
- (2) 切削のごく初期における刃先の状態は、BN2000LT の Vc200m/min、300m/min および BN7000 の Vc300m/min はチャンファ部分に摩耗が発生していることがわかった。一方、BN7000 の Vc200m/min は特に損耗は見られなかった。
- (3) Vc300m/min において、刃先形状はシャープエッジの工具はチャンファのある工具より長い距離を加工できたが、刃先のチッピングが課題であることがわかった。シャープエッジの工具の刃先に丸ホーニングをつけるなどの検討が必要と考えられる。
- (4) 前報で報告したバインダレス cBN 工具と刃先形状が同じ BN7000 を比較した結果、バインダレス cBN 工具のほうがより長寿命であった。バインダレス cBN 工具が Vc300m/min、400m/min において切削距離 1757m まで加工できたのに対して、BN7000 は Vc300m/min において切削距離 879m で欠損した。刃先形状がシャープエッジの工具 (BN7000LF) を使用することで Vc300m/min においてバインダレス cBN 工具と同等の切削距離 1757m まで加工できた。

## 文献

- 1) 菅野祐介, 河田圭一, 児玉英也: あいち産業科学技術総合センター研究報告, 10, 32(2021)