BN 膜の切削工具への応用 2*

野間 正男*1・柏原 哲隆*1・小松 永治*1

Application of Boron Nitride Thin Films to Cutting Tools (2)

Masao NOMA, Tetsutaka KASHIHARA and Eiji KOMATSU

Development Department, Shinko Seiki Co., Ltd., Moriyama-shi, Shiga 524

(Received October 27, 2004, Accepted January 8, 2005)

This study described the influence of BN coating conditions on cutting performance. In SKD61 cutting test, cutting performance of end-mill coated by BN thin film depended on bombardment conditions and BN coating conditions. This BN coating end-mill was two times long as TiAlN coating end-mill.

1. はじめに

磁界励起イオンプレーティング法により成膜された c-BN、硬質 BN 膜コーティング工具での切削応用が可能であることを報告している¹⁾。この工具の工具寿命は、成膜前の放電洗浄であるボンバード（以下ボンバードとする）、BN 膜の成膜条件により変化する。この成膜処理工程のボンバード、BN 成膜条件をパラメータとして、BN 膜をコーティングした超硬エンドミルにより切削寿命を向上させる方法を検討した。

2. 成膜条件および実験方法

BN 膜は Fig. 1 に示す磁界励起イオンプレーティング法により成膜した²⁾。成膜処理法は以下の処理プロセスで行った。

- ① Ar ボンバード
- ② TiN 成膜（中間層）1.2 μm
- ③ BN の成膜 1.0 μm

上記プロセスの①、③が切削性能に及ぼす効果について検討を行った。BN 膜コーティング工具には、直径 $\phi 10 \text{ mm}$ のノ

ンコート超硬エンドミル SZE4100S（MMC 製）を用いた。このコーティングした工具の切削寿命試験は、マシニングセンタを用いて行った。Table 1 に示す加工条件で被削材を直線・端面切削を行った。一定距離毎に切削抵抗を動力計により測定した。工具寿命の判断は切削抵抗、切り屑の色と形状から判断した。

3. ボンバード条件の検討

本装置のボンバード法は、プラズマの発生を磁界励起イオン源で行い、基板電圧は 13.56 MHz の高周波電力印加時に生じる直流電圧成分である自己バイアス電圧を用いて行う。放電に使用するガスは、Ar または Ar, H₂ の混合ガスである。

各ボンバード法による基板ダメージを測定するため、ボンバード処理のみの試料を作製した。この時の処理条件を

Table 1 Cutting conditions

Work-piece	SKD61 53HRC
Cutting speed	302 m/min
Feedrate	0.1 mm/min
Radial depth of cut	0.25 mm
Axial depth of cut	7.9 mm
Runout	<5 μm
Coolant	Dry air

Table 2 Bombardment conditions

Parameter	B1	B2	B3	B4
Anode	20 V 20 A	60 V 70 A	20 V 30 A	0 V 0 A
FB	-20 V 20 A	-20 V 50 A	-20 V 25 A	0 V 0 A
Substrate bias	RF 300 W	RF 1000 W	RF 600 W	RF 1200 W
Time	20 min	20 min	20 min	20 min
Ar pressure	$4 \times 10^{-2} \text{ Pa}$	$4 \times 10^{-2} \text{ Pa}$	$4 \times 10^{-2} \text{ Pa}$	$4 \times 10^{-2} \text{ Pa}$
Substrate damage	×	○	△	○

Fig. 1 Mass product ion type of magnetically enhanced plasma ion plating (MEP-IP).

* 平成16年10月27日第45回真空に関する連合講演会で発表

*1 神港精機株式会社（〒524-0051 滋賀県守山市三宅町30番地）

Fig. 2 Carbon distribution of blade position.

Fig. 3 Schematic illustration of substrate current measuring system.

Table 2 に示す。各ボンバード処理を行った基板は、材質が SKH51 の JIS 形状の $\phi 6$ mm ハイスドリルである。このボンバード処理したドリルを先端から 5 mm の位置で切断した。この断面を鏡面研磨した。このドリル断面の外周の刃先先端部を EPMA により炭素濃度を測定した。測定結果を Fig. 2 に示す。最適条件を B1 として、切削時に刃先欠損等のトラブルが生じるボンバード条件を B2、基板に RF 電力のみを印加し真空槽壁面に対して放電を起こしボンバードした条件を B4 とした。EPMA の測定は、SEM 付属の EDX (堀場製作所 EMAX energy400) を用いて刃先先端から 200 μ m の範囲で炭素について線分析を行った。

未処理のハイスドリルの炭素濃度のパターンは深さ方向に対して平坦な分布になっている。しかし、基板ダメージがあると考えられる B2、自己放電ボンバード B4 は、ドリル外周である刃先先端部で炭素濃度の明確な増加が認められる。B2、B4 に対して適性ボンバードである B1 は未処理に近い炭素濃度分布となっている。このような基板ダメージの違いは放電特性に表れる。基板電流測定法を Fig. 3、測定結果を Fig. 4 に示す。Fig. 4 の矢印の始点が B2 条件で終点が B1 条件である。このように、基板上での基板電流の総和がゼロに近くなる点で基板ダメージが軽減される傾向であることがわかる。

4. TiN 膜での切削寿命向上の検討

ボンバードによる基板の損傷を検証するために、最適条件 B1 と Fig. 4 で基板電流値が B1 と B2 の間に入る条件 B3 の

Fig. 4 Ion source discharge property 1.

Fig. 5 Tool life of each bombarded and TiN coated end-mill.

ボンバード条件で超硬エンドミルを処理し、このボンバード処理後に磁界励起 IP 法により、同一条件で TiN 膜を 1.2 μ m 成膜処理した。ボンバード処理パラメータを Table 2 に示す。工具成膜の標準的な装置である AIP 装置で TiN 膜まで処理した同様な超硬エンドミルを対象群とする。AIP 法の処理は、アークカソードを用いた Ti メタルボンバード処理後に AIP 法により TiN 膜成膜した。

切削寿命の評価は、焼入れ済みの硬度 HRC53 を持つ金型鋼 SKD61 を用いた。Table 1 で示す BN, TiAlN 膜を評価するための切削条件は、切削速度 300 m/min, 送り 0.1 mm/tooth に設定した高切削速度、高送り条件である。このため、工具の昇温が 500°C 以上に昇温しやすい条件である。耐酸化性が 500°C 以下の TiN 膜では切削寿命が向上しない条件である。

結果を Fig. 5 に示す。結果は、AIP < B3 < B1 となった。AIP と B3 の差は 1.5 倍となった。さらに、B3 と B1 の寿命差も B1 が B3 に対して 2 倍の寿命増加が確認された。ボンバード法の最適化で工具寿命が大きく変化することから、工具刃先部分のダメージの減少が工具寿命に大きく寄与することが明確となった。

5. BN 膜の工具への応用

4 項の TiN 中間膜までの最適成膜条件の結果を利用し、この中間層上に BN 膜を成膜した。BN 膜の成膜条件は基板バイアスをパラメータとした。BN 膜の条件については、Table 3 に示す。高基板バイアス条件 BN1 は Vdc を -90 V とした条件である。低基板バイアス条件 BN2 は Vdc を -70 V とした条件である。比較対象として、高能率工具の標準薄膜である AIP 装置による TiAlN 薄膜を同一工具に成膜し

Table 3 BN coating conditions

No.	EB	Vdc	Anode	Ar supply
BN1	500 mA	-90 V	40 V	55 ml/min
BN2	500 mA	-70 V	40 V	55 ml/min
TiAlN	TiAlN: AIP coated by other maker

Fig. 6 Tool life of each BN coated end-mill.

たものを使用した。

- ① B3+BN1 条件
- ② B1+BN1 条件
- ③ B3+BN2 条件
- ④ AIP 法による TiAlN 成膜

以上 4 通りの処理条件で成膜したエンドミルを Table 2 の条件により、切削寿命について評価を行った。

切削結果を **Fig. 6** に示す。①の結果は、B3+TiN 膜までの処理よりも性能が低下した。しかし、②の B1+BN1 では①に対して切削寿命が 2 倍以上になった。しかし、②の中

間膜までの性能よりも切削寿命が 44.7 m→31 m と 30% 減少した。③ B1+BN2 では、②に対して基板バイアスを -90 V → -70 V にすることで、切削寿命が 31 m→79 m へと 2.5 倍の増加となった。比較対照群の TiAlN コーティングエンドミルは、切削寿命 40 m となり、③の 1/2 の寿命であった。BN 膜の処理条件が切削寿命に対して大きな影響を及ぼすことが判った。

6. ま と め

1) ボンバード条件により、工具母材に使用される SKH51 のダメージが変化する。ボンバード中に基板電流が減少する方向で処理する必要がある。

2) 同一条件での TiN 膜でも、ボンバード条件の違いにより、工具上に成膜した TiN 膜コーティングエンドミルの性能は切削性能が、約 2 倍の変化をする。

3) BN 膜コーティングプロセスでは、ボンバードと BN 成膜条件により切削性能が 6 倍の変化をする。さらに、最適化した BN 膜コーティングエンドミルは、TiAlN 膜に対して 2 倍の切削寿命をもつ。

謝辞

本研究を進めるにあたり滋賀県立大学 機械システム工学科 中川平三郎教授から貴重な助言を頂きました。ここに感謝いたします。

〔文 献〕

- 1) M. Murakawa et al: surf. & Coat. Tech., 43/44 (1990) 128.
- 2) 野間, 玉岡, 小松: 真空, 6 (2004) 488.