321 ダイヤモンドコート工具の付着強度と耐久性能 — 界面じん性の改善とその工具寿命への影響 —

Improvement of Adhesive Toughness and Its Effect on the Endurance of Diamond Coated Cutting Tools

○正 高橋 博紀 (東北大)

正 神谷 庄司 (東北大)

正 劉 浩 (オーエスジー)

正 坂 真澄 (東北大)

正 阿部 博之 (東北大)

Hironori TAKAHASHI,
Shoji KAMIYA,
Hao LIU,
Masumi SAKA,
Hiroyuki ABÉ,

Tohoku University, Aramaki aza Aoba 01, Aoba-ku, Sendai 980-8579, Japan.
Tohoku University, Aramaki aza Aoba 01, Aoba-ku, Sendai 980-8579, Japan.
OSG corporation, Honnogahara 1-15, Toyokawa, 442-8544, Japan.
Tohoku University, Aramaki aza Aoba 01, Aoba-ku, Sendai 980-8579, Japan.
Tohoku University, 2-1-1 Katahira, Aoba-ku, Sendai 980-8577, Japan.

This paper reports the endurance of cobalt-cemented tungsten carbide (WC-Co) cutting tools with CVD diamond coatings, which were deposited with various methane concentration. We examined the adhesive toughness of coatings deposited on WC-Co substrates with various methane concentration. Discussion would be focused on the correlation between the adhesive toughness of diamond coatings and the performance as wear-resistant coatings.

Key Words : CVD Diamond Coatings, Adhesive Fracture Toughness, Cutting Tools, Endurance

1. 緒言

近年, CVD(化学気相合成)法の開発により異種材料基板上でのダイヤモンド薄膜の形成が可能となり, その優れた特性の利用を目的とした多くの研究がなされている⁽¹⁾⁽²⁾。しかしながら, 異種材料基板上のダイヤモンド薄膜ははく離しやすく, その実用領域が狭く限定されている現状にある。耐摩耗被膜としてダイヤモンドが利用されているダイヤモンドコート工具はその顕著な例の1つであり, 現在はアルミ合金やグラファイト等の刃先を著しく摩耗させる傾向のある被削材の低負荷切削にのみ限定的に用いられている。この場合, ダイヤモンド薄膜はほとんど摩耗することがない一方で, 突発的に起こるはく離によりその工具としての寿命を終えることが知られている。

著者ら⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾はこれまでの報告において, 成長条件を種々に変化した CVD ダイヤモンドについてシリコン基板との界面じん性を計測し, 合成条件におけるメタン濃度によって界面じん性が大きく変化することを見出している。そこで本報では, 種々のメタン濃度で超硬合金(WC-Co)基板上にダイヤモンド薄膜を合成し, その界面じん性を計測するとともに, 同様の薄膜を有するダイヤモンドコートドリルを作製し, その工具としての寿命を評価した。得られた結果より, ダイヤモンド薄膜の基板との界面じん性と工具としての耐久性能との関係を把握し, 界面じん性が工具の寿命に与える影響について検討を行う。

2. 実験および結果

2.1 試料の作製

基板材料には超硬合金(1 μ mWC-6%Co)を用い, 付着強度試験用の試験片にはスローアウェイチップ(19.5 $\times$ 12.5 $\times$ 4.8mm³)を, 耐久試験用には ϕ 8.5mm のドリルを成膜用の基板として準備した。基板前処理を行った同基板上に, マイクロ波プラズマCVD法を用い, 種々のメタン濃度によりダイヤモンド薄膜の合成を行った。付着強度試験の結果とコーティング工具としての耐久試験の結果とを比較するために, 両試験

Table 1 CVD conditions of diamond coatings

	First 2 hours	Rest hours
Methane concentration	1~8 %	2%
CO concentration	10 %	
Substrate temperature	1123 K	
Chamber pressure	5.1 kPa	
Total gas flow rate	400 sccm	

片の合成条件を同一のものとしている。合成条件を Table 1 に示す。本実験に用いたダイヤモンド薄膜は二層構造を有している。第一層は, 最も界面側で基板と接する層であり, 合成初期の 2 時間を種々のメタン濃度で合成することにより, 界面のじん性を変化させた。一方, 工具としての耐久(切削)試験時に, 被削材との接触状態や摩擦特性等の条件を各試験片間で同一のものとするために, 残りの時間については各試験片間で同一のメタン濃度とし, 第二層の合成を行った。付

Fig.1 Adhesive fracture toughness and the endurance of diamond coatings on WC-Co substrate

着強度試験用の試験片については、合計 20 時間の成膜を行い約 10 μ m の薄膜が得られ、一方耐久試験用ドリルについては、合計 22 時間の成膜で約 15 μ m のダイヤモンド薄膜が得られた。

2.2 ダイヤモンド薄膜の付着強度試験

得られたスローアウェイチップ上のダイヤモンド薄膜について、著者らが開発した手法⁽⁵⁾⁽⁶⁾を用いて、基板との界面じん性を見積もった。以下に、その概略を記す。薄膜および基板の断面を鏡面仕上げした後に、同面をダイヤモンド砥粒を用いてバフ研磨することで基板材料のみが選択的に削られ、約 10 μ m のひさし状突出部を持つ薄膜が得られる。得られたひさし状突出部に対し、ダイヤモンド触針を用いて薄膜裏面より垂直上方へ荷重を与え、薄膜・基板界面にき裂を進展させ、その際のき裂進展量と荷重を計測する。得られた実験結果と、3 次元有限要素法による数値シミュレーションの結果とを比較することにより、界面の破壊じん性を見積もることができる。得られた界面じん性について、合成初期時のメタン濃度を横軸にとり示したものが Fig.1 である。2.5%までは、メタン濃度が大きくなるに伴い界面じん性が向上しているが、2.5%を境にじん性は大きく減少し、以降横ばい傾向を示していることがわかる。

2.3 ダイヤモンドコート工具の耐久試験

2.1 節で得られたダイヤモンドコートドリルを用い、Table 2 の条件で切削試験を行った。水溶性切削油を用い、切削過程においてダイヤモンド薄膜が剥がれ落ちた時点とその工具の寿命とみなし、それまでにそのドリルで開けた穴数を耐久性とした。得られた結果を Table 3 に示す。合成初期のメタン濃度が 2%のドリルにおいて、最も長い工具寿命を示している事がわかる。これまで標準の製造条件とされていた合成初期のメタン濃度が 1%のドリルと比較して、合成初期 2%のドリルにおいて約 3.3 倍の大きな寿命が得られる事がわかった。

3. 考察

耐久試験によって得られた結果を Fig. 1 に重ねて破線で示す。横軸のメタン濃度に対し、耐久性の示す傾向と界面破壊じん性の示す傾向がほぼ一致していることがわかる。ここで同試験結果について、界面じん性を横軸に耐久性を縦軸に取ったグラフを Fig. 2 に示す。グラフより、両者の値に明らかな相関があることがわかり、ダイヤモンドコート工具の耐久性において界面じん性が極めて重要なパラメータであることがわかる。

ダイヤモンドコート工具の寿命を検討する際には、薄膜がはく離を起こすメカニズムをより詳細に把握することが必要となるが、少なくとも今回の実験条件においては、界面じん性を大きくすることにより、より大きな耐久性を持つダイヤモンドコート工具が得られることがわかった。

最後に、本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金[平成 12 年度特別研究員奨励費 05970]によったことを記し、謝意を表する。

Table 2 Cutting (drilling) conditions

Work material	A390 Aluminum Alloy (18% Si content)
Drill diameter	ϕ 8.5 mm
Drilling depth	23 mm
Drilling speed	100 m/min
Feed	0.17 mm/rev
Drill machine	HITACHI
Cutting fluid	Water soluble oil
Judging the end of lifetime	Delamination

Table 3 Endurance data

Methane concentration in the first 2 hours	Coating thickness	Endurance (Number of holes)
1 %	15 μ m	1980
2 %	15 μ m	6600
4 %	14 μ m	660
8 %	15 μ m	1320

Fig. 2 Endurance of the coated tools against the adhesive toughness of diamond coatings

文献

- (1) Spear, K. E., *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol.72[2], (1989), pp.171-191.
- (2) Bachmann, P. K. and Enckevort, W. V., *Diamond Relat. Mat.*, Vol.1[1], (1992), pp.1021-1034.
- (3) Kamiya, S. ほか 3 名, *Proceedings of the PACIFIC RIM/ASME International Intersociety Electronic & Photonic Packaging Conference, Inter Pack '99*, Vol.1, (1999), pp.763-767.
- (4) Takahashi, H. ほか 5 名, *J. Am. Ceram. Soc.*, (投稿中).
- (5) Takahashi, H. ほか 3 名, *Diamond Relat. Mater.*, Vol.10 (3-7), (2001), pp.760-764.
- (6) Kamiya, S. ほか 4 名, *J. Am. Ceram. Soc.*, (投稿中).