



# ナノ多結晶ダイヤモンドの耐摩工具への応用

Application of Nano-Polycrystalline Diamond to Wear Resistant Tools

木下 卓哉\*  
Takuya Kinoshita

湯川 実  
Makoto Yukawa

関 裕一郎  
Yuichiro Seki

木村 公一朗  
Kouichiro Kimura

近年半導体向けボンディングワイヤ、医療線等の線材の高精度化に伴いダイヤモンドダイスに求められる品質レベルが高まっており、「高い耐摩耗性」、「真円度維持性」、「線表面粗度維持性」等の特性向上への要求が増々厳しくなっている。それらを達成すべく住友電気工業(株)にて開発されたナノ多結晶ダイヤモンド(スミダイヤバインドレス)をダイスのコア素材として用いた新たなダイス、「BLPCDダイス」を開発した。その性能評価結果を報告する。

In recent years, the quality level required for diamond dies has been increased along with an improvement in the precision of wire materials such as semiconductor bonding wires and medical wires. Requirements for improving wire characteristics, particularly for high wear resistance, roundness maintenance property, and surface roughness maintenance property, are increasing. In order to achieve them, we have developed the BLPCD die, using a nano-polycrystalline diamond (Sumidia binderless) developed by Sumitomo Electric Industries, Ltd. as its core material. This paper reports on the performance evaluation results.

キーワード：伸線加工、ダイヤモンドダイス、ナノ多結晶ダイヤモンド、ボンディングワイヤ、医療線

## 1. 緒言

金属線材等を塑性変形させ、線材の直径を細く絞り、狙い線径に加工することを「伸線加工」または「線引き加工」という<sup>(1),(2)</sup>。

ダイヤモンドダイスは、この「伸線加工」や「線引き加工」を行うダイヤモンド工具である(図1)。

ダイヤモンドダイスは、物質中で最も高い硬度を有するダイヤモンドの特性を活かし、多種金属線の伸線加工に用いられている。

これらのコア素材には主に天然単結晶ダイヤモンド、(Natural Diamond (以降NDと略記)) 人造超高压単結晶ダイヤモンド (High Pressure High Temperature diamond (以降HPHTと略記))、焼結多結晶ダイヤモンド (Polycrystalline Diamond (以降PCDと略記)) が使用されている。

当社は、細径・極細径ダイス(φ0.1μm以下)の高精

度・高品質加工を得意としており、伸線メーカーから高い評価を得ている。

一方、近年半導体向けボンディングワイヤ<sup>\*1</sup>、医療線等の線材の高精度化に伴いダイヤモンドダイスに求められる品質レベルが高まっており、「高い耐摩耗性」、「真円度維持性」、「線表面粗度維持性」等の特性向上への要求が増々厳しくなっている。それらを達成すべく住友電気工業(株)にて開発されたナノ多結晶ダイヤモンド(スミダイヤバインドレス)<sup>(3)~(5)</sup>をダイスのコア素材として用いた新たなダイス、「バインドレスPCDダイス(以降BLPCDダイスと略記)」を開発し、その性能評価を行った。

## 2. ダイヤモンドダイスの構造

ダイヤモンドダイスの主な構造は、コア素材となるダイヤモンド、ダイヤモンドをダイス中心部に固定する金属焼結体、それらを支えるケース材で成り立っている(写真1)。

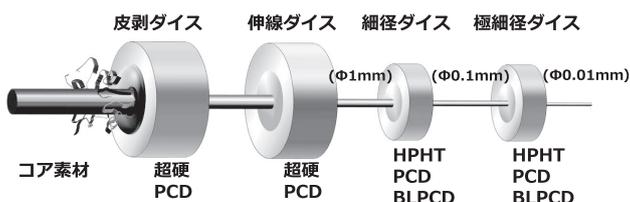


図1 各種ダイヤモンドダイス

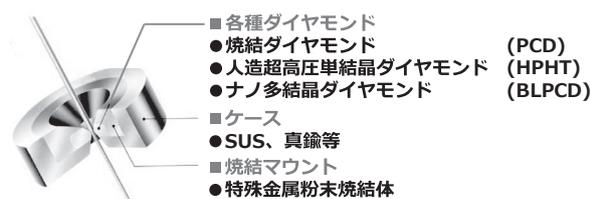


写真1 ダイヤモンドダイスの構造

また、線材加工部はすり鉢状の形状となっており、ダイス入線部から順に、ベル、アプローチ、リダクション、ベアリング、バックリリーフ、エグジットで構成される(図2)。

伸線加工時に線材との接触部にあたるリダクション部とベアリング部の造り込みは最終製品の品質に強く影響するため、特に高い品質が求められる<sup>(1)</sup>。

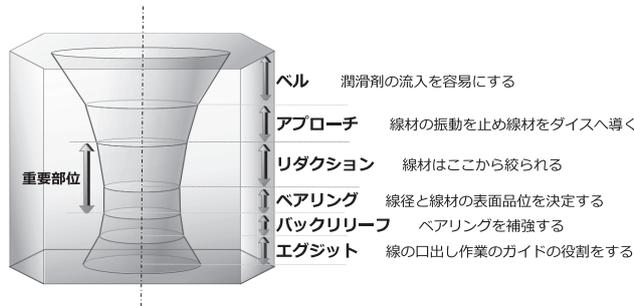


図2 ダイス内部形状

### 3. BLPCDダイスの基礎性能伸線評価

BLPCDダイスの基礎性能を評価するため、HPHTダイスとPCDダイスとの伸線性能比較を行った。

伸線条件の共通項目は表1に示す通りである。

表1 伸線条件

伸線機	伸線機	ノンスリップ式1ダイス伸線機
	伸線速度	600 m/min
	バックテンション	5 cN
	ダイス個数	1個
	潤滑剤	鉱油系潤滑剤
ダイス	ダイス穴径(D)	0.080 mm
	リダクション角度	10±2°
	ベアリング長さ	30±10 %D
	設定減面率	13.5%
	コア素材	BLPCD or PCD or HPHT
母線	母線直径	0.086 mm
	材料	SUS304

#### 3-1 耐摩耗性

金型となるダイス穴の直径が摩耗し拡大するに伴い、加工される線材の直径も拡大する。そのため、ダイス穴の直径を長時間一定に維持できることはダイス交換寿命を決める一つの重要な要素となる。

図3は各種ダイスにて定量伸線した線材をサンプリングし、線径の変化を調査した結果である。

線径の測定は、干渉縞レーザー回折測定方式にて線材の

円周を250点以上測定し、その平均値を線径として算出している。

BLPCDダイスおよびPCDダイスは伸線に伴う大きな線径拡大は確認できなかったが、HPHTダイスは伸線開始早々(伸線距離10km地点)から線径が拡大していることが確認できた。

これは、単結晶ダイヤモンドを凌駕する硬度を持つBLPCDの特性が強く現れた結果であると考えられる。

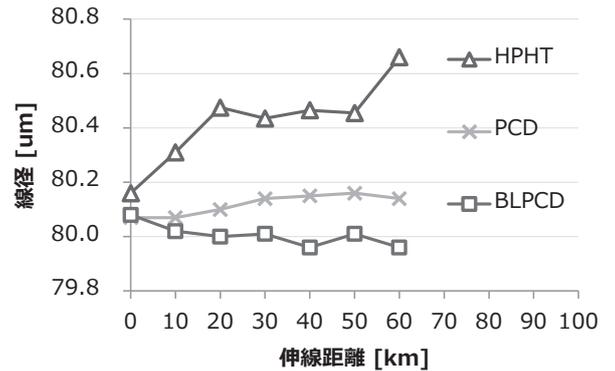


図3 各種ダイヤモンドダイスの耐摩耗性

#### 3-2 真円度維持性

次に真円度維持性について検証した。線材断面の真円度悪化は伸線性能および最終製品の特性を左右する重要な要素である。

前記(3-1)と同手法で線材の直径を測定し、測定値(250点以上)の最大値と最小値の差を真円度として算出した。

図4に示すように、BLPCDダイスおよびPCDダイスで伸線された線材は伸線距離を重ねても真円度はほとんど変化せず、ほぼ一定値で推移している。一方、HPHTダイスは

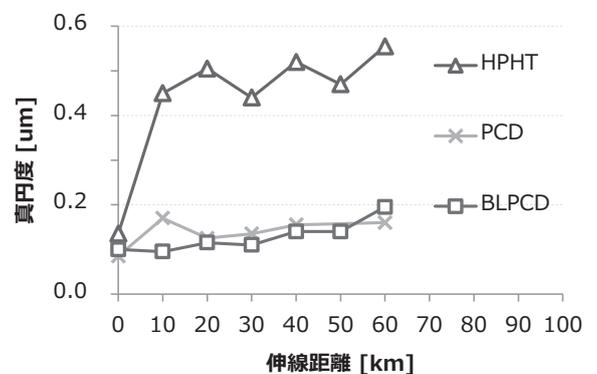


図4 各種ダイヤモンドダイスの真円度維持性

伸線初期段階（伸線距離10km地点）で急激に真円度が悪化している。

これは単結晶ダイヤモンド特有の結晶方位に依存した摩耗形態に起因したものであると考えられ、多結晶素材であるBLPCDおよびPCD素材は結晶方位に依存しないため長時間真円を維持することが可能である。

写真2に単結晶ダイヤモンドダイス（NDダイス）とBLPCDダイスで同量伸線した後の線材断面を一例として示す。写真2からわかるように、単結晶ダイヤモンドダイスにて伸線された線材は、結晶方位に依存した摩耗形態が転写された形状となり線材断面が多角形に変形している。一方、BLPCDダイスで伸線された線材断面は真円状態を維持している。

単結晶ダイヤモンドダイス

BLPCDダイス

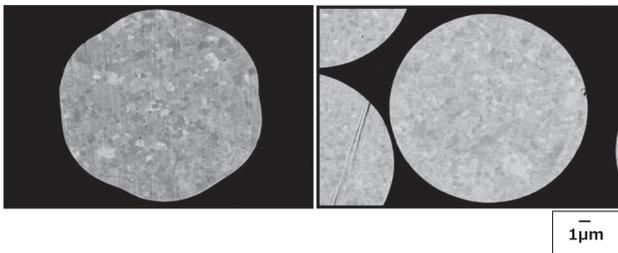


写真2 結晶方位依存の摩耗形態

### 3-3 線材表面粗度維持性

最後に伸線後の線材の表面粗度を評価した。伸線加工において、平滑な線表面状態を長時間維持し続けられるかは重要な要素である。表面粗度が悪化すると、摩擦抵抗増大や色調変化、めっき剥がれ等の問題が発生し、これらが最終製品の特性に悪影響を及ぼす可能性がある。

各定量伸線地点の線材表面粗度は、レーザー顕微鏡にて測定しRa値<sup>\*2</sup>で評価した（図5）。

また、各地点における線表面写真を写真3に示す。

図5よりBLPCDダイスが最も平滑な線表面状態を長時間維持できており、その後にHPHT、PCDダイスと続く結果となった。

PCDダイスの表面粗度が早期から悪化し始めた要因は、伸線加工時の負荷により、脱落した素材のダイヤモンド粒子および結合材が加工部に引き込まれ伸線されたことにより、線表面に局所的な負荷がかかり疵が発生したためと考えられる。

写真3からもわかるように、PCDダイスで伸線された線材は30km地点で複数の筋状の疵が確認できる。

一方BLPCD素材は粒界に介在物を一切含まないため、粒子脱落が抑えられ、同質の問題が発生しにくい。

また、HPHTダイスで伸線された線材の表面も比較的平滑な状態を維持できており、PCDダイスと同様の筋状の疵は確認できなかったが、前記（3-2）の通り、結晶方位に強く依存した摩耗形態をとるため偏摩耗により線材が扁平している（写真3）。

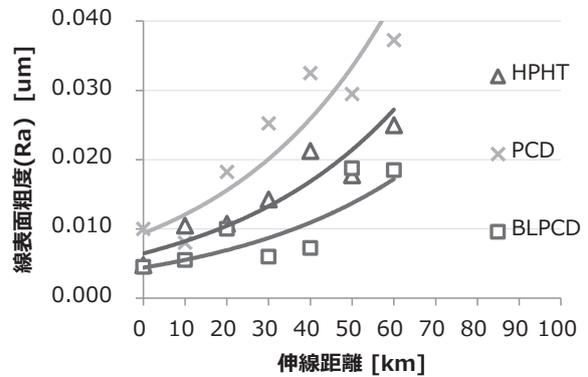


図5 各種ダイヤモンドダイスの線表面粗度維持性

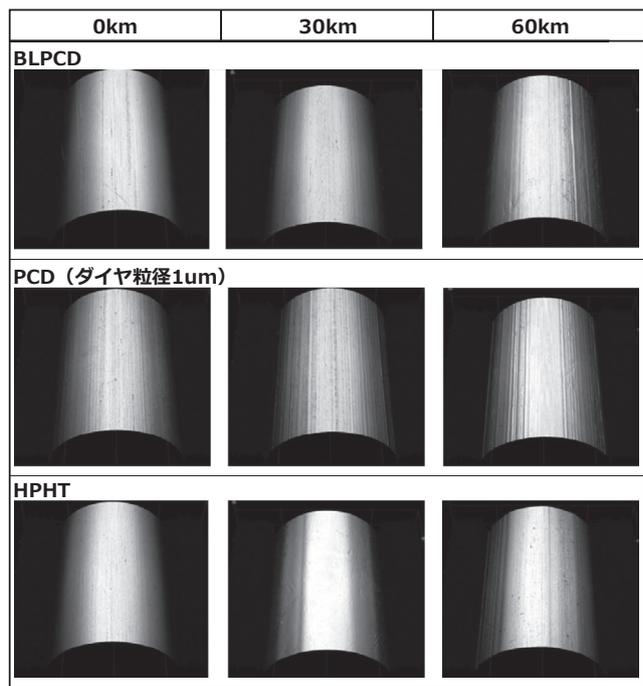


写真3 伸線後線表面状態

## 4. 今後の取り組み

### 4-1 異形線用BLPCDダイス開発

モータ等の巻線にはしばしば断面が四角形の線材が用いられる。断面が四角形の線材は、巻線にしたとき従来の丸線と比べて線材間の隙間が小さくなり、少ない容積で高密度のコイルが製作できることから、機器の小型化に伴い

ニーズが高まっている。

BLPCDダイスの高い工具性能は丸線に限らずこれら異形線<sup>\*3</sup>にも展開できるものと考えており、現在その開発に着手している。

写真4に示すような、現状の異形線用ダイスはPCDダイスが主流であるが、粒界に結合材を含むPCD素材では、小角化に伴い面粗度の制御が困難となる。

一方、単結晶ダイヤモンドダイスは結晶方位に依存し、偏摩耗するため、各辺の精度が重要とされる異形線用のダイスとしては不向きであると考えられる。

本稿伸線評価にて明らかになったBLPCDダイスの基礎性能は、これらの課題を一挙に解決できる可能性がある。

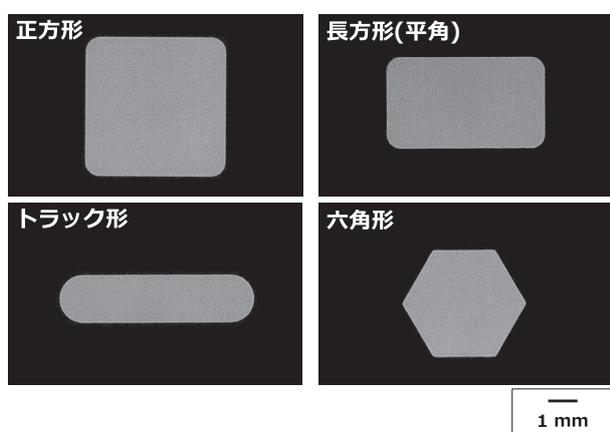


写真4 各種異形線用ダイス穴形状

## 5. 結 言

本稿ではBLPCDダイスが「耐摩耗性」、「真円度維持性」、「線表面粗度維持性」において、HPHTダイスおよびPCDダイスに対して優位な性能を有することを確認した。

BLPCDダイスは「長寿命化による、ダイス管理コストの削減」、「従来単結晶ダイヤモンドダイスでは加工難であった超硬質線材の加工」等を実現できる可能性を秘めており、今後の伸線加工業界の発展に貢献できるものとする。

## 用語集

### ※1 ボンディングワイヤ

トランジスタ、集積回路上の電極と、プリント基板、半導体パッケージの電極等を電氣的に接続するための線。

### ※2 Ra値

基準長さにおける、粗さ曲線の絶対値の平均値 (6)。

### ※3 異形線

断面が円状ではない線材。(正方形、長方形(平角)、トラック形等)

・BLPCDは(株)アライドマテリアルの登録商標です。

・スミダイヤは住友電気工業(株)の登録商標です。

## 参 考 文 献

- (1) 荒井達雄ら、「ダイヤモンド工具マニュアル」、ダイヤモンド工業協会、pp.130-140
- (2) 社団法人日本塑性加工学会、「引抜き加工 -基礎から先端技術まで-」、(株)コロナ社、pp.2-32 (1990)
- (3) 角谷均、入船徹男、「高硬度ナノ多結晶ダイヤモンドの微細構造と機械特性」、SEIテクニカルレビュー第172号、pp.82-88 (January, 2018)
- (4) 原野佳津子、佐藤武、角谷均、久木野暁、「ナノ多結晶ダイヤモンドの切削性能」、SEIテクニカルレビュー第177号、pp.107-113 (July, 2010)
- (5) 島田浩之、矢野和也、金田泰幸、「ナノ多結晶ダイヤモンド工具「スミダイヤバイングレスボールエンドミルNPDB型」による超硬合金直彫り加工」、SEIテクニカルレビュー第185号、pp.89-93 (January, 2014)
- (6) 吉村寛範、「超硬工具用語集」、超硬工具協会、pp.319・421 (1984)

## 執 筆 者

木下 卓哉\* : (株)アライドマテリアル



湯川 実 : (株)アライドマテリアル 部長



関 裕一郎 : (株)アライドマテリアル 技師長



木村公一朗 : (株)アライドマテリアル 主席



\*主執筆者