小特集 I. 切削工具における表面改質技術の現状(2)

電着法によるダイヤモンド, c-BN 切削工具

西 羅 正 芳*, 山 岸 憲 史*

Electrodeposited Diamond and c-BN Grinding Tools

Masayoshi NISHIRA* and Kenji YAMAGISHI*

Key Words: Diamond, c-BN, Electroplating, Grinding Tools

めっき法により埋め込まれたダイヤモンド, c-BN 切削工具の概要について解説する。

1. はじめに

硬脆性材料(セラミックス, 電磁気材料, 人造宝石, 磁器タイル, ガラス, 石材など)の切断・加工の需要が増大してきており, これらの材料を高精度で, より高能率に切断できる工具として, ダイヤモンド, 立方晶窒化ホウ素(c-BN)工具がある。ダイヤモンドは人工合成が成功して以来, その需要は飛躍的に増大してきており, c-BN とともに, 産業用の工具だけでなく一般用, DIY 用の工具として著しい伸びを示している。

ダイヤモンドや c-BN 粒子を工具として用いる場合, 結合材としては次の 4 種類がある。(1)樹脂を主成分として充填材を加えたレジンボンド, (2)銅, スズ, 銀, 鉄, コバルト, タングステンなどの各種金属の単一成分または合金で構成されるメタルボンド, (3)ケイ酸ソーダを主成分とするガラス質セラミックスボンドであるビトリファイドボンド, (4)試料表面にめっきで固定する電着ボンドがある。今回はこの中の電着ボンドについて述べる。

2. 粒子の種類

ダイヤモンド粒子には天然ダイヤモンドと合成ダイヤモンドがある。天然ダイヤモンドは従来から研磨や研削, 切断などに用いられていたが, 現在工具などに用いられているダイヤモンドのほとんどは合成ダイヤモンドである。合成ダイヤモンドは# 500~# 20000 の粒径を有し, 鋭いエッジを持つもの, 表面に微細な凸凹を有するものなどその種類も多い。また, 旧ソ連で開発された超々微粒子のクラスターダイヤモンド^{1),2)}は平均粒径 50 Å で球状の多結晶ダイヤモンドもある。このように工具の用途によって砥粒を選択することができ, その使用範囲は著しく拡大してきている。また, 合成ダイヤモンドと同様に高温・高圧の基で合成された c-BN は, ダイヤモンドと同様に表 1 に示すように切断, 切削, 研磨などの工具に用いられている。ダイヤモンドと c-BN を比較すると, ダイヤモンドの硬さは常温で 7000 kg/mm², c-BN は 4700 kg/mm² でダイヤモンドの方がかなり硬い。しかし図 1³⁾に示すようにダイヤモンドは高温で炭素と鉄が反応し, 硬さが低下するため温度上昇が少ないセラミックスや非鉄金属の研削に多く使用されている。一方, c-BN は硬さの低下が緩やかであるため, 研削時に温度が上がる鋼の研削に使用されることが多い。

*兵庫県立工業技術センター機械金属工業指導所 (〒673-0405 兵庫県三木市平田字フケ 240-1)

Technical Center for Machinery and Metals, Hyogo Prefectural Institute of Industrial Research (240-1, Hirata Aza Fuke, Miki-shi, Hyogo 673-0405)

表1 ダイヤモンド工具の用途

(トーメイダイヤ輪カタログより)

	工 具	用途先
粒状ダイヤモンド、cBN を利用する工具	メタルボンド・ホイール レジンボンド・ホイール ピトリファイドボンド・ホイール	機械工業、金属加工工業、カメラ工業、超硬合金加工工業、電子工業、ガラス工業、セラミック工業、時計工業、窯業
	セグメント・ホイール	石材工業、建材工業、窯業
	電着工具	治工具研削工業、半導体切削工業、電子工業、金属工業
	ダイヤモンド・インブリグネイテッド・ドリル・ビット	鉋磁山及び土木工事、ボーリング用
	ダイヤモンド・コアドリル	鉋磁山、土木工事、ガラス、耐火煉瓦、コンクリート用
	ダイヤモンド・インブリグネイテッド・ドレッサー	研削砥石整形修正用、金属加工工業
	その他	ペースト、超硬合金および金型用
ダイヤモンド焼結体工具	非鉄金属、セラミック、プラスチックなどの切削加工、線引きダイスなど耐摩耗材としての利用

図1 硬さと温度依存性

図2 電着応力に及ぼす電流密度の影響(pH 4.0, 50°C)

3. めっきによる埋め込み

研削砥石、ドリルなどで、電着により作製されているめっきの種類は、現在では電気ニッケルめっきが主流であり、無電解ニッケルめっきも一部使用されている。

3. 1 めっき浴

電気めっきによるニッケルめっきには一般のワット浴やスルファミン酸ニッケル浴が用いられている。ワット浴の場合、めっき浴の管理がしや

すいのと、光沢剤を添加することにより、めっき皮膜の硬さを上げて粒子の保持力を強くして耐摩耗性を上げることができる⁴⁾。一方、スルファミン酸ニッケル浴は高濃度、高電流が可能で高速度めっきができ、図2⁵⁾のように内部応力が非常に小さいため電鍍やダイヤモンド、c-BN 粒子の電着のように厚くめっきするには最適である。また皮膜の硬さは電流密度が低いほど高く、スルファミン酸ニッケルの濃度やアンモニウムイオンの増加により上昇する⁶⁾がもろい皮膜になりやすい。スルファミン酸ニッケルの硬さを上げるため

にスルファミン酸コバルトを添加する場合がある。図3⁶⁾に示すようにコバルトを多くすると応力が上昇し、逆に硬さは低下していきクラックが入る場合があるので、めっき液中のニッケルに対するコバルトの比率を10～12%ぐらいにするのがよい。

電気めっきによる粒子の埋め込みは、複雑な形状のものには均一な膜厚でめっきすることができない。そのため厚くめっきされる箇所では粒子が埋め込まれて研削性能が低下し、逆に薄い箇所では粒子の脱落が起こる。その場合には均一なめっき厚さで、硬い皮膜の無電解ニッケルめっきが用いられる。

3. 2 埋め込み方法

ダイヤモンドやc-BN粒子を用いた砥石などの製品、製造特許は多い^{7),8)}。しかし、これらに関する研究論文は少ないが、佐藤ら^{9)~11)}は電着ダイヤモンド砥石の製造法から、その特性まで詳細

にわたって報告している。最近では電着ワイヤー工具の開発やその特性についての報告^{12)~15)}もある。いずれにしてもそれぞれの用途や製品の形状などによりこれらの粒子を埋め込む方法は多く、また量産などを考慮すると、めっきの条件出しが非常に困難な仕事であり、これが企業のノウハウとなっているのが現状である。

次に一般的な砥石の製造行程を図4に示す。はじめに粒子の脱落防止のため下地めっきを行うことが多い¹⁶⁾。続いて粒子の仮止めを行う。粒子の仮止めには図5のようにメッシュに充填した粒子の間に試料を入れて、一定時間めっきを行う方法がある。この方法では粒子の層が厚すぎるとめっき液の循環が悪くなってめっき不良が起こり、試料を引き上げるときに不安定な粒子は脱落してしまう。また、試料が大きい場合はそれを埋めるだけの粒子が必要となり、コストがかかる。図6はめっき浴中に粒子を分散させて粒子を仮止めする

図3 ニッケル・コバルト合金めっきの物性

図4 電着砥石の作製方法

図5 粒子の仮止め法(1)

図6 粒子の仮止め法(2)

図7 電着ダイヤモンドの製品例

方法である。粒子の分散にはポンプやプロペラでかく拌するが、この方法は大きな粒子は分散浮遊しにくいので小さな粒子に限られる。また、粒子を均一に試料の表面に仮止めするには試料自身の揺動を必要とする場合がある。

最近では、後者と同じような方法で、超微細粒子をめっき浴中に分散させて、めっき皮膜中に粒子を取り込む方法(共析という)を「複合めっき」^{17),18)}といい、炭化ケイ素を共析した耐摩耗性皮膜やフッ素樹脂を共析した潤滑性皮膜が工業化されている。この他粒子が試料表面上に均一に仮止めできるように試料の形状、大きさ、使用目的などにより、いろいろな工夫がされている。

次に仮止めした粒子を固定、保持するためにめっきで埋め込みをする。埋め込みが多すぎると粒子がめっき皮膜に隠されてしまい、はじめは削れにくい状態にあるが、逆に埋め込みが少ないと粒子が脱落しやすくなる。佐藤ら¹⁹⁾は粒子の埋め込みの影響について詳細に検討し、70~80%の埋め込み率が砥石の研削性能、寿命に優れているとしている。

4. 電着ダイヤモンド、c-BN 工具の種類

難削材の加工にダイヤモンドやc-BN粒子をドリルやエンドミルなどの工具の表面に電着技術を用いて埋め込み、切削能率、加工精度の両面で良好な結果を得ている²⁰⁾。切削、研削用の砥石も図7のように種々の形状のものに均一に粒子が埋め込まれた製品が出ている。また、ダイヤモンド粒子をピアノ線に銅あるいはニッケルで電着して、脆性材料を切断するワイヤーソーもあり、その種類も多い。

5. おわりに

以上のようにダイヤモンド、c-BN粒子を電着技術を用いて埋め込まれた工具は多種多様であり、これからもいろいろな分野でそれぞれの用途に応じた製品が開発されていくものと思われる。

(2000-1-11 受理)

文 献

- 1) 土井 正, 古澤寛子, 水元和成, 斉藤いほえ, 焼田和明,

渡辺裕一；東京都立工業技術センター研究報告第 24 号 (1995)

2) 黛 政男, 高野文考；新素材利用技術フォーラムテキスト (1993)

3) S. Okada；*Annals of the CIRP*, 25, 219 (1976)

4) 岸 松平, 山本秀夫, 清野浦子；金属表面技術, 16, 11, 493 (1965)

5) 篠原長政, 水谷 泰, 木村善保, 光村武男；“めっき皮膜の性質, 研究報告書第 2 集”, 電気めっき研究会, p. 41 (1983)

6) 日本化学産業㈱カタログより

7) 千田恭一；特公昭 59-30671 (1984)

8) 伊藤 満, 鈴木 隆, 大村卓史；特公昭 59-205269 (1984)

9) 佐藤金司, 鈴木数夫；金属表面技術, 33, 285 (1982)

10) 鈴木数夫, 佐藤金司, 横山俊雄；表面技術, 44, 615 (1993)

11) 佐藤金司, 横山俊雄, 鈴木数夫；表面技術, 46, 371 (1995)

12) 伊藤 哲, 村田良司；精密工学会誌, 54, 101 (1988)

13) 中山 卓, 吉川昌範, 戸倉 和, 佐藤純一；精密工学会誌, 53, 1046 (1987)

14) 西羅正芳, 山岸憲史, 園田 司ら；表面技術協会第 82 回講演大会要旨集, p. 248 (1990)

15) 石川憲一, 諏訪部仁他；精密工学会誌, 62, 242 (1996)

16) 佐藤金司, 鈴木数夫；金属表面技術, 33, 285 (1982)

17) 西羅正芳, 山岸憲史, 鷹野 修；表面技術, 44, 140 (1993)

18) 榎本英彦, 石川直治, 松村宗順；複合めっき (日刊工業新聞社, 1989)

19) 佐藤金司, 鈴木数夫；金属表面技術, 35, 306 (1984)

20) 内山 潔；機械と工具, 5, 157 (1998)

平成 12 年度技術士第一次試験（国家試験）について

— 技術士法に基づく「技術士補」になるための試験 —

1. 受験申込書用紙等は, 平成 12 年 4 月 13 日 (木) から配布
2. 受験申込受付期間および場所
受付期間 平成12年 5 月10日 (水)～5 月19日 (金)
(土・日曜日を除く)
受付場所 下記の㈶日本技術士会 技術士試験センター
3. 試験の日時

年 月 日	試験科目	時 間
平成12年10月 8 日 (日)	共通科目	10：00～12：00
	専門科目	13：00～16：00

4. 試験科目
- 共通科目：数学, 物理学, 化学, 生物学, 地学から 2 科目を選択
- 専門科目：機械, 船舶, 航空・宇宙, 電気・電子, 化学, 繊維, 金属, 資源工学, 建設, 水道, 衛生工学, 農業, 林業, 水産, 経営工学, 情報工学, 応用理学, 生物工学, 環境の 19 技術部門から 1 科目 (1 技術部門) 選択

注：一定の学歴または所定の国家資格を有する者は, 共通科目が免除されます。

5. 試験地
札幌市, 仙台市, 東京都, 新潟市, 名古屋市, 大阪府, 広島市, 福岡市, 那覇市
6. 受験資格
年齢・学歴・業務経歴等による制限は一切ありません。
7. 受験申込書および受験の手引の請求先・詳細についての問合せ
㈶日本技術士会 技術士試験センター
〒105-0001 港区虎ノ門 4-1-20 田中山ビル 8 階
☎ 03-3459-1333, Fax. 03-3459-1338
8. 受験申込書等の請求方法 (郵送を希望する場合)
返送先を明記し, 200 円切手を貼った角形 2 号の返信用封筒を上記住所まで送付してください。その際受験の手引も必要な方は, 郵便定額小為替 500 円分を同封し, 郵便切手は 240 円としてください。
- 注：科学技術に関する業務経験が 7 年を超える方は, 直接技術士になるための第二次試験を受験することができます。