TiAl をベースとしたホイールによる ダイヤモンドの鏡面研磨技術

阿部利彦* 橋本 等** 武田修一*** 西村一仁****

1. はじめに

ダイヤモンドは物質中で最高の硬さ、熱伝導率、音速値を有している。このために工具、ヒートシンク、表面弾性波(SAW)デバイスなどに用いられているほかに、特異な電子的特性によって半導体、発光ダイオード、各種センサーとしての利用が期待されている。ダイヤモンドは天然品とともに多くの合成品が使用されており、粒状のものは超高压-高温法で、微粉末は爆発法で、膜状ダイヤモンドはCVD (Chemical vapor deposition) 法で合成されている。さらに微粉末ダイヤモンドは高压合成条件に近い温度-圧力下で、数%のCoなどを焼結助剤として焼結ダイヤモンドに成形されて、工具などに広く利用されている。このようにダイヤモンドの合成は多くの研究がなされて多大の成果をあげているのに対して、ダイヤモンドの加工、特に鏡面研磨技術に関する研究は非常に少ない。ダイヤモンドの研磨は専らダイヤモンド粉末、ダイヤモンドホイールによって行われているが、最近になってTiAlをベースとする金属間化合物は、すぐれたダイヤモンド研磨能力を有することが判明したので紹介したい。

2. ダイヤモンドの研磨技術

現在行われている「ダイヤモンド粉末によるダイヤモンドの研磨」は、1476年にオランダ人のベルンハムが確立したもので、それ以来ほとんど変化していない⁽¹⁾。ダイヤモンド粉末によって単結晶ダイヤモンドが研磨できるのは、ダイヤモンド結晶面、方位の硬さの異方性による。ダイヤモンドの(111)面は研磨がほとんど不可能と言われるほど耐磨耗性が高いが、(100)、(110)面は研磨されやすい。従ってダイヤモンド粉末、あるいは、ダイヤモンドホイールによれば、研磨面積が少ない単結晶ダイヤモンドは比較的簡単に研磨できる。一方、CVDダイヤモンドはあらゆる面を無秩序に含み、かつ薄膜で強度がなく、加工時に十分な圧力を加えられないので研磨は著しく困難である。現行のダイヤモンド研磨法によれば、2 cm 角で厚さ10 μm程度の膜を鏡面研磨するために数時間～十時間以上の研磨時間を必要としている。

3. ダイヤモンドによらないダイヤモンドの研磨技術

CVDダイヤモンドは膜厚の数分の一の凹凸を伴い、焼結ダイヤモンドは焼結助剤との硬さの違いのために表面凹凸が大きい。従ってこれらを商品化するには鏡面研磨が不可欠なので、効率の良いダイヤモンド鏡面研磨技術が研究されてきた。ダイヤモンド工具で鉄鋼を加工すると工具磨耗が激しいことは良く知られており、この現象を利用した方法に加熱鉄板研磨がある⁽²⁾。また、回転円板上にFe, Mn, Niなどの金属粉末を散布してダイヤモンドを鏡面研磨する方法も開発されており⁽³⁾、さらに、ダイヤモンドの表面を酸化後、純鉄工具により研磨を行う技術も開発されている⁽⁴⁾。なお、レーザー加工は切断、孔あけが主であって加工面の肌は粗い。

4. TiAlX によるダイヤモンドの鏡面研磨技術

ダイヤモンド工具は鉄鋼材料やTi合金を加工すると磨耗するが、凹凸の激しいCVDダイヤモンドや焼結ダイヤモンドの場合は、表面にこれらの切削屑が強固に付着するので研磨は進行しない。一方、メカニカルアロイング法によるTiAl焼結体をダイヤモンドラッピング板で研磨すると、その研磨能力は急速に失われるのに対して、切削粉の付着は少ない。そこで直径70 mm、厚さ10 mmのTiAl円板を旋盤に取り付けて回転し、CVDダイヤモンドを押し付けたところ、60 s程度の摩擦でダイヤモンド表面が部分的に鏡面化した。本実験に用いたメカニカルアロイング法によるTiAlの製造⁽⁵⁾と、砥石形状への形状付与焼結法⁽⁶⁾については既に報告があるので、ここでは概略を述べる。

原料粉としては粒径150 μm以下、純度99.9%のAl粉末、Ti粉末、Cr粉末を用い、これらを52 at%Ti-46 at%Al-2 at%Crの比率でボールミルに装入した。添加元素としてはCr以外にMn, Fe, Co, Ni, Cu, Nbなどの効果を調べた。これらの混合粉末をアルゴンガス中で100時間、次いでアルゴン+1 vol%窒素ガス中で50時間、最後に再びアルゴンガス中で250時間ミリングした。得られた粉末から粒径33 μm以下のTiAlをふるい分けてパルス通電焼結法により回転砥石形状に焼結した。ホイール部は直径30 mm、厚さ5 mmと

* 東北工業技術研究所 材料システム研究室長(〒983-8551 仙台市宮城野区苦竹4-2-1)

** 東北工業技術研究所 材料システム研究室主任研究官

*** 有限会社アブライドダイヤモンド技術部長

**** 高知県工業技術センター主任研究員

Mirror Polishing of Diamond by TiAl based Intermetallic Wheel; Toshihiko Abe*, Hitoshi Hashimoto**, Shuuichi Takeda***, Kazuhito Nishimura****(*:**Tohoku National Industrial Research Institute, Sendai. ***Applied Diamond Inc, Hiratuka. ****Kouchi Industrial Research Center, Kouchi)

Keywords: chemical vapor deposition (CVD) diamond, sintered diamond, mechanical alloying, TiAl, pulse discharge sintering, polishing
2000年12月20日受理

図1 パルス通電加熱法によるTiAlとTi-6Al-4V棒の一体化焼結。

図2 焼結ダイヤモンド(5%Co)表面のSEM像。
A: 研磨前, B: TiAl ホイールにより60s 研磨。

図3 TiAl ホイールによって鏡面研磨したダイヤモンドコーティンググーエンドミルの刃先。

して、これをフライス盤あるいはボール盤に取り付けるために直径7mm長さ50mmのTi-6Al-4V合金棒と一体化焼結した。焼結温度1273K、保持時間300s、圧力49MPaであり、焼結雰囲気は2Paの真空である。研磨用ホイールを一体化焼結する時の配置を図1に示す。焼結体の結晶粒径は1μm程度の微細組織であり、硬さはHv560である。さらに強度は逆温度依存性があり、室温の曲げ強さ800MPaは900K付近で1200MPaに増加する。

このようにして製造したホイールをボール盤、旋盤、フライス盤に取り付け、260~3000rpmで回転させてその研磨能力を以下の4種類のダイヤモンド試験片によって調べた。

- ① 15mm×15mmのポリシリコン基板上に気相合成した膜厚10μmのダイヤモンド、② 10mm×10mmで膜厚500μmに気相合成したダイヤモンド自立膜、③ 直径50mmの超硬合金基板上に焼結した5%Coを含む焼結ダイヤモンド、④ 1カラットの単石ダイヤモンドドレッサー。

この結果、いずれの試験片も60~180sの摩擦によってホイールと接触したダイヤモンド面は鏡面に研磨された。図2はホイール回転数3000rpmで60s研磨した焼結ダイヤモンドの研磨面を示す。図3は本方法によって鏡面研磨したダイヤモンドコーテッドエンドミル先端の刃面であり、白い部分が鏡面研磨されている。このように比較的凹凸が小さいダイヤモンドの表面は容易に研磨することが可能であった。また、単結晶ダイヤモンドは(111)面も他の面と同様に研磨可能であった。しかしながら、②の粗いダイヤモンド面や、④の単結晶ダイヤモンドの角がホイールに接触すると、ホイールの部分的な破損が発生した。このような場合には回転中のホイールを小さなバーナーで650K程度に加熱すると損傷が防止され、ダイヤモンドに対する研磨能力は向上した。

5. 考 察

TiAlをベースとするホイールとダイヤモンドの接点では以下のような過程で研磨が進むと考えられる。

- (1) きわめて微小な接触部は融点近くまで加熱される。
- (2) 加熱された部分ではTiとダイヤモンドが反応してTi

炭化物が生じるか、あるいは、黒鉛化する。

(3) TiAlをベースとする金属間化合物は、強度の逆温度依存性によって赤熱状態で最高強度になるので、ダイヤモンド表面に生じた高温の炭化物、あるいは、黒鉛層は砥石との摩擦によって除去される。

上記の(1)については、磨耗粉の中に溶解したと考えられる球状粒子が稀に観察されることから推測できる。(2)に関しては、磨耗粉は強加工されてブロードなX線回折波形を示すので生成相が同定できていない。(3)に関係する現象として、TiAlはアルミナ等の砥石で研削すると激しい火花を発するが、ダイヤモンドとの摩擦では火花を発生しない。このことは、ダイヤモンドとの摩擦で生じる磨耗粉の主成分は容易に発火する金属ではなく、化合物化している可能性が大きい。しかしながらホイールの磨耗は少なく研磨粉の発生は微量である。さらに回転数を下げる、あるいは砥石組成を大きく変えたと(例えばTi₂AlNb)研磨面は鏡面にならないなどの現象が観察されている。

6. ま と め

メカニカルアロイング法で合成し、パルス通電焼結法で成形したTiAl-2Crホイールを用いると、CVDダイヤモンド、焼結ダイヤモンド、単結晶ダイヤモンドとの摩擦面は短時間で鏡面化することが分かった。

なお、本技術はNEDOの地域コンソーシアム研究開発制度により「鏡面ダイヤモンド膜を有する高機能金型の開発」として実用化をめざしている。

文 献

- (1) 砂川一郎：ダイヤモンドの話、岩波新書、(1964)、75。
- (2) 楊 政峰、吉川昌範：精密工学会誌、57(1991)、504。
- (3) 公開特許公報特開平8-217597。
- (4) 公開特許公報特開平9-29527。
- (5) H. Hashimoto, T. Abe and Zheng-Ming Sun: Intermetallics, 8(2000)、721。
- (6) 阿部利彦、橋本 等、斎藤吉信、西沢義喬、武田裕正：まてりあ、39(2000)、69。