

CVDダイヤモンドの耐摩耗性と機械分野への応用技術

Wear Resistance of CVD Diamond and Application Technology in Mechanical Field

キーワード

ダイヤモンド、気相合成、CVD、切削工具、耐摩耗、研磨、レーザ加工、ろう付け、コーティング、切削試験

技術開発部材料開発部

神田一隆

高野茂人

渡辺良一

工具製造所技術一部

米島弘栄

■ 摘要

CVDダイヤモンドの合成方法が開発されてから14年以上が経過した。しかし、機械分野におけるCVDダイヤモンドの応用は切削工具を除いてあまり進んでいない。その原因としては様々な理由が挙げられるであろうが、CVDダイヤモンドの応用技術の不足もその主要な原因のひとつである。本研究では、CVDダイヤモンドを機械分野で用いる際の基本特性ともいえる耐摩耗性を、SiC粒を用いたショットブラストおよびアブレッシブなアルミ合金の旋削試験にて評価した結果について述べる。また、CVDダイヤモンドを機械分野へ応用するのに必要な研磨、レーザー切断およびろう付け技術についても述べる。

■ Abstract

More than 14 years has been past from the development of CVD diamond synthesis method. However, CVD diamond is not sufficiently utilized in mechanical field except cutting tools. Many causes may be pointed out for this, but lack of application technologies of the CVD diamond may be one of the major reason. In this study, wear resistance of CVD diamond, which are basic characteristic for the utilization of the CVD diamond in mechanical field, are evaluated by the shot blasting test with SiC powder and turning tests of highly abrasive aluminium alloy. Application technologies related to the utilization of CVD diamond in mechanical field are also described for grinding, laser cutting and brazing.

1. はじめに

我々の生活の中ではダイヤモンドを宝石として見る機会が多いが、実際には機械加工の分野でそれよりはるかに多くのダイヤモンドが用いられ、近代産業に欠かせない材料となっている。ダイヤモンドはその際だった硬さに特徴があり、身近なところでは舗装道路切断に使うカッター刃、コンクリートに穴を明けるホールソーに使われている。また、石油掘削用のビット、石材加工用カッター、各種砥石、半導体切断用ダイシングソー、切削工具などとして、我々が生活する上で欠かせない商品を生産するためにも使われている。

ダイヤモンドが工業用に使われるようになったのは第二

次世界大戦の頃からと言われ、その後も徐々に消費が伸びてきたが、その動きに弾みをつけたのが高圧合成ダイヤモンドの登場である。これにより1960年代後半からその消費量が急激に伸び、1990年の統計では旧共産圏を除いて3.5～4億カラットに達している。現在ではその約90%を合成ダイヤモンド（内、約10%はcBN）が占めている。

ダイヤモンド気相合成の研究は、高圧合成の研究と同時期から始まっていたが、気相合成の方はなかなか日の目を見なかった。実用的なダイヤモンドの気相合成法^{(1),(2)}が發明されたのは1956年になってからであり、これは日本の無機材質研究所で發明されたことで有名である。気相合成法の特徴は特にダイヤモンドを膜として基材の表面に合成できることである。その發明により平面あるいは複雑形状品

の上にダイヤモンドの合成が可能となり、従来とは異なった用途が開けるものと期待された。ダイヤモンドは硬度、熱伝導度、弾性率、光透過性、摩擦特性などに比類のない優れた性質をもち、また半導体であることからそれぞれの特徴を生かした分野への応用研究が活発に開始された。我々が属する機械金属の分野でもこの発明が目され、ダイヤモンドの高硬度という特性から切削工具や耐摩耗部品に最適なダイヤモンドコーティング工具を目指して開発^{(3),(4),(5)}が進められた。その結果、当社では顧客に十分に満足していただける優れた性能のダイヤモンドコーティング工具を提供することができるようになった⁽⁶⁾。

しかしながら、気相合成ダイヤモンド(CVDダイヤモンド)の市場は当初予測されたほど大きく育っていないのが実情である。1990年の予測(ダイヤモンドとダイヤモンド状カーボン膜を含む)では1995年には80億円/年の市場規模と予測されていたが、現状はおそらくその1桁以下であろう。その要因としてはCVDダイヤモンド製造技術あるいは周辺技術が未発達で、期待される性能が出ていないなどが考えられる。

本報ではCVDダイヤモンドの機械的な特徴ならびに機械分野への応用に関連する技術について述べる。

2. ダイヤモンド合成方法

実用的なダイヤモンドの気相合成方法として最初に熱フィラメント法が発明され、これを契機にマイクロ波法、高周波法、直流放電法、熱プラズマ法、燃焼炎法などが次々に発明された。いずれの方法も原料ガスを熱やプラズマにより活性化し、その雰囲気中でダイヤモンドを合成する。これらの方法の内、熱フィラメント法とマイクロ波法はダイヤモンドコーティングによく用いられており、熱プラズマ法はダイヤモンドを高速で合成できることからダイヤモンド板の製造に用いられる。最近、マイクロ波法についても高出力化により高速合成が可能になり、ダイヤモンド板の製造にも用いられるようになってきた。

本報告中のダイヤモンドコーティング品ならびにCVDダイヤモンド板は熱フィラメント法ならびにマイクロ波法を使って製造されている。参考までに図1および図2にそれぞれの原理図を示す。開発当初はメタンと水素が原料ガスとして使われたが、メタノールやアセトンと水素の組み合わせ、あるいは酸素とアセチレンの組み合わせ(燃焼炎法)も使われるようになり、現在では(C, H, O)の組み合わせであれば、その成分比を適切に調整することによってどのような混合ガスでもダイヤモンドができるという

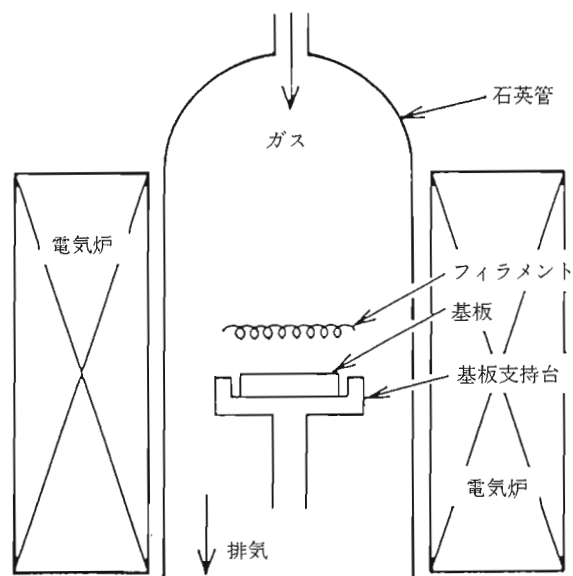


図1 熱フィラメントCVD法の装置概略図

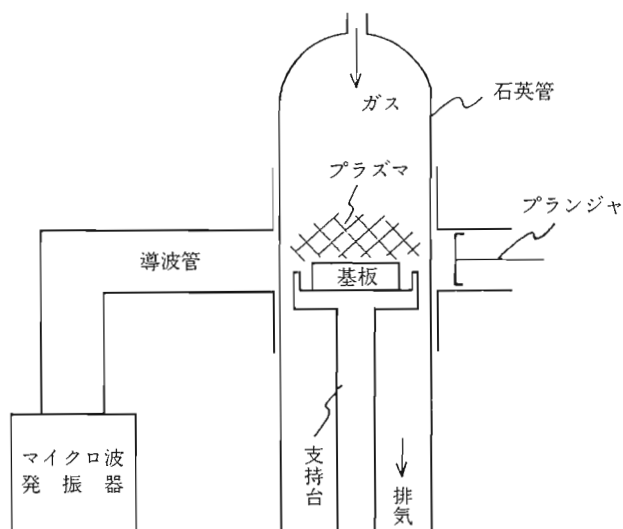


図2 マイクロ波CVD法の装置概略図

ことが判っている⁽⁷⁾。合成時の基板温度は通常1000~1300Kの範囲に保たれる。一般に投入エネルギーが大きいほど膜の成長速度は速くなるが、基板温度も上昇するので、その制約から投入エネルギーの上限が決まる。

ダイヤモンドの合成速度は通常の熱フィラメント法やマイクロ波法では0.5~5 $\mu\text{m}/\text{h}$ であり、熱プラズマ法では約1000 $\mu\text{m}/\text{h}$ という記録がある。

3. ダイヤモンド合成用基板

ダイヤモンドコーティングを切削工具に応用する場合には、その基板は切削時の応力に耐える強度を持つ材料でなければならない。切削工具材料としては高速度工具鋼、超硬合金、サーメット、窒素珪素、アルミナなどが使われて

いるが、ダイヤモンドは他の物質との濡れ性が悪いので、高い付着強度の得られる基板材料は限られている。鉄やコバルトなどの表面には黒鉛が生成されやすいため、これらを基板としてダイヤモンドを合成すると、黒鉛の上にダイヤモンドが合成され、膜は容易に基板から剥離する。また、合成温度が1000~1300Kという高温であるのに加え、ダイヤモンドの熱膨張係数が多くの基板材料より小さいため、付着強度が低いと、室温まで冷却する間に熱応力により基板から剥離する。数十 μm 程度のダイヤモンド膜をコーティングし、室温まで冷却しても剥がれない基板材料を付着強度の高い材料とするならば、そのような材料としては超硬合金。窒素珪素、炭化珪素、シリコン、タングステン、モリブデンなどがあげられる。

ダイヤモンドコーティング工具の開発における最大の課題は付着強度の確保であったが、我々は、超硬合金を対象に核発生密度の増大、基板組成の選択と結合相の調節など様々な対策を行なうことにより、その課題を克服している^{(6),(8)}。

CVDダイヤモンド膜を自立させた状態で板として使う場合には基板は切削工具材料である必要はなく、成膜後自立ダイヤモンド膜を剥離しやすい材料の方が選択される。X線マスクや赤外分光用窓材のような枠付き自立薄膜の場合にはシリコン基板状にダイヤモンド膜を合成し、その後枠部分を残して基板を溶解することにより作製できる。膜厚が100 μm を越すような厚い自立膜を作製する場合でもシリコンはダイヤモンド膜との付着性が適度に強く、また平滑に加工された単結晶基板が容易に入手できるので都合がよい。成膜後は弗化水素酸と硝酸の混液で基板を溶解することにより自立膜が得られる。タングステンもダイヤモンドとの付着強度が高く、熱膨張係数もダイヤモンドに近いので冷却後も剥離の心配はないが、反面、基板からの除去が大変である。モリブデンもダイヤモンドとの付着強度の高い材料であるが、ダイヤモンドとの熱膨張係数差が大きい。したがって、十分に厚い膜を合成すれば合成温度から室温に冷却する段階で熱応力により基板から自然に剥がれ自立膜が得られる。これらの厚い自立膜は後述のCVDダイヤモンドろう付け切削工具などに応用される。

4. ダイヤモンド膜の膜質と耐摩耗性

4.1 ダイヤモンド膜の膜質の制御

ダイヤモンドが機械分野で用いられるのは、硬度と耐摩耗性が必要な場合である。しかし、CVDダイヤモンド膜がどのような硬さや摩耗特性を持つかという情報は少ない。ダ

イヤモンド合成用原料ガス中の炭素濃度を変えると合成される膜の質が変化し、炭素濃度が高くなるほど膜中に含まれる非ダイヤモンド成分の割合が徐々に増加する。図3はメタンと水素を原料として合成したダイヤモンド膜の硬度変化のメタン濃度依存性を調べたものである⁽⁹⁾。CVDダイヤモンドの熱伝導率がメタン濃度の増加とともに急激に低下するのに対して硬さの変化は比較的穏やかである。

原料ガス中の炭素濃度によりダイヤモンドの膜質も変化するが、それとともに結晶配向も変化する。図4はマイクロ波法により、メタン/水素/一酸化炭素系原料ガスを用いて合成したダイヤモンド膜のモルフォロジー変化を示し、図5はそれらに対応する膜のX線回折パターンを示す。X線回折によれば、メタン濃度が低いとき、ダイヤモン

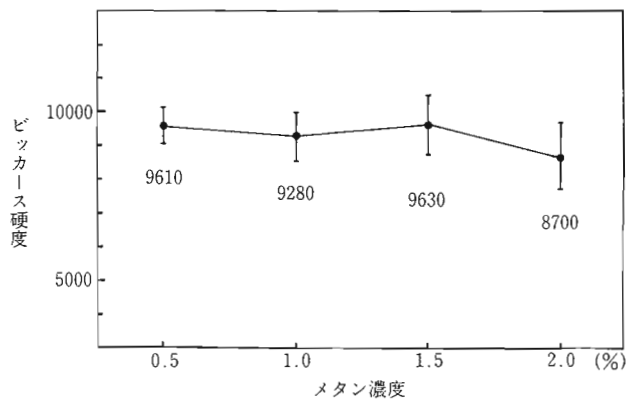
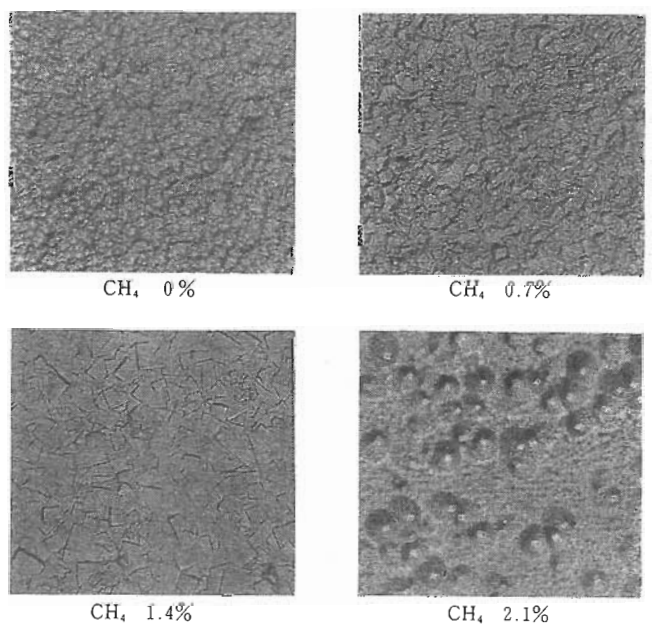
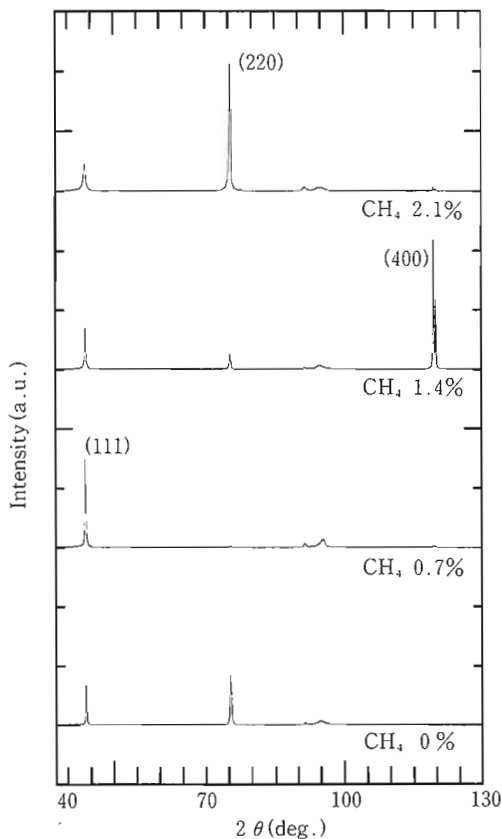


図3 水素-メタン系ガスで合成したCVDダイヤモンド膜の硬度のメタン濃度依存性



合成条件：CO濃度：30%，CH₄濃度：0~2.1%，残部：H₂、基板温度：850℃、合成時間：20h

図4 マイクロ波法により合成したCVDダイヤモンド膜のモルフォロジーの変化（光学顕微鏡写真）



合成条件；CO濃度：30%，CH₄濃度：0～2.1%，残部；H₂
基板温度：850℃，合成時間：20h

図5 マイクロ波法により合成したCVDダイヤモンド膜の結晶配向の変化（X線回折）

ド膜は(111)配向を示すが、濃度の増加とともに配向が変化し、特定の狭い濃度範囲で(100)配向を示すようになる。さらにメタン濃度を増加させると、結晶が微細化しながら(220)配向へと変わる。ダイヤモンド膜の膜質の変化はラマン分光でも評価され、膜の配向の影響は受けるものの、メタン濃度の増加とともにダイヤモンド膜中の非ダイヤモンド成分が徐々に増加することがわかっている。

4.2 ショットブラストによる耐摩耗性の評価

アブレッシブ摩耗に対するCVDダイヤモンドの耐摩耗性を評価するため、質を変えて作製した板厚が約0.5mmのダイヤモンド板を用いてショットブラスト法により膜の耐摩耗性を評価した。試験は図6に示すように直径10mmのCVDダイヤモンド板をショットブラストのノズルから50mmの位置に吹き出し方向に直角に置き、これに#80のSiC砥粒を3.5kgf/cm²の圧搾空気とともに30分間吹き付けることによって行なった。図7はショットブラスト前後のCVDダイヤモンド板の表面写真である。板の重量変化も測定したが、変化量が小さく秤の誤差に埋没した。したが

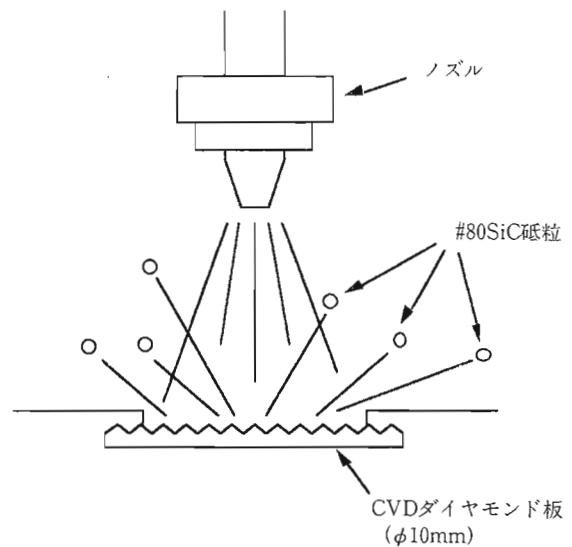
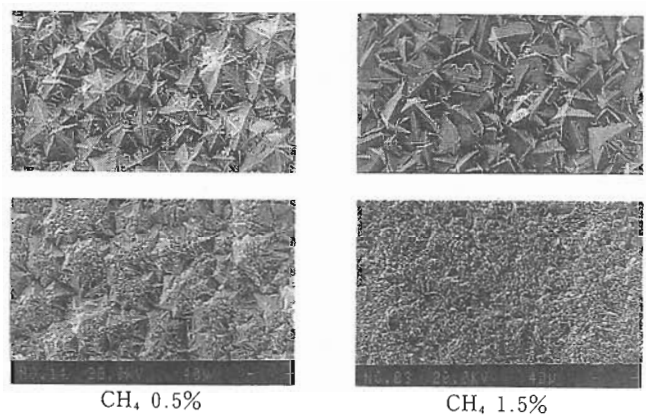


図6 ショットブラスト法によるCVDダイヤモンド膜の耐摩耗試験方法



上段は試験前、下段は試験後

図7 ショットブラスト前後のCVDダイヤモンド膜表面

って、表面写真のみによる評価ではあるが、低メタン濃度で作製した膜の方が、ショットブラスト後にも元の結晶粒の姿をとどめているので、アブレッシブ摩耗に対しては低メタン濃度で作製したダイヤモンド膜の方が強いことがわかる。

4.3 CVDダイヤモンド板ろう付けチップによる評価

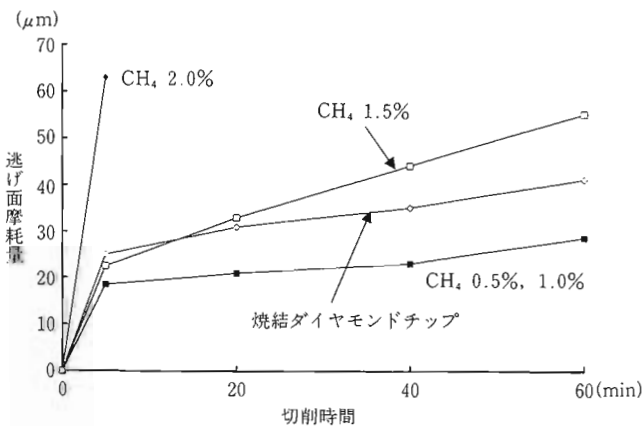
CVDダイヤモンド板をろう付けした切削チップが試験的に使われているが、その切削性能は刃先を形成するCVDダイヤモンドの質に左右されると考えられる。そこで、質の異なるCVDダイヤモンド板を合成し、切削試験によりそれぞれの耐摩耗性を比較した。被削材にはシリコンを18%含有するアルミ合金を用いた。この合金のマトリクス中には50μm程度のシリコン粒子が均一に分散しており、高強度で耐摩耗性に優れたアルミ合金として使われているが、通

常のアルミ合金の切削に比べ工具の寿命が著しく短いという問題がある。評価用のCVDダイヤモンド板は前記ショットブラスト試験に用いたものと同様な方法で作製した。図8には切削試験の結果を示す。切削条件は図中に記してある。

図8からわかるように、メタン濃度が1%までは耐摩耗性が良好で、焼結ダイヤモンドより摩耗量が少なくなっている。しかし、メタン濃度をさらに上げて作製したCVDダイヤモンド板の方はメタン濃度とともに摩耗速度が早くなっており、CVDダイヤモンドの質が耐摩耗性に影響を与えていることがわかる。アブレッシブ摩耗に対しては、硬度の高い材料の方が耐摩耗性も高いので、図3の結果からも、メタン濃度の低い条件で作製したCVDダイヤモンドの方が耐摩耗性が高いことが理解できる。しかし、メタン濃度を下げダイヤモンドの質を上げると、合成速度も遅くなるので、実用にあたっては適切な条件の選択が肝要となる。

4.4 コーティング工具による評価

当社ではダイヤモンドコーティング工具を市販し好評をいただいている。これらの工具の表面には経験的に十分に耐摩耗性の高いと考えられる膜がコーティングされているが、膜質と摩耗あるいは工具寿命との関係が明確ではなかった。そこで、膜質の異なるダイヤモンドを超合金製スローアウェイチップにコーティングし、切削試験によりその耐摩耗性を調査した。膜質の調整はメタン/水素系原料ガス中のメタン成分を変えることによって行なった。被削材には前記切削試験と同じシリコンを18%含有するアルミ合金を用いた。図9には切削試験の結果を示す。切削条件は図中に記してある。



被削材：Al-18%Si(T6)，切削速度：500m/min，送り：0.1mm/rev
切込み量：0.2mm，形状：SPGN120308，乾式切削

図8 メタン濃度を変えて作製したCVDダイヤモンドろう付けチップの切削による耐摩耗性比較

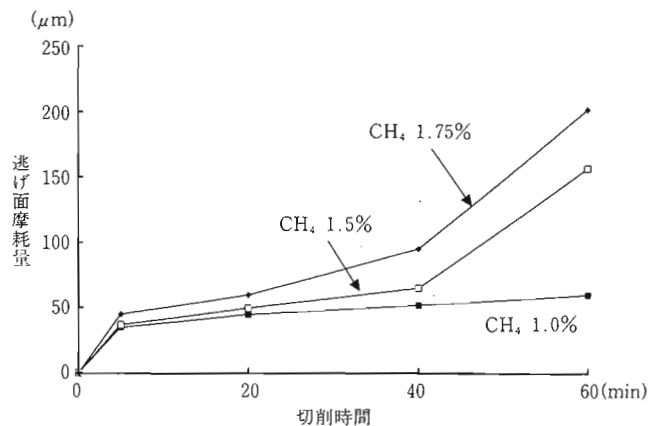
本試験においてもCVDダイヤモンド板ろう付けチップの切削試験の結果と同様にメタン濃度1%で合成した膜は耐摩耗性が良好で、さらにメタン濃度を上げると耐摩耗性が低下するという結果となった。メタン濃度1.5%および1.75%の前逃げ面摩耗幅は切削の後期で急に大きくなっているが、これはダイヤモンド膜の摩耗が速く進行し、試験の途中で超合金母材が露出し、以後急速に摩耗が進行したためである。

ダイヤモンドコーティング工具の膜質については、(100)配向させた方が膜表面が平滑になり、したがって平滑な加工面が得られ、切り屑の排出も滑らかになるのではないかとされているが、工具寿命の点からは低メタン濃度で作製した(111)配向膜の方が好ましいと言える。

5. 機械分野への応用に関連する技術

5.1 ダイヤモンドの研磨

CVDダイヤモンドは図7に見られるように膜の成長とともに粒のサイズが大きくなり、表面粗さも粗くなる。ただし、シリコンやモリブデンなどのダイヤモンド合成用基板に接していた面は基板の表面粗さがそのまま転写されるので、CVDダイヤモンド板の片面は成長のままでも平滑になっている。したがって、CVDダイヤモンド板を切断し、ろう付け工具として用いる場合には成長面を台金側に向けてろう付けすることにより、平滑な表面を持つ工具を得ることができる。しかし、ろう付けせずに用いられる耐摩耗部品あるいは切削工具の場合には成長面側が表面となるため、その表面は粗く、よりひろい分野に向けてCVDダイヤモンドの応用展開を計るためにはダイヤモンド表面の研磨が不可欠となる。

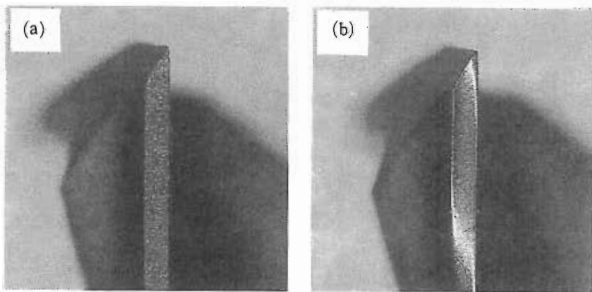


被削材：Al-18%Si(T6)，切削速度：500m/min，送り：0.1mm/rev
切込み量：0.2mm，形状：SPGN120308，乾式切削

図9 メタン濃度を変えてコーティングしたスローアウェイチップの切削による耐摩耗性比較

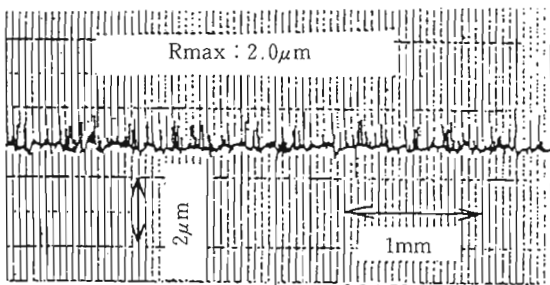
図10はダイヤモンドコーティングを施した直径3 mmのドリルの外周マージン部研磨前後の写真である。コーティング後の膜表面の粗さを改善するため、砥石を用いて研磨したもので、これによりGFRPの穴加工で問題になったバリ高さを低くすることができた。同様な加工を特定のリーマについても行っており、やはり加工面粗さを改善することができる。

一方、CVDダイヤモンド板の研磨については、活性水素の存在下で加熱された鉄板と接触させて加工する方法⁽¹⁰⁾、レーザーで膜表面を平滑に加工する方法⁽¹¹⁾あるいは低融点合金を用いて化学的に溶解する方法⁽¹²⁾などが提唱されている。しかし、平板の平滑化加工に限れば、現在焼結ダイヤモンドの加工に用いられているメタルボンド砥石による加工が効率的である。図11は直径20mm、厚さ0.5mmの

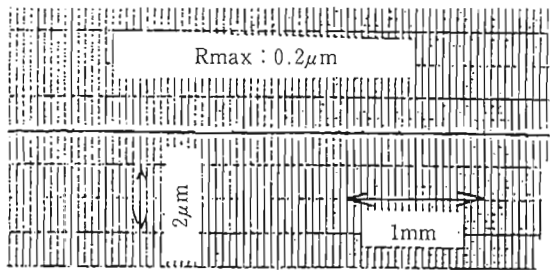


(a)研磨前, (b)研磨後

図10 ダイヤモンドコーティング後のドリルのマージン部膜表面の研磨前後の写真



a) 研磨前



b) 研磨後

砥石：メタルボンド砥石250Dx35W (#250)，回転数：1000rpm
ワーク回転数：10rpm，圧力：0～1kgf/cm²，乾式

図11 CVDダイヤモンド板研磨前後の表面粗さ

CVDダイヤモンド板の基板に接していた側を#250のメタルボンド砥石を用いて乾式で研磨したときの研磨前後の表面粗さを示すチャートである。これによりRa0.2μm以下の鏡面が得られ表面粗さが著しく改善されることがわかる。

5.2 CVDダイヤモンドのレーザー加工

現在、焼結ダイヤモンドはワイヤ放電加工で切断加工が行われているが、電気絶縁性のCVDダイヤモンドはこれと同じ工程をとることができない。しかし、幸いなことに切断加工にはレーザーが非常に有用であった。図12には30WのYAGレーザーを用いて切断したCVDダイヤモンド片を示す。不活性ガス雰囲気中のレーザー切断は溶融炭素の再付着物が切断面近傍に残るが、空気あるいは酸素中に行えば、レーザー照射により高温になったダイヤモンドが酸素と反応しガス化するのできれいな切断面が得られる。また、ラマン分光による調査でもレーザー切断による切断面近傍のダイヤモンド黒鉛化は見られなかった。

このように、YAGレーザーを用いて、適切な条件を選ぶことにより、50μmほどの線幅でCVDダイヤモンドを効率よく切断することができる。

5.3 CVDダイヤモンドのろう付け

CVDダイヤモンドを利用するにあたっての問題点の一つにろう付けの難しさがある。ダイヤモンドは他の物質との濡れ性が低いため、通常の銀ろうでは接合できず、一般にTiやZrの入った活性金属ろうが用いられている。この活性金属ろうによる接合は大気中では行えず、真空中かアルゴンガス中で行わなければならないが、真空中でのろう付けは制約が大きく、かつ作業能率が悪い。一方、CVDダイヤモンド板の競合相手である焼結ダイヤモンド工具は大気中でろう付けされるので手軽である。CVDダイヤモンドの

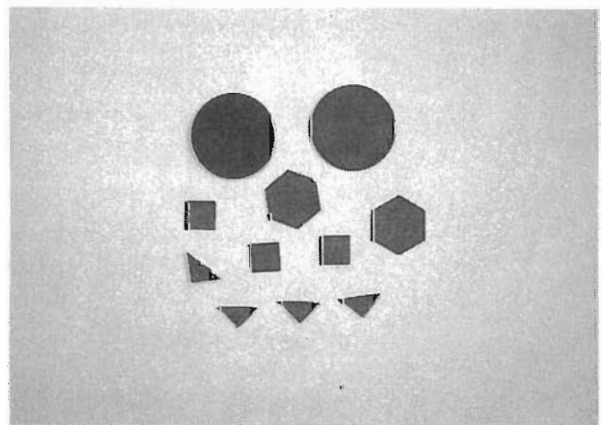


図12 YAGレーザーで切断したCVDダイヤモンド板

ろう付け作業の改善は切断面のCVDダイヤモンド板を真空中でメタライズし、これを切断後大気中でろう付けするか、または簡便なアルゴン雰囲気を作り、その中でろう付けすることによって実現できる。ちなみに、前述のCVDダイヤモンド板の切削による耐摩耗性評価に用いたろう付けチップはTi, Cu, Agを含む市販の活性金属ろうを用いてアルゴン雰囲気中でろう付けしたものである。

6. おわりに

CVDダイヤモンドの機械分野への応用に関連する、CVDダイヤモンドの膜質と硬度および耐摩耗性の関係、CVDダイヤモンドの研磨、レーザ加工およびろう付け技術について概説した。機械分野への応用では多くの場合焼結ダイヤモンドがCVDダイヤモンドとの比較の対象となる。本報告の結果からも判るように、適切な条件下で作製されたCVDダイヤモンドは焼結ダイヤモンドを凌ぐ耐摩耗性を持ち、ドリルやエンドミルのように複雑な工具表面にもコーティングできるという利点がある。また、耐食性も結合材を含む焼結ダイヤモンドより著しく優れている。このように優れた特徴を持ちながら現在のところコーティング工具以外ではCVDダイヤモンドは機械分野ではあまり使われていない。その理由としては周辺技術の不足や製造コスト高があげられる。当社でもCVDダイヤ関連品の生産コストを下げるべく努力を続けているところであるが、また現状のCVDダイヤモンドコーティングはPVD法による硬質被膜のコーティングに比べかなり生産性が低い状態である。ダイヤモンドコーティングの母材が特定の材料に限られることや、複雑形状品あるいは大型品にコーティングできないことなども用途の拡大を妨げている一因である。また、CVDダイヤモンド表面は膜厚とともに粗くなる傾向がある。これを平滑に加工したいというニーズも強いが、ダイヤモンドが最高硬度を持つという特徴が、逆に障害となっており、能率の良い加工方法の開発が望まれるところである。

CVDダイヤモンドは機械分野においては、例えば切削工具、線引きダイス、精密カッター刃、摺動面部材、耐摩耗部材などに用いられると期待されている。これらの用途にCVDダイヤモンドを広く普及させるためには上記課題を解決するためのたゆまない努力が必要であろうと考えている。

文 献

- (1) S. MATUMOTO, Y. SATO, M. KAMO and N. SETAKA; Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 21, L183(1982)
- (2) M. KAMO, Y. SATO, S. MATUMOTO and N. SETAKA; J. Cryst. Growth, Vol. 62, p642(1983)
- (3) M. MURAKAWA, S. TAKECHI, H. MIYAZAWA and Y. HIR-
OSE; Surf. Coat. Technol., Vol. 36, p.303(1988)
- (4) 菊池則文, 吉村寛範; ニューダイヤモンド, Vol. 3, No.3, p.26(1987)
- (5) J. Oakes, X. X. Pan, R. Haubner and B. Lux; Surf. Coat. Technol., Vol. 47, p.600(1991)
- (6) K. KANDA, S. TAKEHANA, S. YOSHIDA, F. SHIMAKURA and K. ISHIGANE; Proc. of 2nd Conf. ADC93, Ohmiya, MYU, Tokyo, p.565(1993)
- (7) P. K. Bachmann and W. van Enckevort; Diamond and Related Materials, Vol.1, 1021(1992)
- (8) K. KANDA, S. TAKEHANA, S. YOSHIDA, R. WATANABE, S. TAKANO, H. ANDO and F. SHIMAKURA; Surf. Coat. Technol., Vol. 73, p.115(1995)
- (9) Y. SEINO et al; J. Mat. Sci. Lett., Vol. 11, p.515(1992)
- (10) 楊政峰, 吉川昌範; ニューダイヤモンド, Vol. 4, No. 4, P.18(1988)
- (11) 手塚信一, 吉川昌範; ニューダイヤモンド, Vol. 6, No. 2, p.36(1990)
- (12) M. McCormac, S. Jim, J. E. Graevner, T. H. Tiefel and G. W. Kammlott; Diamond and Related Materials, Vol. 3, p. 245(1994)



神田一隆

1975年東北大学大学院博士課程(原子核工学)修了, 同年, 東北大学工学部勤務, 1986年榊不二越に入社, 技術開発部材料開発部にてダイヤモンド気相合成技術の開発に従事, 現在に至る。



高野茂人

1992年神戸大学大学院修士課程(化学工学)修了, 同年, 榊不二越に入社, 技術開発部材料開発部にて, ダイヤモンド気相合成技術の開発に従事, 現在に至る。



渡辺良一

1976年東京工業大学大学院(金属工学)修了, 同年, 榊不二越に入社, 工具製造所を経て, 1985年より技術開発部加工技術部にて複合研削, レーザ, 溶射等の加工技術開発に従事, 1991年より技術開発部材料開発部にてCVDダイヤモンドの切断, 研磨, ろう付けなどの技術開発を担当, 現在に至る。



米島弘栄

1994年新潟大学大学院修士課程(電子工学)修了, 同年, 榊不二越に入社, 技術開発部材料開発部にてダイヤモンド気相合成技術の開発に従事, 1995年より工具製造所に移籍, ダイヤモンドコーティングを担当し, 現在に至る。