

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4424555号
(P4424555)

(45) 発行日 平成22年3月3日(2010.3.3)

(24) 登録日 平成21年12月18日(2009.12.18)

(51) Int.Cl.

F I

B 2 3 B 27/14 (2006.01)

B 2 3 B 27/14 A

B 2 3 B 51/00 (2006.01)

B 2 3 B 51/00 J

B 2 3 C 5/16 (2006.01)

B 2 3 C 5/16

B 2 3 B 27/20 (2006.01)

B 2 3 B 27/20

C 2 3 C 14/06 (2006.01)

C 2 3 C 14/06 F

請求項の数 9 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2008-137452 (P2008-137452)
 (22) 出願日 平成20年5月27日(2008.5.27)
 (65) 公開番号 特開2009-6470 (P2009-6470A)
 (43) 公開日 平成21年1月15日(2009.1.15)
 審査請求日 平成20年12月9日(2008.12.9)
 (31) 優先権主張番号 特願2007-146542 (P2007-146542)
 (32) 優先日 平成19年6月1日(2007.6.1)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 304027349
 国立大学法人豊橋技術科学大学
 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1
 (73) 特許権者 501377645
 株式会社オンワード技研
 石川県能美市吉原町ワ-13
 (74) 代理人 100102141
 弁理士 的場 基憲
 (72) 発明者 滝川 浩史
 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1 国立
 大学法人豊橋技術科学大学内
 (72) 発明者 長谷川 祐史
 石川県能美市吉原町ワ-13 株式会社オ
 ンワード技研内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 DLC被覆工具

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基材上に実質的に水素を含まないDLC膜を形成して成るDLC被覆工具であって、上記DLC膜の密度が $3.0 \sim 3.4 \text{ g/cm}^3$ 、ナノインデンテーション硬さが $40 \sim 100 \text{ GPa}$ であると共に、針先端曲率半径 $2 \mu\text{m}$ の触針式表面形状測定器による測定送り 0.01 mm の表面走査検出において、上記基材の成膜前における被成膜面の算術平均粗さ $R_a(S)$ に対するDLC膜面の算術平均粗さ $R_a(D)$ の絶対値変化量 $\Delta R_a(\text{nm})$ と当該DLC膜の膜厚 $t(\text{nm})$ との比 $\Delta R_a/t (= |R_a(D) - R_a(S)|/t)$ が 0.1 以下、且つ上記DLC膜表面における異物粒子の付着及び／又は脱離に起因する直径 $0.1 \mu\text{m}$ 以上の凸凹の占有面積率 s の膜厚 t に対する比 s/t が $0.01 (\% / \text{nm})$ 以下であることを特徴とするDLC被覆工具。

10

【請求項2】

上記DLC膜の膜厚が $10 \text{ nm} \sim 1 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1に記載のDLC被覆工具。

【請求項3】

上記DLC膜が圧縮応力を有し、その内部応力が $6 \sim 14 \text{ GPa}$ であることを特徴とする請求項1又は2に記載のDLC被覆工具。

【請求項4】

600°C 大気中で、1時間保持した後のDLC膜の算術平均粗さ R_a の変化量が $0.05 \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1～3のいずれか1つの項に記載のDLC被覆

20

工具。

【請求項 5】

上記 D L C 膜のプラズモンロススペクトルのピークエネルギーが 29～33 e Vであることを特徴とする請求項 1～4 のいずれか 1 つの項に記載の D L C 被覆工具。

【請求項 6】

上記 D L C 膜の波長 632.8 nm のレーザを用いたラマン分光スペクトルにおいて、 $1000 \sim 1200 \text{ cm}^{-1}$ の間にピークを有する特性バンドとして S バンドを持ち、D バンドと G バンドの面積強度をそれぞれ S d、S g とするとき、これらの比 S d / S g が 0.8 以下であり、且つ S バンドと D バンドのピーク強度をそれぞれ I s、I d、面積強度をそれぞれ S s、S d とするとき、これらピーク強度比 I s / I d 及び面積強度比 S s / S d がいずれも 0.15 以上であることを特徴とする請求項 1～5 のいずれか 1 つの項に記載の D L C 被覆工具。

10

【請求項 7】

上記基材が超硬合金であって、D L C 膜を被覆したことによって超硬合金基材の W C 粒子に加わる応力 y (G P a) の膜厚 x (μm) に対する比 y / x が 0.2～2.0 の範囲であることを特徴とする請求項 1～6 のいずれか 1 つの項に記載の D L C 被覆工具。

【請求項 8】

上記基材と D L C 膜との間に、0.1～500 nm の厚さを有する金属膜、非金属固体膜、窒化物膜、窒化水素化物膜、酸化物膜、酸化水素化物膜、酸化炭化物膜、酸化炭化水素化物膜、窒化酸化物膜、窒化酸化水素化物膜、窒化炭化物膜、窒化炭化水素化物膜、窒化酸化炭化物膜及び窒化酸化炭化水素化物膜から成る群より選ばれた少なくとも 1 種から成る中間層を備えていることを特徴とする請求項 1～7 のいずれか 1 つの項に記載の D L C 被覆工具。

20

【請求項 9】

ドリル、エンドミル、エンドミル加工用刃先交換型チップ、フライス加工用刃先交換型チップ、旋削用刃先交換チップ、メタルソー、歯きり工具、リーマ、タップ、成型加工用パンチ又はダイであることを特徴とする請求項 1～8 のいずれか 1 つの項に記載の D L C 被覆工具。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、転削工具（バイト、エンドミルなど）、旋削工具（フライス工具など）、穴あけ工具（ドリル、リーマなど）などのいわゆる切削工具として使用される刃先交換型切削チップ、広い意味で物の切断・切削に利用される切削工具（カッター、ナイフ、スリッター、鋸の刃など）、成型加工工具（パンチ、ダイなど）の表面に耐磨耗性及び耐凝着性を有する D L C 膜を形成した工具やその部材に関するものである。

【背景技術】

【0002】

アルミニウム、チタン、マグネシウム、銅といった非鉄金属、有機材料、グラファイトなど硬質粒子を含有する材料などの被削材を加工する場合、被削材の仕上げ表面形状維持、母材硬度維持、寸法精度維持などを高品位に行うことが切削工具に求められている。

40

しかし、切削工具の切刃部分に被削材が凝着して切削抵抗が大きくなり、刃先が破損するといった問題が生じる。これは他の被削材に比べ、上記被削材の場合には、工具表面への凝着が発生し易く、凝着による切刃のチッピングや加工精度の低下が著しいことによるものと考えられる。

【0003】

そこで、上記のような問題に対して、非晶質炭素皮膜（ダイヤモンドライクカーボン：以下、「D L C」と略記する。）を備えた D L C 被覆工具が検討されている。

D L C 膜は、 sp^2 （グラファイト構造）成分と sp^3 （ダイヤモンド構造）成分との比率と、水素（H）含有であるかどうかにより、 sp^2 成分を多く含む a - C（（a m o

50

amorphous Carbon; アモルファスカーボン)、 sp^3 成分を多く含む $t a-C$ (tetrahedral amorphous Carbon; テトラヘドラルアモルファスカーボン)、それぞれにHを含んだ $a-C:H$ や $t a-C$ の4種類に分類される。これらのうち、 $a-C:H$ は、従来のDLCとして、金型や切削工具の硬質保護皮膜としてすでに実用化されている。なお、DLCは $i-C$ (i カーボン) と呼ばれることもある。

【0004】

従来のDLC ($a-C:H$) の成膜は、主に、炭化水素系のガスを原料とする次のような方法、すなわち熱フィラメントにより原料ガスを分解しプラズマ化するイオン源法(物理的蒸着法:PVD法的一种)、直流や高周波プラズマなどにより原料ガスを分解するプラズマCVD法(プラズマ支援CVD法; PECVD法)、プラズマイオン注入成膜法などが利用されている。

10

しかし、これらの方法では、原料ガスに含まれる水素が膜中に混入し、炭素原子間の結合の終端となるため、硬さが低下する。

【0005】

これに対し、スパッタ法や真空アーク法では、固体グラファイトを原料として成膜するため、膜中に水素が含まれないDLC膜($t a-C$, $a-C$)を成膜することができる。特に、真空アーク法はプロセスガスを必要とせず、かつ原料のイオン化率が高いため、高密度で高い密着力を示す膜が成膜できると考えられている。

20

【0006】

水素を含まない水素フリーDLC被覆工具については、特許文献1及び2に開示されており、特許文献1には、アルミニウム合金などの切削において優れた耐癒着性・耐凝着性・耐溶着性を示すとされている。

一方、特許文献2に、はナノインデンテーション法による圧痕の回復率が0.9以下、密度が 3.0 g/cm^3 以下、膜厚が $0.18\text{ }\mu\text{m}$ 以下でないと刃先の欠損やチッピングが生じるとの記載がある。

【特許文献1】特許第3718664明細書

【特許文献2】特開2005-22073号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0007】

近年においては、被削材の材質として、アルミニウム合金の中でもダイキャスト用合金であるSi(ケイ素)やCu(銅)が添加されたAC系の材料が増加している。

これらのアルミニウム合金材料は、例えば自動車の軽量化を目的として、エンジンブロックを始めとする各部への採用が増加している。さらに、これらの材料を繊維材料等と複合化した材料についても、一部採用が始まっている。

【0008】

しかしながら、これらのアルミニウム合金は、硬いSiや炭素繊維を含むため、従来の水素フリーDLC膜では十分な硬度が得られず、刃先部を被覆するDLC膜が磨耗してしまい、そこから被削材の凝着が始まってしまう。このため、AC系材料や複合材料、銅といった比較的硬い、非鉄金属材料の切削は、いまだダイヤモンド工具が用いられているのが実情である。しかし、このようなダイヤモンド工具は、コーティング工程に費用が嵩み、製造コストが非常に高くなるという問題がある。

40

【0009】

本発明は、比較的高硬度の非鉄金属材料用工具におけるこのような課題を解決するためになされたものであって、その目的とするところは、アルミニウム、チタン、マグネシウムあるいは銅などの非鉄金属、又はこれらの合金、有機材料、硬質粒子を含有する材料、プリント回路基板、あるいは鉄系材料と軟質金属との混合部材などを切削加工する際に、チッピングなどの欠陥を生じることなく、高い耐磨耗性を示し、しかも切削抵抗が低いDLC被覆工具を提供することにある。

50

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明者らは、上記課題の解決に向けて、DLCの種類や膜表面形状、膜性状、成膜方法、成膜条件などについて、鋭意検討を繰り返した結果、工具表面に被覆するDLC膜としての表面平滑度や密度や硬さなどの物性の適正範囲を見出し、本発明を完成するに至った。

【0011】

本発明は上記知見に基づくものであって、本発明のDLC被覆工具は、基材上に実質的に水素を含まないDLC膜を形成して成るものであって、上記DLC膜の密度が $3.0 \sim 3.4 \text{ g/cm}^3$ 、ナノインデンテーション硬さが $40 \sim 100 \text{ GPa}$ であって、針先端曲率半径 $2 \mu\text{m}$ の触針式表面形状測定器による測定送り 0.01 mm の表面走査検出において、上記基材の成膜前における被成膜面の算術平均粗さ $R_a(S)$ に対するDLC膜面の算術平均粗さ $R_a(D)$ の絶対値変化量 $\Delta R_a(\text{nm})$ とDLC膜の膜厚 $t(\text{nm})$ との比 $\Delta R_a/t (= |R_a(S) - R_a(D)|/t)$ が 0.05 以下、さらにDLC膜表面における異物粒子の付着及び／又は脱離に起因する直径 $0.1 \mu\text{m}$ 以上の凸凹の占有面積率 s の膜厚 t に対する比 s/t が $0.01 (\%/nm)$ 以下であることを特徴とする。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、基材上に成膜されるDLC膜を実質的に水素を含まず、所定の密度及びナノインデンテーション硬さ有する t_a-C に分類されるDLC膜とすると共に、触針式表面形状測定による成膜前の基材面の算術平均粗さに対する成膜後の膜面の算術平均粗さの変化量とDLC膜厚の比、さらにドロップレットなどの異物粒子の付着や脱落に起因するDLC膜表面における凹凸の占有面積と膜厚の比を特定して、表面平滑性の限界的な値としたため、高い耐摩耗性を示し、切削抵抗が低いDLC被覆工具とすることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

以下、本発明のDLC被覆工具について、その製造方法を含めてさらに詳細に説明する。

【0014】

本発明のDLC被覆工具は、基材上に実質的に水素を含まないDLC膜を形成して成るものであって、上記DLC膜の密度が $3.0 \sim 3.4 \text{ g/cm}^3$ 、ナノインデンテーション硬さが $40 \sim 100 \text{ GPa}$ 以下であって、針先端曲率半径 $2 \mu\text{m}$ の触針式表面形状測定器による測定送り 0.01 mm の表面走査検出において、上記基材の成膜前における被成膜面の算術平均粗さ $R_a(S)$ に対するDLC膜面の算術平均粗さ $R_a(D)$ の絶対値変化量 $\Delta R_a(\text{nm})$ とDLC膜の膜厚 $t(\text{nm})$ との比 $\Delta R_a/t (= |R_a(S) - R_a(D)|/t)$ が 0.05 以下、さらにDLC膜表面における異物粒子の付着及び／又は脱離に起因する直径 $0.1 \mu\text{m}$ 以上の凸凹の占有面積率 s の膜厚 t に対する比 s/t が $0.01 (\%/nm)$ 以下であって、例えば非鉄金属合金、有機材料、硬質粒子を含有する材料などの切削加工に利用することができる。

なお、本発明のDLC被覆工具とは、一体型の工具はもとより、刃先交換型チップも含まれる。また、DLC膜の被覆処理は、切削工具においては、少なくとも基材の刃先に相当する部分に施してあればよい。成型加工用工具においては、少なくとも機材の成型面に相当する部分にDLC膜の被覆処理が施してあればよい。

【0015】

本発明のDLC被覆工具に用いるDLC膜は、実質的に水素を含まないものであるが、本発明において「実質的に水素を含有しない」とは、プロセスチャンバ内に水素を含むガスを意図的には導入しないで成膜したものであることを意味する。但し、もともと真空チャンバ内壁や電極内（および内壁）に付着、吸着していたガス、ゴミ、あるいは水などが

プロセス中に脱離して、膜内に混入する場合もあるため、水素含有量を完全になくすことは困難であるが、その程度は、通常5原子%以下である。

そして、この程度であれば、保護膜としての密度や硬さ、耐熱性、耐摩耗性、耐凝着性などへの実質的な影響がないことから、具体的な水素含有量としては5原子%以下を意味する。なお、水素含有量が少ない方が基材との密着性がよく、0原子%により近い方がより優れた特性となり、より望ましいDLC膜であることは言うまでもない。

【0016】

チャンバ内壁や電極内のガスや水分は、チャンバ内を100℃以上に加熱したり、成膜プロセス前に、真空アークプラズマを空打ち（成膜をしないでプラズマを発生させること。つまり、シャッターで成膜しないようにしたり、プラズマを曲げずに直進させたりすること。）したりすることによって除去することができる。また、真空アークプラズマの空打ちは、ゲッター作用により不純物ガスを除去でき、真空度を上げ（圧力を下げ）、清浄なプロセス空間を得るのに有効である。

【0017】

なお、DLC膜の水素含有量は、例えばグロー放電発光分析法（GDOS）や、弾性反跳粒子検出法（ERDA）によって測定することができる。

グロー放電発光分析法は、Arグロー放電領域内で被膜を高周波スパッタリングし、そのスパッタリングされた原子からの放射を分光分析することにより、被膜の深さ方向の元素分析を行う手法である。この方法では、定量的に水素を測定することは難しいが、膜の深さ方向の相対的な変化を知ることができる。

【0018】

また、弾性反跳粒子検出法は、HeイオンやHイオンを低角で入射し、表面から弾きだされた、原子のエネルギースペクトルを測定する手法であり、任意の試料でスペクトルの規格化を行うことで、水素の定量分析が可能となり、正確な測定が難しい軽元素を正確に測定できる数少ない測定方法の1つである。

【0019】

一方、本発明者等は、DLC成膜面の平滑性について、各種の成膜装置を用いて繰り返し検討した結果、成膜面の平滑性を損なう主因がプラズマの発生時に陰極から副生する陰極材料粒子（以下、「ドロップレット」という）にあることを見出すに至った。

一般に、真空アーク放電では、陰極点から陰極材料イオン、電子、陰極材料中性粒子（原子及び分子）といった真空アークプラズマ構成粒子が放出されると同時に、サブミクロンから最大数百ミクロンの大きさのドロップレットが放出され、このようなドロップレットが基材表面に付着すると、基材表面に形成されるDLC膜の均一性や平坦性が大きく損なわれることになる。

【0020】

本発明のDLC被覆工具は、上記したように、実質的に水素を含むことなく、所定密度と所定硬さを有するta-Cから成るDLC膜であって、膜厚当たりの成膜前後の粗さ変化量や凹凸の占有面積率により定義される極めて平滑な表面形状を有するDLC膜を基材上に備えたものであるが、このような平滑なDLC膜は、生成膜へのドロップレットの衝突及び付着を極限まで下げることによって、上記ドロップレットに代表される異物粒子の混入をなくし、これら異物粒子の付着による突起状欠陥や、脱離によるくぼみ状欠陥を極限まで低下させることによって得られ、従来の水素フリーDLCと較べて、より高密度、高圧縮応力化した膜を実用化し、さらに高い耐摩耗性と密着性を発現する。

なお、本発明において「異物粒子」とは、主にドロップレットを意味するが、これ以外にもハンドリング中にゴミなどが付着することがないとは言えず、これらのゴミ粒子をも含めて「異物粒子」と称するものとする。

【0021】

そして、本発明におけるDLCの成膜に際しては、プラズマ源からプラズマ磁気輸送ダクトを介して、成膜プロセスチャンバと接続されるフィルタードアーク蒸着装置を用いることによって、ドロップレットや中性粒子の混入を極力防止することができ、このフィル

タードアーク蒸着装置については、黒鉛のアーク陰極から放出される固体状のドロップレットを捕獲・除去するために、陰極と直面对向する位置にドロップレット捕集機能を設けることが望ましく、例えば、T字状フィルタードアーク蒸着装置（T-FAD：特許第3865570号明細書参照）やX字状フィルタードアーク蒸着装置（特開2007-9303号公報参照）を利用することができる。

【0022】

すなわち、真空アーク蒸着法により形成した非DLC膜の表面には、上記のようなドロップレットが存在する。一般に膜中に取り込まれるドロップレットはDLC膜の膜厚を増やせばそれに比例して増える。この膜中のドロップレットは膜の靱性を下げ、剥離やチップング磨耗の原因となるため、膜厚を増やし界面の応力が高くなればなるほど、膜中のドロップレットが少なければならない。厚膜化は工具用被覆膜としては対磨耗性を向上させるに有効だが、前述のような問題の他、表面が荒れてしまい切削抵抗を上げてしまう。

単に平滑にするだけなら、成膜後に研磨することでドロップレットが抜けて、平滑度を上げることはできるが、ドロップレットが抜けた穴が残ってしまう。この凹も被削材の凝着が生じる原因となる他、剥離の原因となりやすく、また、摩擦係数も上がるため、これも極力少ない事が望ましい。

【0023】

ドロップレットの多寡に関する評価は、本来、膜の体積に対してドロップレットが占有する体積密度（ $1/m^3$ ）で評価すべきであると考えられるが、想定している膜厚（ $\sim 1 \mu m$ ）と、ドロップレットの大きさは概ね同程度なため、表面のドロップレット数や粗さの変化量、ドロップレットの占有面積等々を膜厚で割ったもので十分に評価できる。

【0024】

表面粗さの評価方法としては、触針式表面形状測定器による表面走査検出法がある。この方法は、1次元的な測定となるが、電子顕微鏡（SEM）等と比べると高さ方向の分解が優れており、簡便にマクロなスケール（2mm）で粗さの評価ができる。

触針式表面形状測定器による表面走査検出法で粗さを評価した場合、被コーティング面の算術平均粗さ $Ra(S)$ に対するDLC被覆面の算術平均粗さ $Ra(D)$ の絶対値変化量 $\Delta Ra(nm)$ とDLC膜の膜厚 $t(nm)$ の間の比 $\Delta Ra/t (= |Ra(D) - Ra(S)| / t)$ が0.1以下であれば十分な靱性が得られ、0.05以下であることがより望ましい。

【0025】

また同時に、表面のドロップレット等の異物粒子の大きさも重要で、これらに起因する直径 $0.1 \mu m$ 以上の凸凹の占有面積率 s の膜厚 t に対する割合 s/t が0.01（%/nm）以下である必要があり、この比 s/t が0.01を超えると、膜中のドロップレットの数が多過ぎ、すなわち膜中におけるドロップレットの占有する体積密度（ $1/m^3$ ）が高すぎて十分な硬度と弾性率が得られず、工具用被膜として十分な耐磨耗性や耐久性が得られないという不都合が生じる。

【0026】

凸凹の占有面積については、分解能が通常のSEMよりも優れる、FE-SEM（Field Emission-Scanning Electron Microscope）観察によって評価することができる。

少なくとも3,000倍以上の倍率で、試料表面を鉛直から 10 ± 5 度で傾けた方向から写真撮影を行い、画像処理等でドロップレットの占有面積比を求めると、凸凹の評価と面積を少ない誤差で評価することができる。また直径 $0.1 \mu m$ 以上の凸凹数の面密度も直接数えることで評価できる。

【0027】

図1(a)～(c)は、T字状フィルタードアーク蒸着装置（T-FAD）、ドロップレットフィルターなしの従来の真空アーク蒸着装置（NFA：non-Filter arc）、及び陰極と直面对向する位置にドロップレット捕集機能を設けることなく、フィルタダクトの内部に配置したひだ状のバッフルによってドロップレットを除去する従

10

20

30

40

50

来タイプのフィルタードアーク蒸着装置（従来FAD）によりDLC膜を成膜したフライス工具用刃先交換型切削チップのすくい面、刃先直下のFE-SEM像を比較して示すものである。

これらFE-SEM像から、T字状フィルタードアーク蒸着装置（T-FAD）によるDLC膜の表面（図1（a））が従来の真空アーク蒸着装置（NFA）や従来タイプのフィルタードアーク蒸着装置（従来FAD）による表面（図1（b）及び（c））と較べて平滑性が高いことが分かる。特に真空アーク蒸着装置によるDLCの表面（図1（b））には、黒丸で示した凸部以外に白丸で示した凹部が存在していることと共に、従来タイプのフィルタードアーク蒸着装置による表面（図1（c））には、粒子状の異物が極めて多数存在していることが分かる。

10

【0028】

なお、DLC膜の凹凸については、ドロップレットの付着や脱落が主因ではあるが、その他、基材のハンドリング中のゴミの付着や脱離も、DLC膜の凹凸の副因であることは言うまでもない。従って、本発明を実施するに際しては、DLC膜の凹凸の数を減らすための方法として、基材の前洗浄を十分に行うこと、フィルタードアーク蒸着装置内部のクリーニングを十分に行うことに配慮する必要がある。

更にまた、フィルタードアーク蒸着法において、ドロップレットの発生を極力抑え、ドロップレットに起因する凹凸数を少なくする観点から、プラズマ磁気輸送ダクト内にバッフルやオリフィス板を設ける、陽極形状を変更してドロップレットの反射方向が回収ダクトに向かうようにするなどの装置上の工夫、プロセスチャンバ内へ進入したプラズマを電磁界によって屈曲させ、プラズマの進入軸とオフセットした位置で成膜するなどのプラズマ制御による工夫、あるいは、アーク電流の大きさや波形を勘案しドロップレットの発生自体を抑制するような成膜条件を採用することが重要である。

20

【0029】

本発明のDLC被覆工具に成膜されるDLC膜は、 $3.0 \sim 3.4 \text{ g/cm}^3$ の密度を有し、この領域で、応用上良好な特性を示し、密度については高い方がより好ましい。

一般に、ダイヤモンドの密度は 3.52 g/cm^3 であり、従来の水素フリーDLCでは密度が 3.0 g/cm^3 以上になると、硬度が高くなり、内部に残留する圧縮応力が高くなって基材との密着性が損なわれ、皮膜が剥離しやすくなると考えられていた。また、界面の応力は膜厚に比例するため、膜厚が厚くなっていく場合も同じ理由で剥離しやすくなる。

30

【0030】

しかし、本発明におけるDLC膜は、高密度、高硬度、高弾性率、高密着力を同時に実現することができ、これは膜中に機械的に弱いドロップレットが極めて少なく、かつドロップレットの脱離または除去に起因する凹状欠陥が極めて少ないため、実現できたと考えられる。すなわち、ドロップレットは、グラッシーカーボン又はマイクロ結晶グラファイト構造を呈するものが多く、その密度はダイヤモンドと比べて大幅に低い。このため、膜中のドロップレットの数密度が十分に低い場合にのみ、密度が 3.0 g/cm^3 以上になる。

ただし、当該DLC膜の密度が 3.4 g/cm^3 を超えると、ダイヤモンド結晶化し始め、結晶化することによって表面粗さが大きくなり、摩擦係数も増加するため好ましくない。このようなDLC膜の密度は、例えばX線反射率測定法（XRR）により求めることができる。

40

【0031】

また、本発明のDLC被覆工具に成膜されるDLC膜の硬さとしては、ナノインデンテーション法によって測定した硬さで $40 \sim 100 \text{ GPa}$ の範囲とする必要がある。すなわち、ナノインデンテーション硬さが 40 GPa 未満の場合、十分な硬さがないため耐磨耗性に問題が生じる一方、 100 GPa を超えると、ダイヤモンド結晶化し始め、ダイヤモンド結晶化することによって表面粗さが大きくなり、摩擦係数も増加するため好ましくないという不具合が生じる）。

50

ナノインデンテーション法は、硬さ試験の一種であって、圧子の押し込み駆動部に変位計を設置し、押し込み深さを連続的に測定し、硬さやヤング率を求める方法であり、荷重範囲が0.1 mN～1 N程度と極めて低加重で、100 nm以下の押し込み深さでも正確に測定できる特徴を持つ手法である。本発明におけるDLC膜のように、1 μm以下の膜厚で、しかも高い弾性率を示す膜の場合、塑性変形後の硬さしか評価できないマイクロビッカース硬度計やヌーブ硬度計では正確な評価ができない。

【0032】

なお、本発明に用いるDLCは、ヤング率も極めて高く、400～900 GPaもの高い値を示す。図2は、WC平均粒度が0.8 μm、Co含有量が10重量%、0.3重量%のCrを含有した超硬合金に、鏡面加工を施した基材上に、各種成膜法によって、700～1000 nmの厚さに形成したDLC膜の硬さとヤング率の関係を示すグラフであって、T字状フィルタードアーク蒸着（T-FAD）によるDLC膜は、従来の水素フリーDLCを上回り、ダイヤモンドに次ぐ高硬度、高弾性率を示し、これによって高い耐磨耗性を有することが判る。また、弾性率が高いため、膜の基材への追従性が高く、チップング等の磨耗も起こり難くなっている。

さらに、従来の水素フリーDLCでは、これらの性質をもちつつ実用的な密着性を得ることは困難であったのに対し、T-FAD法によるDLCにおいては、十分な密着力が得られている。

【0033】

なお、図中示すPECVD（Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition）とは、いわゆるプラズマCVD法である。

また、測定には、ENT-1100型ナノインデント装置を使用し、試験荷重：9.8 mN、負荷ステップ：0.98 mN、負荷除去速度：0.98 μN/msec、測定数：10点の条件を採用した。

【0034】

本発明のDLC被覆工具におけるDLC膜の表面の凹凸の面積率sについては、膜厚t（nm）に対する比 s/t が0.01（%/nm）以下とすることが必要であることは上記したとおりであるが、凸部の個数については、単位面積当たりの直径0.1 μm以上の個数 N_p （個/mm²）の膜厚t（mm）に対する比 N_p/t が 1.5×10^{-8} （個/mm³）以下とすることが望ましい。すなわち、この比 N_p/t が上記値を超えると、ドロップレットの占有する体積密度（1/m³）が高すぎて十分な硬度と弾性率が得られず、工具用被膜として十分な耐摩耗性や耐久性が得られなくなる傾向があることによる。

また、凹部の個数については、単位面積当たりの直径0.1 μm以上の個数 N_h （個/mm²）の膜厚t（mm）に対する比 N_h/t が 1.0×10^{-8} （個/mm³）以下とすることが望ましい。この比 N_h/t が上記値を超えると、膜の横方向の弾性変形に対する抗力が不足し、膜の割れによる剥離の原因となる。膜の一部が剥離すると、そこに被加工材が凝着・溶着し、つまり、工具にピッチングが生じることになり、工具の摩耗・破損に繋がることがあり、好ましくない。なお、凸凹数や占有面積は低ければ低いほど望ましい。

【0035】

また、工具基材に成膜するDLC膜の厚さについては、10 nm～1 μmの範囲とすることが望ましいが、この理由は、工具を完全に被覆するのに最低限必要な膜厚が10 nmであると共に、1 μmを超えて厚膜化した場合には、膜中に取り込まれるドロップレットなどの異物粒子が増加して、表面平滑性が低下し、性能が低下することによる。

なお、前述の特許文献2には膜厚が薄い方が好ましく、0.18 μm以上の膜厚では刃先の欠損やチップング等が生じ易いとの記載があるが、後述する実施例に示すように、上記DLC膜を切削用チップに被覆しアルミニウム合金を切削した場合には、膜厚が0.2 μm以上の方がむしろ優れた切削性能を示し、特に、Siを添加した比較的高硬度なアルミニウム合金の切削において、その傾向は顕著になることが確認されたが、この理由は未だ明確になっていない。

【0036】

本発明のDLC被覆工具におけるDLC膜は、前述のように極めて高密度であるため、膜の内部に極めて高い内部応力が働いている。これは、一般の工具用DLC被膜としては、クラックの伝播を抑えるなどの利点がある反面、内部応力が高すぎる場合、膜の密着力が不足し、チッピングなどの欠陥の原因となる。しかし、本発明に用いるDLC膜においては、高い密着力と高い内部応力が両立しており、このような欠陥発生の虞はない。

【0037】

図3は、長さ22mm、幅6mm、厚さ1mmの超硬基材(WC(bal)－13.5wt%Co－1wt%Cr/Ta)の両面を鏡面研磨した応力測定用薄板試験片(基材)の上に各種成膜法によってDLC膜を形成した場合の膜厚に対する試験片の反りの変化量を示すグラフであって、予め試験片の反りを計測しておき、被処理物と同時に試験片の片面のみにDLCを被膜処理し、処理後、改めて中心部の反りと厚みを計測し、次式(1)から内部応力を求めた。

【0038】

【数1】

$$\sigma_f = \frac{E_s D^2 \delta}{3 \left(\frac{L}{2} \right)^2 (1 - \nu_s) d} \quad \dots \quad (1)$$

[式中の σ_f は膜の応力(GPa)、 E_s は基材のヤング率(517.54GPa)、 ν_s は基材のポアソン比(0.238)、 d は膜厚、 D は全厚、 L は試験片長さ、 δ は反り(成膜前後の反りの差)を示す。]

【0039】

これより、本発明におけるDLC膜は、上記試験片の反り y (μm)に対する膜厚 x (μm)の比 y/x が4.0以上、9.0以下であることが判る。

この値を超えて反りが大きい場合、チッピング等の欠陥を生じてしまい、この値に満たない場合、十分な膜の強度が得られず、耐摩耗性に問題を生じる。

なお、上記領域は、DLC膜の内部応力に換算すると、6GPa以上14GPa以下ということになる。

【0040】

また、X線微少部応力測定機を使用して、上記試験片のX線応力測定を行った。DLCはアモルファスであるため、DLCそのものの内部応力をX線で評価することはできないが、本発明で用いるDLCは、極めて応力が高いため、基材側に掛かる応力を測定することが可能で、上記試験片測定結果と合わせて、膜の応力を推定することができる。

これをもとに、実際の被覆工具の刃先等の平面部位を数 mm^2 程切り出して、X線応力測定を行うことにより、実際の工具の膜の応力を調べることができる。

【0041】

X線による応力測定の方法は、金属材料では外力により弾性限界内の応力が生じると、応力の大きさに比例して結晶の格子面間隔(d 値)がシフトする。試料表面法線を N と格子面法線を N' のなす角度 ψ を変えてその回折角度(2θ)の変化を調べると、次式(2)によって応力 σ が求まる。

【0042】

【数2】

$$\sigma_s = -\frac{E_s}{2(1 + \nu_s)} \cdot \cot \theta_0 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \frac{\Delta(2\theta)}{\Delta(\sin^2 \psi)} = K \cdot \frac{\Delta(2\theta)}{\Delta(\sin^2 \psi)} \quad \dots \quad (2)$$

[式中の σ_s は応力(MPa)、 E_s はヤング率(MPa)、 ν_s はポアソン比、 θ_0

は標準ブラッグ角 (Degree) を示す。]

【0043】

ここで、K (応力定数) は、材料及び回折角によって決まる定数である。測定値 ($\phi - 2\theta$) から $2\theta - \sin 2\phi$ の線図を書き、最小二乗法で勾配を求め、K を乗ずれば一義的に求まる。

ただし、測定したのは基材中WCのピークであって、超微粒子超硬基材が含むC o バインダーの部位は含まれない。また、基材の応力は膜の全応力に対して比例し、これより膜厚に比例して大きくなると考えられる。超硬基材の場合、バインダーとなる比較的柔らかいC o が基材中に含まれることなどから、WCの結晶に掛かる応力は膜中より下がるものの、基本的に比例すると考えられる。なお、鉄系基材であっても同様の手法により、内部応力を推定できる。

【0044】

測定の結果、概ね膜厚に比例して基材側の応力も増加している。一方、N F A、従来F A D及びP E C V Dで成膜したD L C膜被覆基材ではこのようなピークシフトは見られなかったことから、十分な応力が得られていないと考えられる。

本発明におけるD L C膜の超硬基材のWC粒子に加わる応力をy (G P a)、膜厚をx (μm) とした場合、 y/x が0.2以上2.0以下であることが望ましい。上記値に満たない場合、十分な膜の応力が得られてなく、膜強度が不十分であり、上記値を超える場合には、基材自身の靱性が不足し、基材内からチップング等の欠陥を生じることがあるため望ましくない。

【0045】

上記D L C膜の耐熱性については、600℃大気中で、1時間保持した後のD L C膜の算術平均粗さR aの変化量が0.05 μm 以下であることが望ましい。

すなわち、図4は、WC平均粒度が0.8 μm 、C o含有量が10重量%、C r含有量が0.3重量%、残WCから成る鏡面加工を施した超硬試験片を基材として、この上にT字状フィルタードアーク蒸着法 (T-F A D) とプラズマC V D法 (P E C V D) とによってD L Cを被覆したのち、大気中で、200℃から100℃ずつ600℃までの各温度でそれぞれ1時間保持し、加熱後室温にもどしてから各膜の表面形状を測定した結果をノンコートの場合と比較して示すものである。

【0046】

この結果、T字状フィルタードアーク蒸着法によるD L C膜は、ほとんど変化が見られないのに対し、未被覆の試験片とプラズマC V D法によりD L C被覆を施した試料に関しては、超硬基材の炭素が脱離してしまい表面が荒れてしまう結果となった。P E C V D法では膜中に水素が含まれ、これが500℃前後から脱離するため、膜が破壊されてしまう。この結果、基材が空気と接触してしまい未処理と同様の変化を示した。これに対し、T字状フィルタードアーク蒸着法によるD L C膜は、高い耐熱性を示し、微量の残留ドロップレットが燃焼して平滑度が若干変化する程度で、大気中では600℃でも異常がないことを示した。また、粗さの変化が0.05 μm 以上の膜の場合、ドロップレットの燃焼により膜に欠陥が生じてしまう。このため、急速に膜硬度が低下し、工具用被膜としては十分な耐摩耗性が維持できなくなることがあるため、好ましくない。

工具用被膜は、切削工具に適用した場合、特にドライでの切削において、その刃先の温度上昇に耐えうることが極めて重要になる。アルミ合金の場合、通常600℃程度で溶解が始まるといわれており、刃先は局所的にこの温度まで上昇していると考えられる。したがって600℃の温度にも耐えるD L C膜を備えた工具は、無潤滑 (ドライ) でのアルミニウム合金の切削工具として極めて有効である。

【0047】

本発明のD L C被覆工具においては、基材表面に形成したD L C膜のプラズモンロススペクトルのピークエネルギーが29~33 e Vであることが望ましい。

プラズモン励起スペクトルは、電子エネルギー損失分光法 (E E L S : E l e c t r o n E n e r g y - L o s s S p e c t r o s c o p y) で計測できる。E E L Sとは

10

20

30

40

50

、数百 e V のエネルギーの電子を試料表面に入射すると、入射電子は固体の電子密度や原子の並びによって非弾性散乱し、エネルギーを損失するため、その電子エネルギーの損失を分光する方法である。EELS で計測されるスペクトルを EELS スペクトルと言い、10 ～ 50 e V の範囲に現れる自由電子の集団振動に起因するプラズモン励起によるスペクトルをプラズモン励起スペクトルと呼ぶ。プラズモン励起スペクトルのピーク位置は、電子密度の平方根に比例するため、ピーク位置が高いということは、電子密度が高く、引いては、原子密度が高いことを示す。

【0048】

従って、プラズモン励起スペクトルのピーク位置が 28 ～ 33 keV であるということは、高密度の膜であるということを示すことになる。グラファイト及びダイヤモンドのプラズモン励起スペクトルのピーク位置が、それぞれ、26 eV および 33.7 eV であることから、水素などの不純物元素や比較的低密度の不純物であるドロップレットを含まない DLC の場合に限り、プラズモン励起スペクトルのピーク位置が 29 ～ 33 keV となる。さらには、この値がより高いほうがより高密度のであり、工具用被膜として十分な硬さが得られる、本発明の DLC として好適である。

上記下限値に満たない場合には密度が低く、十分な硬さが得られず、上限値を超えるとダイヤモンド結晶の領域となり、ダイヤモンド結晶では平滑な表面が得られず、また摩擦抵抗も高くなってしまう。

【0049】

また、本発明の DLC 被覆工具においては、基材表面に形成した DLC 膜としては、波長 632.8 nm のレーザを用いたラマン分光スペクトルにおいて、1000 ～ 1200 cm^{-1} の間にピークを有する特性バンドを持ち、D バンドと G バンドの面積強度比がいずれも 0.8 以下であり、当該特性バンドと D バンドとのピーク強度比及び面積強度比が 0.15 以上であることが望ましい。

すなわち、図 5 は、波長 632.8 nm の He-Ne レーザを用いて、T 字状フィルターアーク蒸着法による DLC 膜のラマンスペクトル（ラマンシフト）の一例を示すものである。なお、波長 532 nm の半導体グリーンレーザを用いた場合も、同様な結果を得ている。

【0050】

一般に DLC は非晶質ゆえに膜構造を特定することが難しいが、光の格子振動による弾性散乱であるラマン分光分析では、特徴的なピークが得られることが知られている。特に、1560 cm^{-1} 付近に表れるグラファイトの面内の振動の E2g モードと、それと縮退したモードの重ね合わせのピークである G バンドと、1360 cm^{-1} 付近に表れるグラファイトの結晶端での非対称性による A1g モードと、それと縮退したモードの重ね合わせのピークである D バンドが存在することは良く知られている。

【0051】

本発明における DLC 膜においては、これらのピークに加えさらに 1100 cm^{-1} 近辺にピークを持つ新たな特性バンド（以下、「S バンド」と称する）が表れることを新たに見出した。

さらに、D バンドと G バンドの面積強度比 (S_d / S_g) が 0.8 以下であると、グラファイトとその微結晶状態が少なく、かつ S バンドと D バンドとのピーク強度比 (I_s / I_d) 及び面積強度比 (S_s / S_d) がいずれも 0.15 以下であると、当該 DLC 膜が極めて高硬度となり、優れた耐摩耗性を持つ工具用被膜となる。

【0052】

すなわち、今回新たに見出した S バンドは、従来の紫外光レーザで検出されている T バンドのピークと一致するため、S バンドは T バンドと同質であり、 sp^3 構造を示すものと判断できる。したがって、可視光レーザによるラマン分光で S バンド = T バンドが検出できたことは、 sp^2 構造からなるドロップレットを極限まで除去され、 sp^3 構造成分が極めて多いことを意味している。すなわち、可視光光源のラマン分光で S バンドが検出できれば、ドロップレットを極限まで除去し、凹凸のない極めて平坦な DLC 膜であり、

10

20

30

40

50

水素を実質的に含有せず、高硬度、高密度のDLC膜であることを示すことになる。

【0053】

本発明のDLC被覆工具における基材として、代表的には、WC基超硬基材を挙げることができる。このWC超硬合金は、炭化タングステン（WC）を主成分とする硬質相と、コバルトなどの鉄族金属を主成分とする結合相とからなる。

本発明に適用されるDLC膜は、ダイヤモンドに次ぐ高い弾性率を示すため、従来、困難であった高い靱性を持つコバルト量の多い超々微粒子超硬基材にも適用することができる。このようなDLC膜が剥離することなく、安定した密着性を示す基材のコバルト含有量としては、0～25質量%、より好ましくは5～15%である。また、WC平均粒度は1.5μm以下が好適である。なお、本発明の工具に用いられる基材は、超硬合金に限らず、鉄基合金の一種である、JIS G4403に規定されている高速度鋼や、炭素工具鋼（JIS G4401）、合金工具鋼（JIS G4404）などの他、サーメット材、cBN含有焼結体への被覆も可能である。

10

【0054】

本発明のDLC被覆工具においては、DLC膜の密着力をより強固なものにする観点から、基材とDLC膜との間に中間層を設けることが好ましい。

上記DLC膜と基材との間に、0.1～500nmの厚さを有する金属膜、非金属固体膜、窒化物膜、窒化水素化物膜、酸化物膜、酸化水素化物膜、酸化炭化物膜、酸化炭化水素化物膜、窒化酸化物膜、窒化酸化水素化物膜、窒化炭化物膜、窒化炭化水素化物膜、窒化酸化炭化物膜及び窒化酸化炭化水素化物膜から成る群より選ばれた少なくとも1種から成る中間層を備えていることが望ましく、さらに、上記中間層とDLC膜との間に、それぞれの被膜組成を混合した化学組成または連続的に変化した化学組成の被膜を介在させ、さらに強固な密着力得ることが、一層望ましい。

20

【0055】

中間層の成膜とDLC膜の成膜において製造条件を切り替える際、通常、わずかに中間層とDLC膜との混合が生じ、上記のような混合化学組成の被膜層が形成される。

このような混合化学組成層は、直接確認することは難しいが、例えばXPS（X-ray photo-electronic Spectroscopy）やAES（Auger Electron Spectroscopy）などによる膜の深さ方向のプロファイルの結果から十分推定することができる。

30

【0056】

本発明のDLC被覆工具は、その耐磨耗性と耐凝着性から、特にアルミニウム及びその合金を加工するための工具に適する。また、チタン、マグネシウム、銅など非鉄材やその合金に使用することが最適である。さらに、グラファイトなどの硬質粒子やガラスなどの繊維を含有する材料、有機材料などの切削や、プリント回路基板加工やガラス加工、鉄系材料とアルミニウムとの共削り加工などにも有効である。加えて、本発明におけるDLC膜は非常に高硬度であることから、非鉄材だけでなく、ステンレス鋼などの鋼や鋳物などの加工にも用いることができる。

【0057】

本発明のDLC被覆工具としては、高い切削性能を有することから、ドリル、エンドミル、エンドミル加工用刃先交換型チップ、フライス加工用刃先交換型チップ、旋削用刃先交換チップ、メタルソー、歯きり工具、リーマ、タップなどの切削工具としての用途に用いることができる。また、その優れた耐磨耗性や耐凝着性から、成型加工用パンチ及びダイなどの用途に用いることができる。

40

【0058】

本発明のDLC被覆工具の切削性の指標として、アルミニウム合金の乾式切削加工時に得られる切り屑のカール径に着目する。

例えば、WC基超硬合金から成るチップ用基材（住友電工ハードメタル製チップ、型番：APET160508PDFR-S、チップ材質：H1）に上記のようなDLC被覆を施した本発明のチップとボディー（住友電工製 エンドミル、型番：WEM3025）を

50

用いた場合、表1に示した基材工具の製作メーカーが指定する推奨切削条件内での切削時に得られる切り屑カール半径が、DLC被覆未処理の同チップによる切り屑カール半径の0.7倍以下であれば、アルミの刃先への凝着が生じにくいことが分かった。

【0059】

【表1】

工具		住友電工ハードメタル製 ボディ型番：WEM3025 (φ25)		
基材		住友電工ハードメタル製 チップ型番：APET160508PDFR-S チップ材質：H1 (WC-Co)		
被削材	合金種	A5052	AC4A-T6	ADC12
	Si含有量 (at%)	0	8~10	9.6~12
切削速度 (m/min)		300		
1刃当りの送り量 (mm/tooth)		0.15		
軸方向切り込み深さ (mm)		5		
径方向切り込み深さ (mm)		5		
切削油		なし (エアブロー)		

【0060】

この切り屑は、切削工具表面のすくい面側の表面と被削材との摩擦係数により、そのカール半径が変化し、半径が小さいほど良いとされる。切り屑には刃先の熱を奪う役割もあり、切り屑の排出のよさ（はけのよさ）は切削工具の性能をきめる重要な要素の1つであり、摩擦係数が低く、切り屑のカール半径が小さいほど排出性も優れる。

本発明のDLC被覆工具では、従来は困難であったSiを添加したAC4AやADC12といったアルミニウム合金に対しても、高い切り屑の排出性を持ち、上記条件工具を用いて得られる切り屑カール半径が、DLC被覆未処理の工具による切り屑カール半径の0.7倍以下であることが望ましい。

【0061】

なお、切り屑カール半径については、図6に示すように、切り屑自由曲面（工具のすくい面と接して、切削された面）の自由曲面側の始点をA、Aに接する接線をX軸とし、Aを通りX軸に直行するY軸を引き、さらに切り屑自由曲面とY軸との交点（2点以上存在する場合は切り屑厚さが最も厚い箇所を選択する）をBとする。そして、線分ABを直径とする円を描き、その半径をもって切り屑カール半径とする。

【0062】

また、JIS H4000にA5052として規定されるアルミニウム合金の前述条件による乾式切削加工時における切削抵抗については、切削初期における本発明のDLC被覆チップによる切削抵抗のDLC被覆未処理のチップによる切削抵抗に対する比率が、主分力で0.6以下、背分力で0.7以下、主分力と背分力と送り分力の合力で0.7以下であることが望ましい。

なお、切削抵抗は、例えば圧電式切削動力計（キスラー）によって測定することができる。また、「切削初期」とは、具体的には、切削開始から切削長0.1m以内のことを意味するものとする。

【実施例】

【0063】

以下、本発明を実施例に基づいて具体的に説明する。なお、本発明は、これらの実施例

によって何ら限定されるものではない。

【0064】

基材として、WC基超硬合金から成るチップ用基材（住友電工ハードメタル製チップ、型番：APET160508PDFR-S、チップ材質：H1）を用意し、当該基材上に、T字状フィルタードアーク蒸着装置（T-FAD）を用いてDLC膜を形成して、本発明品に相当する試料1～5を作製した。

一方、上記基材上に、ドロップレットフィルターなしの従来の真空アーク蒸着装置（NFA、従来タイプのフィルタードアーク蒸着装置（従来FAD）、及びプラズマCVD装置（PECVD）により、それぞれDLC膜を成膜し、比較例に相当する試料6～10を作製した。なお、試料10については、DLC膜を形成することなく、基材のままのスローアウェイチップとした。

10

【0065】

そして、得られたスローアウェイチップに形成されたDLC膜の各種物性や表面形状を測定した。

そして、3種のアルミニウム合金の切削試験を表1に示す条件で実施し、7m切削後の切り屑を採取し、そのカール径を図6に示した要領によって測定する共に、刃先への凝着幅、及び切削抵抗をキスラーにより測定した。

【0066】

これらの結果を表2～4に示す。

また、切削試験による切り屑の代表例として、試料3、試料6及びDLC未被覆の試料10のチップを用いたアルミニウム合金ADC12の切り屑の外観を図7（a）（b）及び（c）にそれぞれ示す。

20

【0067】

【表 2】

試料 No.	基 材		D L C 膜							ラマン強度比			
	種類	R a (S) (nm)	成膜法	膜厚 (nm)	水素量 (at%)	密 度 (g/cm ³)	硬 さ (GPa)	内部 応力 (GPa)	D L C 被覆基 材応力 (GPa)	プラズマ 励起ス ペクトル (eV)	I _d /I _g	I _s /I _d	S _d /S _g
1	WC-Co	2.1	T-FAD	86	0.2以下	3.2	60	11.03	0.1	31.9	0.604	0.299	0.737
2	WC-Co	2	T-FAD	166	0.2以下	3.2	88	9.74	0.1	32.0	0.285	0.796	0.257
3	WC-Co	2	T-FAD	246	0.2以下	3	86	11.52	0.2	30.2	0	∞	0
4	WC-Co	2.1	T-FAD	536	0.2以下	3	85	13.95	0.3	29.8	0.142	1.735	0.063
5	WC-Co	1.9	T-FAD	210	0.2以下	3	78	10.71	0.1	29.2	0.139	1.77	0.058
6	WC-Co	2	N F A	80	0.2以下	2.9	55	3.85	0	28.3	1.13	0.141	2.371
7	WC-Co	2.1	従来FAD	675	0.2以下	2.5	37	3.09	0	27.8	1.151	0	2.354
8	WC-Co	2	従来FAD	500	0.2以下	2.7	35	1.31	0	28.1	1.041	0.101	2.105
9	WC-Co	2	PECVD	1029	35	2	28	1.74	0	27.4	1.014	0	2.093
10	WC-Co	1.9	なし	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

【表 3】

試料 No.	D L C 膜								
	R a (D) (nm)	Δ R a (nm)	Δ R a / t	凹凸面積率 s (%)	s / t (%/nm)	凸部面密度 Np (個/mm ²)	Np / t (個/mm ³)	凹部面密度 Nh (個/mm ²)	Nh / t (個/mm ³)
1	5.1	3.0	0.0349	0.1	0.0012	4100	4.77×10 ⁷	3675	6.13×10 ⁷
2	5.3	3.3	0.0199	0.1	0.0006	8500	5.12×10 ⁷	800	4.81×10 ⁶
3	5.2	3.2	0.0130	0.3	0.0012	7350	2.99×10 ⁷	2450	9.96×10 ⁶
4	13.0	10.9	0.0203	0.5	0.0009	74800	1.4×10 ⁸	0	0
5	4.1	2.2	0.0105	0.3	0.0014	13900	6.62×10 ⁷	0	0
6	14.1	12.1	0.1513	0.9	0.0113	14800	1.85×10 ⁸	9800	1.23×10 ⁸
7	30.1	28.0	0.0415	12.3	0.0182	156000	2.3×10 ⁸	0	0
8	9.8	7.8	0.0156	10.0	0.0200	106000	2.12×10 ⁸	0	0
9	7.1	5.1	0.005	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—

【表 4】

試料 No.	切り屑カール半径(μm)			切削抵抗の未被覆品との比 (A 5 0 5 2)						凝着幅 (μm)	
	A 5 0 5 2 (未被覆品 との比)	A D C 1 2 (未被覆品 との比)	AC4A-T6 (未被覆品 との比)	切削初期			5 m 切削後			ADC12	AC4A-T6
				主分力	背分力	合力	主分力	背分力	合力		
1	962 (0.38)	833 (0.63)	935 (0.40)	0.43	0.54	0.57	0.28	0.29	0.52	100	150
2	775 (0.31)	675 (0.51)	674 (0.29)	0.47	0.61	0.51	0.24	0.27	0.41	250	150
3	763 (0.31)	575 (0.44)	618 (0.26)	0.51	0.62	0.57	0.21	0.26	0.48	150	<100
4	766 (0.31)	547 (0.42)	521 (0.22)	0.52	0.67	0.50	0.19	0.27	0.47	100	<100
5	765 (0.31)	557 (0.42)	564 (0.24)	0.50	0.65	0.67	0.29	0.29	0.52	150	100
6	618 (0.25)	1072 (0.81)	2023 (0.88)	0.62	0.77	0.75	0.34	0.35	0.54	200	150
7	1971 (0.78)	1282 (0.97)	2152 (0.93)	0.68	0.78	0.79	0.48	0.47	0.59	300	200
8	1812 (0.72)	1254 (0.95)	2117 (0.91)	0.58	0.67	0.71	0.40	0.40	0.58	300	200
9	2217 (0.88)	1230 (0.93)	2282 (0.98)	0.66	0.71	0.77	0.47	0.48	0.63	300	300
10	2500 (1)	1317 (1)	2310 (1)	1	1	1	1	1	1	400	400

表2～4の結果から明らかなように、本発明に相当する試料1～5のDLC被覆工具による切り屑は、硬いSiが含まれるADC12やAC4Aなどのアルミニウム合金材の切削においても、切削性の良いA5052と変わらず、安定して小さなカール半径を示す。

これに対し、従来FADやNADにより成膜したDLC膜は、密度や硬さ、膜表面の平滑度において劣り、このようなDLC膜で被覆した工具による切り屑はA5052に対しては優れた切削性を示すものの、ADC12やAC4Aの切削においては、未被覆の工具と殆ど同じ性能でしかないことが確認された。また、本発明のDLC被覆工具は、ADC12やAC4Aの切削においては従来品より優れており、切り屑のカール半径では未処理のものとは比べて、およそ0.7倍以下となっている。

【0071】

10

さらに、A5052に対する切削抵抗については、切削初期から、本発明のDLC被覆工具は、最小の切削抵抗を示している。

アルミ合金の切削において、摩擦係数は凝着のしやすさに比例すると示唆され、7m切削後の凝着幅も概ね、カール半径、切削抵抗に比例して少なくなっている。

【0072】

本発明のDLC被覆工具は、比較例に示した従来の水素フリーDLC膜を備えた工具（試料6～8）に較べ、密度や硬さ、膜表面の平滑度において勝り、このような幅広い被削材に対して、切り屑の排出がよく、切削抵抗が低く、耐凝着性も優れていることが判明した。

【図面の簡単な説明】

20

【0073】

【図1】(a)～(c)はT-FAD、NFA、従来FADにより成膜したDLC膜表面形状を比較して示すFE-SEM像である。

【図2】各種成膜法によって形成したDLC膜の硬さとヤング率の関係を示すグラフである。

【図3】各種成膜法によってDLC膜を形成した薄板試験片における膜厚と反りとの関係を示すグラフである。

【図4】T-FAD及びPECVDにより形成したDLC膜を高温保持した場合における表面粗さの変化を比較して示すグラフである。

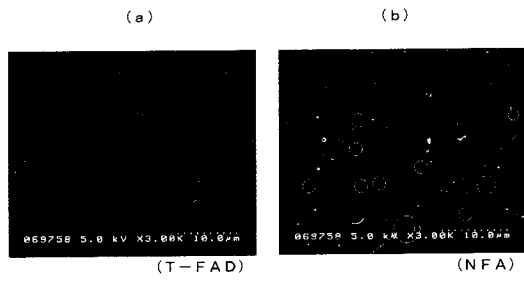
【図5】T-FADにより成膜されたDLC膜の波長632.8nmのHe-Neレーザーによるラマンスペクトルの一例を示すグラフである。

30

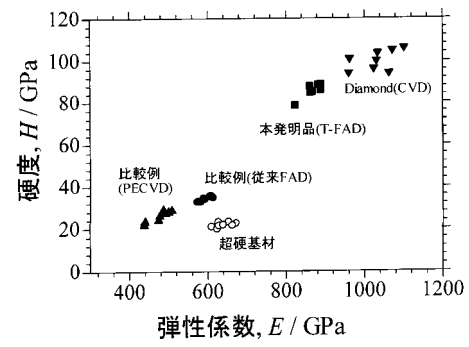
【図6】切り屑カール半径の定義及び測定要領を示す説明図である。

【図7】(a)～(c)は実施例の切削試験により得られた代表的な切り屑の外観を示す写真である。

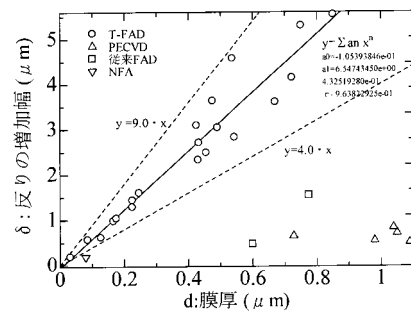
【図 1】



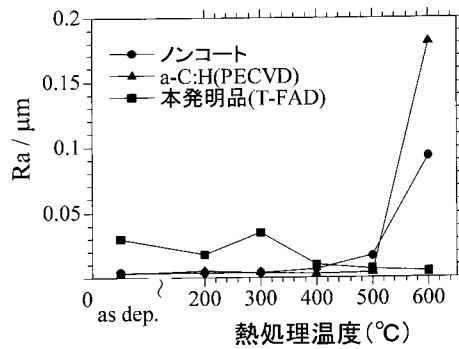
【図 2】



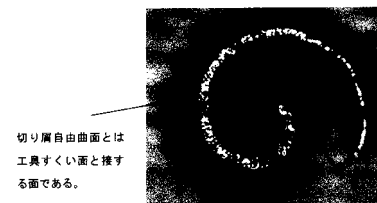
【図 3】



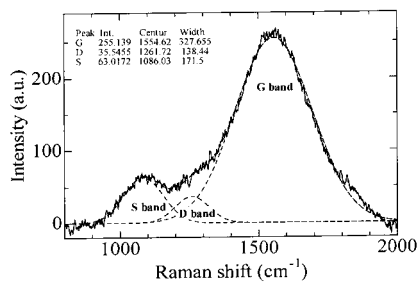
【図 4】



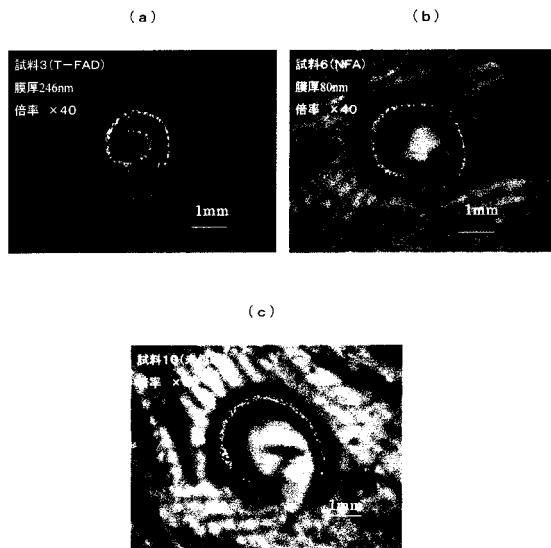
【図 6】



【図 5】



【図 7】



フロントページの続き

(72)発明者 瀧 真

石川県能美市吉原町ワ－１３ 株式会社オンワード技研内

審査官 小川 真

(56)参考文献 特開２００３－０６２７０８（ＪＰ，Ａ）

特開２００１－１９２８６４（ＪＰ，Ａ）

特開平０７－１８８９１６（ＪＰ，Ａ）

特開２００７－０８３３８２（ＪＰ，Ａ）

特開２００３－２５１５０３（ＪＰ，Ａ）

Y.H.Liu, J.L.Zhang, D.P.Liu, T.C.Ma, G.Benstetter, 「A triangular section magnetic solenoid filter for removal of macro- and nano-particles from pulsed graphite cathodic vacuum arc plasmas」, Surface and Coatings Technology, 米国, Elsevier, ２００５年１２月２１日, vol.200 No.7, p2243-2248

彦坂博紀, 岩崎康浩, 滝川浩史, 榊原建樹, 長谷川裕史, 辻 信広, 「厚膜ta-C形成用X字状フィルタードアーク蒸着装置の開発」, 電気学会論文誌A, 日本, 電気学会, ２００６年 ８月, 126巻8号, p757-762

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 2 3 B 2 7 / 1 4

B 2 3 B 2 7 / 2 0

B 2 3 B 5 1 / 0 0

B 2 3 C 5 / 1 6

C 2 3 C 1 4 / 0 6