

特集

金型の表面改質

キーテク特集

窒化処理

樹脂金型・スクリューのクリーニングに アスコン®ブラストキャビネット



BASRO-2

「樹脂金型・スクリュー洗浄エアブラスト」

ゴム金型やプラスチック金型、射出成形機用スクリューに付着した樹脂汚れを誰でも簡単に、短時間でクリーニングできるブラスト装置です。プラスチック製の投射材を使用するため、金型・スクリューなどの基材を傷めることなく樹脂汚れのみをムラなく取り除くことが可能です。

使用目的やワークの大きさに合わせて、豊富なラインナップのなかから最適なブラスト装置をご提案させていただきます。

クリーニング後



ブラストキャビネット内部



ご愛顧いただき82年

特集

金型の表面改質

フィルタードアークで創るDLC膜とその応用 豊橋技術科学大学 滝川 浩史、針谷 達	24
ショットピーニングにより表面テクスチャを形成した 冷間鍛造用金型のトライボロジー特性 大阪大学 松本 良	27
微粒子投射処理による超硬合金金型の長寿命化 不二WPC 熊谷 正夫、国産合金 山下 裕吉、神奈川県立産業技術総合研究所 横内 正洋	30
金型関連展に見る金型向け表面改質技術 編集部	33

キーテク特集

窒化処理

プラズマ窒化したFeとFe-1Al合金の窒化挙動に及ぼす加工の影響 日立建機 孟 凡輝	36
制御ガス窒化した低合金鋼の窒化組織とその機械的特性 パーカー熱処理工業 平岡 泰	39

連載

トップインタビュー グウェン ボロレ 氏 (TS TUFFTRIDE)	42
現場に行こう! ユケン工業 高棚工場	43
Dr.クマガイののんびり地球紀行 第4回 ペルー編 不二WPC 熊谷 正夫	49

トピックス

仏HEFグループ、日本での表面改質ビジネスを強化	18
不二WPC、食品関連分野の課題解決・環境負荷低減で新会社「サーフテクノロジー」を設立	20
日本トライボロジー学会、トライボロジー会議 2019 春 東京 開催、学会賞表彰式を実施	21

製品・技術情報	22	WORLD NEWS	48
ニュースフラッシュ	44		

フィルタードアークで創る DLC膜とその応用

豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学系 教授 滝川 浩史、助教 針谷 達



る高密度の DLC である。筆者らはこれをスーパー DLC⁽³⁾と呼んでいる。本稿では、このスーパー DLC を形成するフィルタードアーク蒸着装置、DLC の分類、フィルタードアーク蒸着装置で形成した DLC の応用について概観する。

フィルタードアーク蒸着装置 (T-shaped Filtered Arc Deposition; T-FAD) を開発した^{(4),(5)}。なお、テストピースサイズだけでなく実際の金型や工具にも成膜できるように、独自に開発した 3 軸導入回転・振り子機構を成膜領域に内蔵させた。これは通常の自公転機構としても利用できる構造にしてある。また、最近の高機能化の要求に対応するため、アンバランスドマグネトロンスパッタ源 (Unbalanced Magnetron Sputtering; UBMS) も取り付けた。UBMS はカーボン以外の材料の蒸発に用いている。現在のところ、内蔵機構を用いて、被成膜物をフィルタードアークビーム成膜位置と UBMS 位置とに移動して成膜を行っている。図 1 (a) に T-FAD 概念図 (UBMS 付き)、(b) に実機、(c) に内蔵機構のモデル図を示す。

3. DLC 膜の分類

DLC 膜は一般的に次の 4 種に大別される^{(1),(6)}。①水素を含まず sp^3 構造リッチなもの (ta-C)。②水素を含まず sp^2 構造リッチなもの (a-C)。③水素を含み sp^3 構造リッチなもの (ta-C:H)。④水素を含み sp^2 構造リッチなもの (a-C:H)。スーパー DLC とは、①の ta-C の高品質膜のことである。一般的な DLC は④の a-C:H である。この 4 種の DLC のほぼすべてを高品質に製造できるのは FAD 法のみである。筆者らは、T-FAD を用いて DLC 膜を作り分け、その膜分析から次の知見を得ている。

T-FAD を用いて作製した DLC 膜を、膜中の水素含有量と sp^3 比 (膜中 sp^3+sp^2 量に対する sp^3 量の割合) を指

2. 製造装置

DLC 膜の工業的製造装置は、プラズマ CVD (Plasma Based Ion Implantation and Deposition; PBII&D を含む) と真空アーク蒸着 (アークイオンプレーティング、AIP、マルチアーク、アーク PVD などとも呼ばれる) とである。両者の大きな違いは、前者は原料として炭化水素ガスを用いるのに対し、後者は固体黒鉛を用いることである。その結果、前者で形成できる DLC は水素含有のものであり、水素フリー DLC は形成できない。一方、後者は雰囲気ガスに何も導入しなければ水素フリー DLC を形成でき、雰囲気ガスに水素、炭化水素、窒素などを導入すれば水素含有 DLC や窒素含有 DLC を形成できる。

真空アーク蒸着は後述の硬質・高密度水素フリー DLC (ta-C) を形成できるという利点があるが、ドロップレット問題がある。同法では、蒸発源である陰極点から陰極材料の微粒子 (ドロップレット) が放出されるという問題がある。これが生成膜に付着すると異物となり、表面精度が確保できなくなる。また、ピンホールを形成したり、はく離の起点となったりする。従って、高精度の表面と膜質を確保するためには、ドロップレットの付着を抑止する必要がある。このような背景のもと、筆者らは T 字状

1. はじめに

近年、DLC 膜には様々な種類があり、種類によってその用途も異なることが認識されるようになってきており、DLC 膜の規格・標準化も進んでいる⁽¹⁾。しかし、まだまだ DLC の利用者にその理解が浸透しているとは言いがたい。一方、DLC 膜の用途は年々広がりを見せ、また、同じ用途であっても性能要求が一段と高くなってきている。規格化が進んだといっても、現実には新しい用途や高まる要求に対して、どの膜種がいいのか、どのような成膜方法がいいのか、どのようなレシピがいいのか、どのような膜構成・膜構造がいいのか、多くのパラメータを詳細に調査・検討して調整する必要があり、製造者が悩むところである。

DLC を保護膜として利用するのは、摺動性、離型性、凝着防止性、耐磨耗性、バリア性など機能の付与・発現を期待するからである。保護膜には、特異環境においてこれらの機能を求められることが多い。例えば、レンズ金型への保護膜コーティング⁽²⁾の場合、レンズ金型の使用環境が 600°C 程度以上であるため高温耐久性が求められる。当然のことながら、ガラスと融着しないことも必要である。DLC の分類については後述するが、これらの機能を満足するのは、今のところ不純物を含まず、炭素のみからな

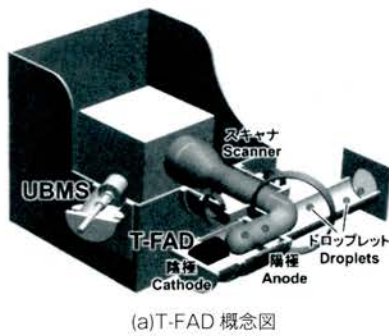
標として位置付けると図2(a)中に示すプロットになる。筆者らは、この作り分けたDLC膜の分析結果をもとに、各DLC膜の応用上の特性(主に膜硬さと水素量)を加味し、4種の分類を割り当てた図2(a)の分類図を提案している。また、4種のDLCに対し、水素を含まずより軟質なカーボン膜がグラファイトライクカーボン(GLC)、水素を含み軟質なカーボン膜がポリマーライクカーボン(PLC)である。この分類図と作製したDLC膜から、DLC膜は水素量の増加に伴い sp^3 比が減少する傾向にあることがわかる。従って、水素量が多く硬いta-C:Hは実現が困難であることが示唆される。

DLC膜中の sp^3 比の定量的な分析には、吸収端近傍X線吸収微細構造(Near-edge X-ray absorption fine-structure: NEXAFS)測定が必要になるため、DLC膜応用の観点では、より簡

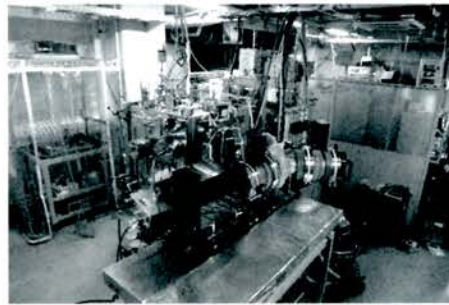
便な分析手法によって得られる膜特性を分類指標に用いることが望ましい。筆者らは、DLC膜における sp^3 比と膜硬さ(ナノインデンテーション硬さ)との相関関係、および膜硬さと膜密度との相関関係から図2(b)および(c)に示すように、膜硬さまたは膜密度を sp^3 比に代わる分類指標としたDLC膜の分類図も提案している。膜硬さは、ナノインデンテーション硬さ試験にて評価でき、DLC膜の応用においても直接的に重要となる膜特性である。しかし、同硬さ試験を用いるには数100nm程度のDLC膜厚が必要であり、特に硬質DLC膜(ta-Cやta-C:H)では厚膜形成が難しい。一方、膜密度は、X線反射率測定(X-ray reflectometry: XRR)によって分析可能である。XRRはナノインデンテーション硬さ試験とは対照的に膜厚100nm以下の極薄膜に対する分析に強い。

4. 応用

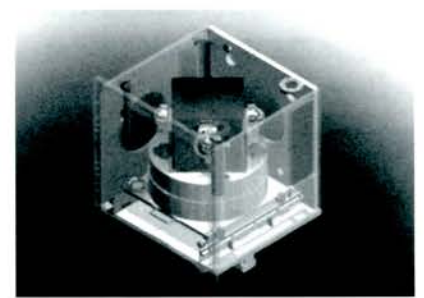
スーパーDLCの実用的応用は、ガラスレンズ成形用金型、ドライ切削用工具、自動車部品である。中でも、ガラスレンズ成形用金型の場合、最も高い品質が要求される。要求例は次の通りである。光学レンズの精度を保つため、異物フリー、ピンホールフリーであること。精度に影響を及ぼす可能性のある不純物元素が混入していないこと。ハンドリング時の傷防止のため、できるだけ硬質であること。繰り返し使用に対する耐久性が充分であること。高温において膜質の変化がないこと。基板との密着性が高いこと。金型曲面に対し膜厚が均一であること。現在、T-FADを導入していただいたメーカーにはこれらの要求に応えたスーパーDLCを製造していただいている。T-FADでスーパーDLCを形成したレンズ金型の一例を冒頭の写真に示



(a) T-FAD 概念図

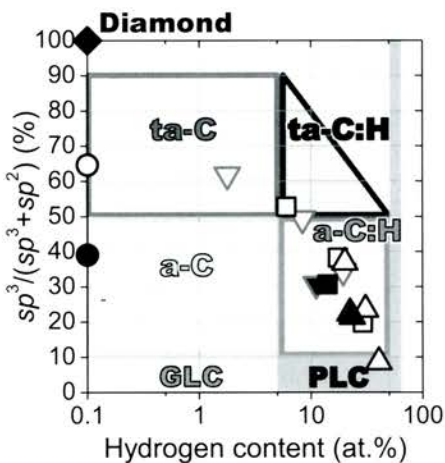


(b) 大学設置の T-FAD

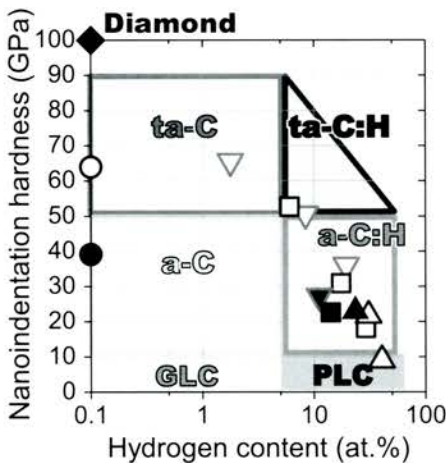


(c) 大学設置の T-FAD の内蔵機構

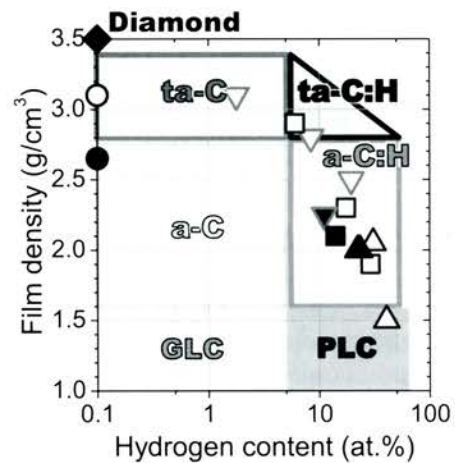
図1 T字状フィルタードアーク蒸着装置(T-FAD)



(a) sp^3 比 - 水素含有量



(b) 膜硬さ - 水素含有量



(c) 膜密度 - 水素含有量

図2 DLC膜の分類図

した。なお、スーパー DLC の許容温度よりも高い温度での加工も期待されており、より高温に耐える DLC の開発を進めている。

スーパー DLC は硬質であるため、条件によっては相手材を攻撃する可能性がある。そのような場合には、硬さを下げた DLC を利用すると効果的な場合がある。図 3 に冷間プレス金型へのコーティング事例を示す。これは自動車の電気系バスバーを折り曲げる V 字金型であり、DLC コーティングがないと V 字と接触する箇所にショックラインと呼ばれる傷が入るが、適切な硬さの DLC コーティングを施すとそのような傷が生じない加工ができる。

工具に関してもスーパー DLC コーティングは実用されている。特にアルミ合金のドライ切削用には好適である⁷⁾。銅合金にも高い性能を示す。ところで、近年では航空機産業をはじめとして CFRP の普及が著しく、その加工具の開発も進んできている。これまでのところ、CFRP の加工具にはダイヤモンドコーティングが施されてきた。このダイヤモンドコート工具の性能向上のため

DLC をオーバーコートしてみたところ、T-FAD でしか形成できない特定の DLC を用いた場合、切削性能が向上することを見出した。そのようなコーティングを施した工具を図 4 に示す。今後、さらに性能評価を進め、実用化への検討を図りたい。

5. 今後の展望

いくつかの種類のコーティング製造装置の実用化と普及が進み、受託生産量は年々増加している。内製も年々増加していると聞く。TiN や CrN に変わり、今や耐摩耗性保護膜コーティングの主力である。自動車部品や工具などへはますます取り入れられるであろう。これらの応用においては低コスト化の要求がある。例えば T-FAD の場合、ドロップレットフリーの最高級 DLC (スーパー DLC) が得られるが、成膜速度は遅い。低コスト化に向けては成膜速度を上げ、所望の生産性を確保することが期待されている。しかし、ドロップレット問題はレンズ金型ほど厳しくはない。つまり、ドロップレットが多少あっても構わないが高速処理が可能な水素フリー DLC 製造装置の開発が期待されているというこ

とである。もちろん、水素含有 DLC 膜のさらなる高速製造も期待されているのは言うまでもない。

また、DLC、なかでもスーパー DLC のさらなる高機能化も求められている。例えば、より高温に耐える DLC、導電性の高い DLC、種々の母材と密着性の良い DLC、である。この要求の実現はスーパー DLC 単体では難しく、異種元素のドーブや膜の構造化などが有効である^{8),9)}。現在、この研究開発をさらに推進する装置、すなわち図 1 で示した UBMS を組み込んだ T-FAD を構築し、膜開発を進めている。

謝辞

本稿の執筆にあたり、伊藤光学工業株式会社 神谷雅男氏、豊橋技術科学大学 修士学生 爲國公貴氏、戸谷陽文氏の協力を得た。また、株式会社オンワード技研、株式会社 SP ワークス、およびオーエスジー株式会社との共同研究、平成 29 年 3 月修了生 今井貴大氏、平成 31 年 3 月修了生 出貝 敏氏、依田文徳氏の修士研究成果を紹介させていただいた。ここに謝意を表す。

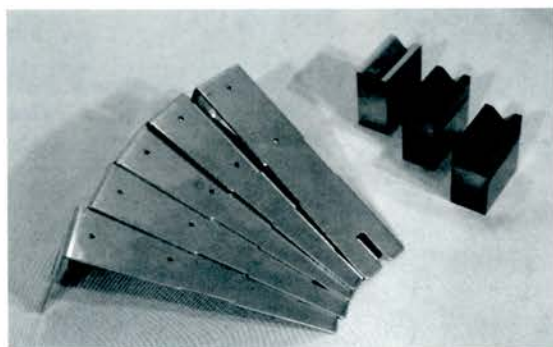


図 3 DLC コート冷間プレス V 字金型とキズフリーバスバー



図 4 DLC オーバーコート CFRP 切削用ダイヤモンドコート工具

参考文献

- 1) X. Zhou, et al : Diam. Relat. Mater., 73, 232 (2017).
- 2) 瀧、他 : 光技術コンタクト、52, 15 (2014).
- 3) 登録商標 5488005 : 滝川浩史、株式会社オンワード技研、株式会社フリクション
- 4) 滝川 : 天田財団 Form Tech Review, 26, 94 (2016).
- 5) 滝川 : プラズマ・核融合学会誌、92, 466 (2016).
- 6) J. Robertson : Mater. Sci. Eng. R, 37, 129 (2002).
- 7) 滝川、他 : 機械技術、66, 18 (2018).
- 8) Y. Iijima, et al : Jpn. J. Appl. Phys., 57, 01AE07 (2018).
- 9) T. Harigai, et al : Jpn. J. Appl. Phys., 58, SEED05 (2019).

未来へ、そして世界へ

— 私たちは「人」「金属」を情熱で結びます —

ICBP FLEX

全自動低圧浸炭設備

次世代浸炭ラインの世界標準機

冷たい炉壁、火災の一切無い、公害要素のない連続無人操業、良好な環境を達成。インフラカーブプロセスの採用で、複雑な浸炭条件も思いのまま。高品質浸炭が行えます。

クイックスタート：15~30分立ち上げ可能。

高温高速浸炭：1050℃対応、従来浸炭時間を1/5に短縮。

モジュール化：セル（浸炭室）の増設可能。

同時異処理が行える、フレキシビリティ。

全世界納入実績 1200セル ※2019.1月現在



ICBP NANO

コンパクト低圧浸炭設備

機械加工と同期生産可能な浸炭設備



全世界で1000セル以上の納入実績があるICBP FLEXの技術を引き継ぎ、最大6つの加熱セルと10barまで対応可能なガス冷セルを有しています。有効サイズは500mm×600mm×250mm Gross:100kg/ch、ピット不要で生産ラインに直結できサイクルタイムも短縮できることから、機械加工と熱処理の夢の同期生産を可能にします。

SRV⁵ 振動摩擦摩耗試験機

潤滑剤と材料試験の新基準

DIN(ドイツ工業規格)とASTM(米国材料・試験協会規格)に準拠、2つの基本動作を同一プラットフォーム上で行うデュアルモーションを実現することでコストを抑えました。オシレーション及びローテーション試験動作の切り替えも短時間で行えます。



ZAMS 連続オーステンパー設備

新世代の高品質オーステンパー処理

省エネルギー、省人、メンテの軽減に配慮した新世代オーステンパー炉です。当社は、塩浴剤と装置の双方を製造する日本唯一のメーカーとして、オーステンパー熱処理ラインのトータルプランをご提案いたします。



●製品のお問い合わせは

パーカー熱処理工業株式会社
PARKER NETSUSHORI KOGYO CO.,LTD.

<http://www.pnk.co.jp>

本社 東京都中央区日本橋2-16-8 〒103-0027 ☎03-3278-4550(代)
設備営業部 川崎市川崎区田町3-13-10 〒210-0822 ☎044-276-1671
宇都宮出張所 栃木県宇都宮市平出工業団地26-2 〒321-0905 ☎028-660-2105
大阪営業所 大阪府吹田市広芝町11-41-1 〒564-0052 ☎06-6339-5088
名古屋営業所 愛知県尾張旭市東栄町4-8-7 〒488-0011 ☎0561-53-5265
技術センター 川崎市川崎区田町3-13-10 〒210-0822 ☎044-276-1583

川崎工場 川崎市川崎区白石町4-4 〒210-0857 ☎044-355-2671
東松山工場 埼玉県比企郡滑川町大字都25-78 〒355-0812 ☎0493-56-4341
東川崎工場 川崎市川崎区田町3-13-18 〒210-0822 ☎044-276-1585

Head office : 16-8, 2-chome, Nihonbashi, Chuo-ku, Tokyo 103-0027, Japan
TEL 03-3278-4550 FAX 03-3274-2260