

1. はじめに

アルミニウムや銅、CFRP といった非鉄金属を切削加工する場合、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、刃先が欠損する凝着摩耗が問題となる。特にアルミニウム合金の中でもダイキャスト用に Si が添加された AC 系、ADC 系の材料は、この現象が顕著に表れる。この問題の解決策として DLC(Diamond Like Carbon)や多結晶ダイヤモンド(poly-crystal diamond: PCD)をコーティングした工具が実用化されている。しかし、PCD はコストが高く、面粗度が悪化するなどの問題があり、他方 DLC では十分な耐摩耗性や耐凝着が得られない場合がある。

真空アーク法は固体グラファイトを原料とし、高真空中でのアーク放電により DLC を成膜することで膜中に水素が含まない、高硬度な水素フリー DLC 膜(tetrahedral amorphous Carbon:ta-C)を成膜することができる。この ta-C 膜は前述の凝着の対策として有効であるが⁽¹⁾、アーク放電に伴いアーク陰極からのドロップレット(サブミクロン~数十 μm 程度の陰極材料微粒子)が膜中に混入するため、表面粗度が悪化したり、ドロップレットの脱離による膜剥離を生じたりしてしまう。そこで、弊社では豊橋技術科学大学の滝川教授が開発した T 型フィルタードアーク(T-FAD)装置⁽²⁾を自社で製作し、膜中におけるドロップレットの混入を極限まで下げた ta-C(弊社商品名:AC-X)を受託成膜用の商品として開発した。この AC-X はアルミ切削工具の耐凝着膜として極めて有効なことは既報の通りである⁽³⁾。本稿では特に鋳物用アルミ合金である AC2A の切削に関して詳細を解説する。

真空アーク法は固体グラファイトを原料とし、高真空中でのアーク放電により DLC を成膜することで膜中に水素が含まない、高硬度な水素フリー DLC 膜(tetrahedral amorphous Carbon:ta-C)を成膜することができる。この ta-C 膜は前述の凝着の対策として有効であるが⁽¹⁾、アーク放電に伴いアーク陰極からのドロップレット(サブミクロン~数十 μm 程度の陰極材料微粒子)が膜中に混入するため、表面粗度が悪化したり、ドロップレットの脱離による膜剥離を生じたりしてしまう。そこで、弊社では豊橋技術科学大学の滝川教授が開発した T 型フィルタードアーク(T-FAD)装置⁽²⁾を自社で製作し、膜中におけるドロップレットの混入を極限まで下げた ta-C(弊社商品名:AC-X)を受託成膜用の商品として開発した。この AC-X はアルミ切削工具の耐凝着膜として極めて有効なことは既報の通りである⁽³⁾。本稿では特に鋳物用アルミ合金である AC2A の切削に関して詳細を解説する。

2. T-FAD

2. 1 装置概要

T-FAD 装置の概要を図 1 に示す。同装置は黒鉛陰極の真空アークプラズマ源を備え、T 字状の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

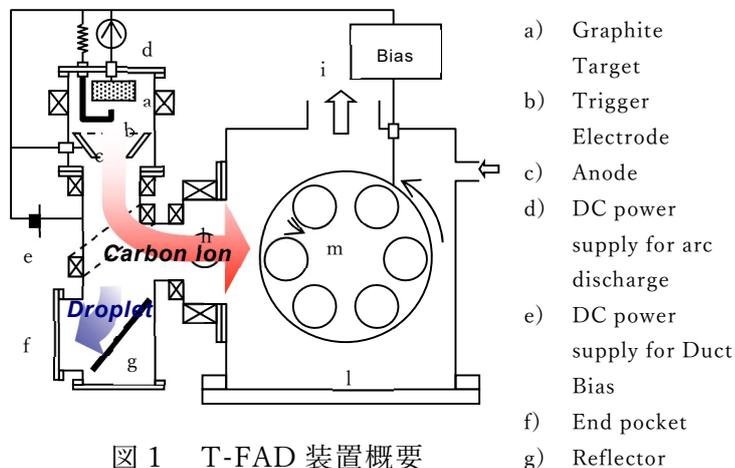


図 1 T-FAD 装置概要



図 2 T-FAD 装置外観

れている。カーボンプラズマは、プラズマ発生部およびダクトに取り付けられた複数の電磁コイルが発生する磁界によって、Tダクト内で直角に曲げられ、プロセスチャンバに輸送される。黒鉛陰極から発生したドロップレットは基本的に中性なため、磁界の影響を受けずに、陰極と対抗する方向に設置した延長ダクト（ドロップレット捕集ダクト）の方向に直進し、カーボンプラズマから除去される。一旦捕集ダクトに入ったドロップレットは、ダクト内で反射を繰り返して運動エネルギーを減衰させられ、最終的にダクト内に堆積する。このようにして、T-FAD はドロップレットをほぼ取り除くことができる。

2. 2 成膜条件

切削テストには以下の工具を利用した。インサートチップとしてタンガロイ製TPGN160302 (WC-Co;TH10) を用いた。洗浄後、装置内に搬入し以下の条件で成膜した。チップを自公転機構を用いて回転させながら、Ar プラズマエッチングによる前処理後、圧力 0.02Pa 以下、基板温度は 150 度以下を維持しつつ、基板バイアスは

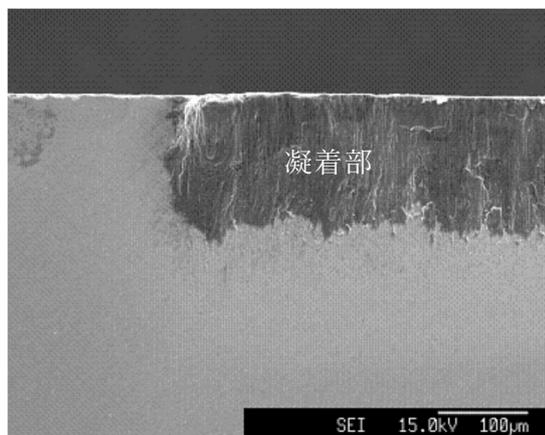


図4 切削チップすくい面凝着部SEM像

DC-100V として、スクイ面側の膜厚が 350nm となるまで成膜した。

3. ta-C 膜の特性

T-FAD により成膜した ta-C と他の炭素系膜のナノインデントによる硬度と弾性係数のグラフを図3に示す。

図より明らかなように、ta-C は a-C:H (PECVD 膜) の3倍以上の硬さを持ち、ダイヤモンドに準じる硬さ (H) と弾性係数 (E) を示すことが分かる。さらに、これらから、塑性指数 ϕ をもとめることができる。

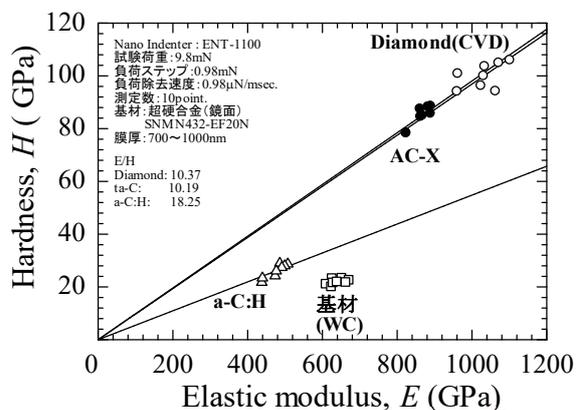


図3 AC-Xの硬さ/ヤング率の相関図

$$\phi = E/H \sqrt{\sigma/R}$$

(σ :突起高さの標準偏差)

R :突起先端部の平均曲率半径)

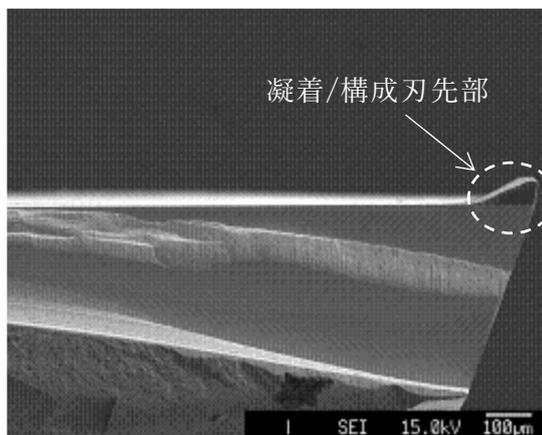


図5 切削チップ断面SEM像

の材料定数 E/H を算出した。 E/H は塑性指数の材料定数であり、値が小さいほど塑性変形し難いことを示している⁽⁴⁾。 通常材料は 14~20 程度の値である事が知られており、実際 a-C:H の場合 18.25 である。 これに対し ta-C は 10.19 とダイヤモンドの 10.57 とほぼ同じ値を示す。 このような E/H の値の低さは、膜が弾性的であることを意味し、ta-C のように E/H が低い膜は変形のエネルギーを弾的に蓄えるため、アブレッシブ磨耗に強いとされている。

また、高硬度な ta-C 膜は膜中の炭素の結合形態において、 sp^3 状態の比率が高いことが解っており、弊社 AC-X は ~80% 前後の sp^3 の比率となることも解っている。

り:0.1 mm/rev、切削距離:162m とし、クーラントには水道水を用いた。 試験後のチップの加工部すくい面側の SEM 像を図 4 に、これを破断した断面の SEM 像を図 5 に示す。 これより、刃先には被削材であるアルミが凝着し、先端はビルドアップして構成刃先が形成されていることが解る。 この構成刃先部分の断面の EPMA による各元素の濃度分布図を図 6 に示す。 白く明るい部分は各元素 (Al, Si, Fe, Cu) が高濃度で存在し、暗い部分にはほぼ存在していないことを表している。 図 6 左下の Si の濃度分布図より、工具先端の構成刃先と基材の界面部で Si が著しく偏析しているように見える。 Fe や Cu 等の他の添加元素も Si の周辺にそれぞれ独立に析出/流動を状態となっていることから偏析作用の影響が

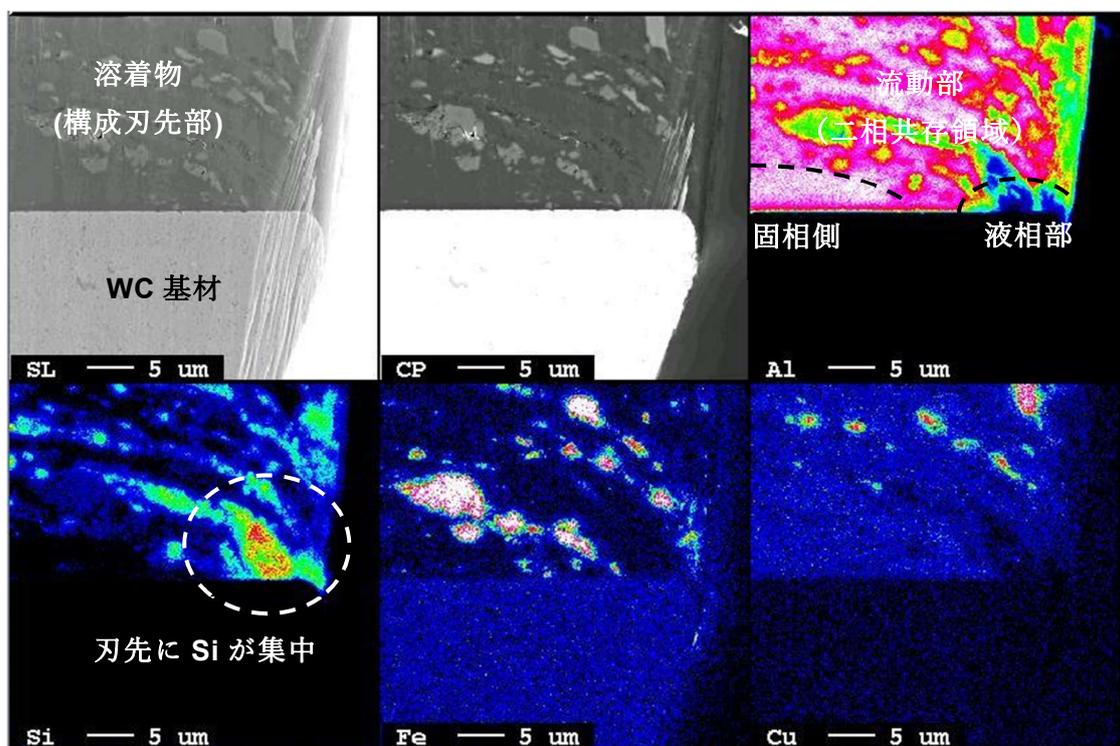


図 6 凝着部界面断面 EPMA マッピング元素濃度分布像

4. AC2A の切削テスト結果

被削材は AC 2 A を使い、切削条件は切削速度:100m/min、切込量:2.0mm、送

示唆される。

偏析作用は溶接のビード部などで見られるマイクロ偏析と本質的に同じで、不純物

の添加による凝固点降下の影響により液相/固相共存領域において液相側で不純物濃度が高くなる現象のことを言う。今回の場合、工具中心部側が低温/固相側となり、刃先に向かって強い温度勾配が形成され、刃先が高温/液相となる。このため、刃先に向かって添加物が析出していると考えられる。

AC系やADC系のSi添加アルミ合金の切削では、添加された比較的硬いSi粒により工具摩耗が進行しやすいと言われていた⁽⁵⁾⁽⁶⁾。しかし観察の結果からは、添加物は工具先端の構成刃先/基材の界面にSiが偏析し、構成刃先内の物質流動に伴い、析出物粒子は工具表面ではなく、構成刃先内を流れて行っているように見える。

SiはCと同じIV属の元素であり、DLC膜とは高い親和性を持つ。このため、偏析したSi粒が膜に凝着/脱離を繰り返す過程でDLC膜を摩耗させている可能性が考えられる。膜が無くなると、さらに凝着が進行して切削抵抗が上がり、切削温度が上昇して添加物の析出が増えるため、加速度的に摩耗が進行していく可能性も考えられる。

なお、ta-C膜のさらなる耐摩耗性の向上策としては、膜厚を増やす方法が効果的であった。工具先端のシャープエッジが確保され、切削抵抗が極端に増加しない範囲で膜厚を増やすことで(~600nm)単純に耐摩耗性が向上するだけでなく、Siの析出を抑止し、凝着幅を低減できることが解っている。

厚膜化による耐凝着性向上には、T-FADでの成膜によりドロップレットが十分に除去され、高い平滑性が得られている影響

も大きいと考えられる。

5. まとめ

T-FADでta-Cを表面に成膜した切削チップを用いてAC2Aの水雰囲気下での切削テストを行った。刃先の構成刃先部の断面元素分析の結果、添加物が刃先に偏析している可能性があることが解った。

この偏析が膜の耐凝着性、耐摩耗性に強く影響していることが示唆される。

6. 謝辞

今回の研究では多くの方にご協力、ご助言を頂きました。特に神奈川県立産業技術総合研究所の吉田健太郎氏には貴重なデータを提供して頂き感謝します。

参考文献

- (1) H. Fukui, J. Okida, N. Omori, H. Moriguchi, and K. Tsuda; *Surf. Coat. Technol.*, 187(2004)70.
- (2) H. Takikawa, K. Izumi, R. Miyano and T. Sakakibara; *Surf. Coat. Tech.*, 163, 368, (2003).
- (3) 瀧真、長谷川祐史; 表面技術、58巻, No.10(2007), 589.
- (4) S. Miyake, T. Saito, K. Yu, T. Mikami, K. Ogata; *J. Surface Finish. Soc. Jpn.*, 55, 669, (2004)
- (5) 室町繁雄、財満鎮雄、高辻雄三、多々静雄、能登谷久公; 軽金属, (1972) Vol. 22, No.6, 417.
- (6) 財満鎮雄、新井浩三、大塚良達、谷本繁美、佃市三; 軽金属, (1985) Vol.35, No.2, 92.