

## ノート

## プレス加工用金型への高耐久性 DLC 膜の成膜技術の開発

中村 健太\*<sup>1)</sup> 森河 和雄\*<sup>2)</sup> 玉置 賢次\*<sup>1)</sup> 西村 信司\*<sup>2)</sup>

## Development of deposition technology of high-durability DLC film to the dry drawing tools

Kenta Nakamura\*<sup>1)</sup>, Kazuo Morikawa\*<sup>2)</sup>, Kenji Tamaoki\*<sup>1)</sup>, Shinji Nishimura\*<sup>2)</sup>

キーワード: DLC, 剥離, 表面粗さ, 絞り加工, ステンレス鋼板

Keywords: DLC, peeling, surface roughness, drawing processing, stainless steel sheet

## 1. まえがき

地球環境保護の観点から塑性加工における加工油の使用量の低減が求められており<sup>(1)</sup>, 加工油を使用しないドライ加工を実現するために DLC の工具への適用がなされている。特に, 絞り加工の分野では DLC を用いた加工の研究が盛んに行われている<sup>(2)</sup>。ところが, DLC 膜の工具と被加工材間に作用する摩擦に関する耐久性を簡易的に評価する方法は未だに確立されていない。そこで本研究では, DLC 膜の耐久性に与える基材表面粗さの影響に着目して, 実機加工条件下にある DLC 膜の摩擦に関する耐久性を簡易的に評価できる方法を検討した。

## 2. DLC コーテッド試験片

**2.1 基材と表面形態の調整方法** DLC を成膜する基材は大同特殊鋼製の DC11 で, 高温焼き戻し処理を施した。試験片は直径 20mm, 厚さ 4mm の円盤状で, 熱処理後に表面をラップ研磨によって鏡面 (0.002 $\mu$ mRa) に仕上げたものである。また, 試験片の表面形態はショットブラスト加工の投射材を変えることで調整した。準備した投射材はスチール, サンド, アルミナ, ガラスである。

**2.2 投射物と表面形態の関係** 表面形態の評価には Zygo 製 NewView 6200 (以下, 形状測定器と称す) を用いた。投射物を 10 分間 (アルミナのみ 30 分間) 投射した基材表面の, 形状測定器による測定で得られたパラメータを表 1 に示す。表中のパラメータは, Rsk が高さ方向の平均的な特徴を, PV は測定領域 (本測定では 0.5mm $\times$ 0.5mm) での高低差を示すものである。また, これらのパラメータに基づいて作成した断面形状のイメージ図を併せて示した。ガラスを投射物とした場合の表面は, 高低差も小さく谷の部分が小さく浅い形状となっている。一方, ガラスよりも質量が大きく硬い投射物であるサンドやアルミナでは高低差が大きく谷の部分が小さく深いことがわかる。

**2.3 DLC の成膜** 本研究では, CVD 法と PVD 法を用い





て 2 種類の DLC を成膜した。いずれの方法でも Ar による基材表面のボンバード処理を行った後, 中間層を成膜してから DLC を成膜した。なお, それぞれの成膜方法において, 膜厚が 2 $\mu$ m 程度になるように DLC の成膜時間を調整した。

## 3. 簡易的な評価方法とその妥当性の検証

**3.1 単一摩擦試験** 単一摩擦試験には, NANOVEA 製スクラッチテスタを用いた。測定は速度 10mm/min の下, 約 1 分間かけて荷重を 0.3N から 100N に変化させて行った。測定項目は, スクラッチ時の摩擦抵抗とスクラッチ面全体の顕微鏡観察とした。ここで測定例を図 1 に示す。図は投射物をガラスとした場合の CVD による DLC 膜を対象に試験を行った結果であるが, 1 箇所目では 20N 辺りで摩擦係数の上昇が認められる。また, 同図の上段は顕微鏡写真であるが, 摩擦係数が上昇した辺り (図中矢印部) から, 基材が露呈している。したがって, 摩擦係数が急上昇した箇所で DLC 膜が剥離したと判断できる。全ての試験片に対して行った単一摩擦試験の結果を, ショットブラスト処理後の表面粗さ Ra に対して整理したものが表 2 である。表中の記号は, 2 箇所とも剥離がなければ「○」, 1 箇所でも剥離が認められれば「△」, 2 箇所とも剥離が認められれば「×」としてある。

**3.2 繰返し摩擦試験** 繰返し摩擦試験には, CSM Instruments 製トライボメータを用いた。測定は荷重を 10N から 60N まで 10N ずつ増大させていくステップロード法により行い, 1 荷重条件で 10 分間行った。摺動速度は 0.1m/s とし, ボールとディスクの接触点の任意箇所に摩擦力が 3.2Hz で作用する条件とした。ボールには SUS304 を用い, その寸法は直径 6mm である。ここで測定例を図 2 に示す。

表 1. 表面形態に関するパラメータとイメージ図

ショットの種類	スチール	サンド	アルミナ	ガラス
Rsk	0.0	-0.3	-0.8	-1.4
PV, $\mu$ m	1.1	19.4	18.4	0.4
イメージ図				

\*<sup>1)</sup> 機械技術グループ\*<sup>2)</sup> 高度分析開発セクター

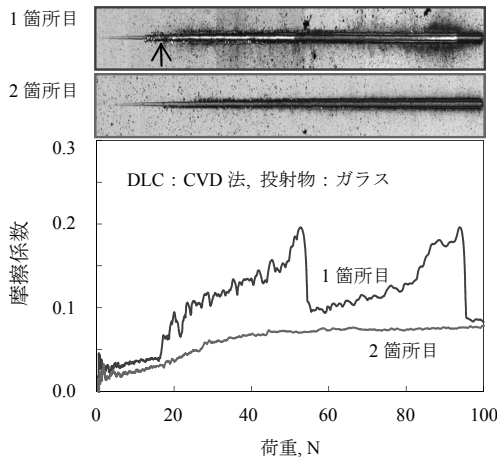


図1. 単一摩擦試験の測定例

表2. 単一摩擦試験の測定結果

表面粗さ Ra, $\mu\text{m}$		0.002	0.005	0.015	0.12	1.2
耐スクラッチ性	CVD	○	△	△	×	×
	PVD	△	×	×	×	×

図は投射物をガラスとした場合の、CVDによるDLC膜を対象に試験を行った結果であるが、1800秒付近から摩擦係数の上昇が認められ、従前の研究<sup>(2)</sup>に基づけば、このように摩擦係数が急上昇した箇所で剥離したと判断できる。全ての試験片に対して行った試験の結果を基に、摩擦係数が急上昇を始めた荷重を、ショットブラスト処理後の表面粗さRaに対して整理したものが表3である。

3.3 実機による加工試験 絞り加工試験にはShimadzu製サーボパルサ万能試験機を改造したものをを用いた。試験は、加工の難易度を判定する絞り性試験と、連続加工の難易度を判定する加工性試験を行った。工具にはいずれの試験で

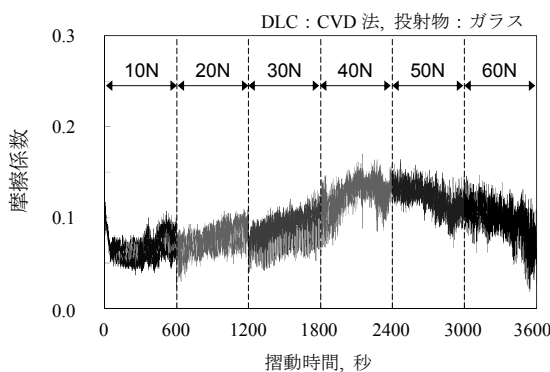


図2. 繰返し摩擦試験の測定例

表3. 繰返し摩擦試験の測定結果

表面粗さ Ra, $\mu\text{m}$		0.002	0.005	0.015	0.12	1.2
耐剥離荷重	CVD	30N	40N	30N	<10N	<10N
	PVD	<10N	<10N	<10N	<10N	<10N

表4. 基材の状態と絞り比の関係

ブランク直径,mm	50	52	54	56	58	60
絞り比	1.73	1.80	1.87	1.94	2.01	2.08
Ra=0.43 $\mu\text{m}$ (CVD,3 $\mu\text{m}$ )	○	○	×	×	×	×
Ra=0.002 $\mu\text{m}$ (CVD,3 $\mu\text{m}$ )	○	○	○	○	○	○
Ra=0.002 $\mu\text{m}$ (CVD,10 $\mu\text{m}$ )	○	○	○	○	○	○

もSKD11製のパンチ用い、ダイスには単一摩擦試験と繰返し摩擦試験から、摩擦に対する耐久性があると判断できる、CVD法によるDLCを成膜したものをを用いた。被加工材には板厚0.3mmのSUS304を用いた。なお、ブランクおよび工具はアセトンにより完全脱脂した。

絞り性試験は絞り比が1.73から2.08の範囲で行った。これまでのDLCコーテッド工具を用いた研究では、絞り比1.8までの絞り性は評価されていたが、本研究ではより厳しい絞り比2.08までの範囲を対象とした。表4に絞り性試験の結果を示す。任意の絞り比において5枚のブランクの連続加工ができた場合「○」、5枚中1枚でも加工ができない場合は「×」とした。0.43 $\mu\text{m}$ Raのダイスを用いた場合には、絞り比1.8までの加工が可能であるが、鏡面のダイスを用いることで絞り比2.08の厳しい条件までの加工が可能であることがわかる。また、絞り性に優れた鏡面のダイスにDLCを成膜して、絞り比2.08の下で加工性を評価した結果、100枚の加工が可能であった。なお、未成膜のダイスを用いた場合の限界絞り比は1.54であった。

#### 4. まとめ

- 1) ドライ加工条件としては比較的厳しい絞り比が2程度となる条件を想定した場合の、DLC膜の摩擦に関する耐久性を簡易的に評価するためには、単一摩擦試験と繰返し摩擦試験が有効であることがわかった。
- 2) 従来、基材の表面粗さを大きくしてからDLCをコーティングすることで、DLC膜と基材の密着性が向上することが知られていたが、絞り比が2程度となるような加工においては、基材の表面粗さは小さい方が摩擦に対する耐久性が向上することがわかった。
- 3) プレス加工に向けた高耐久性DLC膜の成膜方法は、従来の研究結果<sup>(2)</sup>および本研究の結果を組合せて、基材表面を荒して<sup>(2)</sup>、DLCを厚く成膜し、DLC膜を研磨して表面を鏡面に近い状態にすることが効果的と考えられる。  
(平成23年5月24日受付, 平成23年6月15日再受付)

#### 文 献

- (1) 片岡征二：環境にやさしいこれからの潤滑技術、塑性と加工、Vol.43, No.492 (2002-1) pp.3-10.
- (2) 片岡征二ほか：DLC膜の密着性向上とドライ絞り加工への適用、塑性と加工、Vol.46, No.532 (2005-5) pp.412-416.