421 ホロカソードディスチャージ方式による DLC コーティング膜のトライボ特性

Tribological Properties of DLC Film Coated by Hollow-Cathode Discharge Method

○正 藤邨 克之(湘南工大院) 正 村木 正芳,
正片岡 征二(湘南工大) 正 竹内 貞雄(日本工大)

Katsuyuki FUJIMURA, Graduate school of Shonan Institute of Technology, 1-1-25,
Tsujido-Nishikaigan, Fujisawa, Kanagawa. 251-8511 Japan
Masayoshi MURAKI and Seiji KATAOKA, Shonan Inst. of Tech., Dep. of Mec. Design Eng.
Sadao TAKEUCHI, Nihon Institute of Technology

A new film coating method based on a combination of hollow cathode discharge and glow discharge methods was developed in order to grow a DLC film on substrate of a dies for deep drawing and ironing process. One of features of HCD process was to be able to provide a uniform film thickness of DLC on inner surface of deep hole. When applying a new process to the surface of a small-sized dies, a surface had a uniform film thickness and high hardness and scratch force. Tribological properties were conducted with a pin-on-disk type tribometer under the constant operating conditions. A combination of hardened steel and DLC coated surface was much superior to steel/steel in terms of friction and antiwear properties.

Key Words: Tribology, DLC coating, CVD, Dies, Dry Press

1. はじめに

これからのものづくりの分野においては、環境負荷低減がキーワードである。プレス加工では、加工に際して使用される潤滑油と洗浄剤が問題視され、潤滑油を使用しないプレス加工、すなわちドライ加工の実用化が期待されている。すでに、工具類の外面に実用化されている DLC (Diamond Like Carbon) 成膜方法としては、高成膜速度で厚膜形成が容易な熱陰極 PIG (Penning Ionization Gauge) 方式のプラズマ CVD (Chemical Vapor Deposition) 法が一般的であるが、深絞りなどのプレス加工では、ダイスの深穴内面にまで均一に成膜することが難しいことが知られている。

本研究は、ドライ加工用金型製作に適した機能をもつ DLC コーティング装置の開発を目的としたもので、深絞りやしごき加工金型に適した、HCD (Hollow Cathode Discharge) 方式を提案し、その方式によるコーティング膜のトライボロジー特性を評価した。

2. コーティング装置とコーティング条件

新たに試作した成膜装置は、Fig.1 に示すように DC パルスプラズマ CVD に HCD 方式を採用したものである。HCD 方式の特長は、穴内部への成膜を容易にするために、DLC コーティング基材の凸凹表面でグロー放電させ、ホロカソード放電を重畳させた点にある。

コーティングの手順としては、まず Ar ガスによるボンバード処理を行い、DLC 膜と基材の中間層としての TMS を約 10 分間流した後、原料にアセチレンガスを用いて、DLC コーティングを行った。成膜温度は 250℃、時間は 60 分とした。

3. DLC 膜の膜厚分布と機械的性質

Figure 2 に示す深絞り用ダイスを想定した SUS304 製試

Fig.1 Schematic diagram of equipment for HCD type DC pulse plasma CVD

験片に対して DLC コーティングを行った。なお比較のために、PIG 方式によるコーティングも併せて行った。

DLC 膜厚は、ダイヤモンドペストを塗布した硬球を膜表面で転がし、円形状に削り取った膜断面から膜厚を測定

Fig.2 Test specimen for evaluation of film thickness of DLC coating

Fig.3 Depth profile of DLC coating film

する、いわゆるカロテストにより評価した。

DLC 膜の穴部の膜厚分布を Fig.3 に示す。図より、PIG 方式では、膜厚が開口部より急速に薄くなっていくのに対して、HCD 方式では深さ 16mm までほぼ膜厚が均一に蒸着されていることがわかる。一般に、ダイスに被膜処理を施す場合、穴径に対してその 1.5 倍程度の穴深さまで耐剥離

Fig.4 Test specimen for evaluation of mechanical properties DLC film

性の高い均一な膜厚が要求される。HCD 方式による結果は、その要求を満足していることが分かる。

4. 付着力と硬さ

Figure 4 に示すような、深穴内面の B, C 部に付膜後の機械的性質測定用に 12.7mm 角の超鋼チップを挿入した SK 製試験片に対して DLC コーティングを行った。コーティング後の DLC 膜の A, B, C 各箇所での膜厚は、2.7~3.0μm の計測値が得られ、ほぼ均一な膜厚の蒸着を確認した。

コーティングした DLC 膜の硬度は超微量硬度計(バーコピッチ圧子: 5g)により、付着力はスクラッチ試験機により評価した。結果を Table 1 に示す。膜の硬さは、1139~1283Hv と基準としての 1100 を上回った値を得た。

スクラッチ力は、70~100N 以上と部位によるばらつきは

Table 1 Mechanical properties of DLC coating film

Test part		A	B	C
Scratch force, N	1	100<	89	92
	2	70	86	75
Hardness, Hv*		1238	1139	1172
Film thickness, μm		2.68	3.03	2.73

1, 2: maximum and minimum values.

* average value of measurements

認められるものの、実プレス加工での評価では、50N 程度のスクラッチ力が実用上の下限値であることを勘案すると、十分な値と考えられる。

5. トライボロジー特性

プレス加工の中でも、特に深穴しぼり加工やしごき加工では、板厚減少を伴うため被加工材とダイス間のトライボ条件は過酷になり、そこでのすべり摩擦力の増大によって加工不良を生じることが知られている。

トライボロジー特性の評価には、ピンオンディスク試験機を用いた。ディスクの基材は SK3 で、DLC コーティングしたものと、比較としてコーティング前のものも用いた。ディスクの形状は直径 32mm、厚さ 8mm で、表面粗さは $Ra=0.3\mu m$ である。DLC コーティングディスクの DLC 膜厚は 2μm、硬度は 1220Hv である。ピンは材質 SUJ-2、長さ 10mm、直径 4mm、表面粗さが $Ra=0.5\mu m$ で、先端は半径 4mm の球面である。

実験は、荷重は 100N、すべり速度 0.1m/s、室温の一定条件下で 60 分間行った。

Figure 5 にすべり距離に伴う摩擦係数の変化を示す。図より、SUJ-2/SK3 の組み合わせでは、試験開始とともに摩擦係数は急増し、0.4 以上に達したのに対して、SUJ-2/DLC の組み合わせでは、試験開始直後 0.14 あたりから漸減し、すべり距離 100m 辺りで 0.1 まで低下し、その後は安定していることがわかる。

Figure 6 は、試験後のディスク摩耗面を観察した結果である。SUJ-2/DLC の組み合わせでは、金属酸化物の摩耗粉と思われる黒色の付着物が見られるのに対して、SUJ-2/DLC の組み合わせでは、摩耗痕がわずかに見られる程度で摩耗が極めて小さいことがわかる。なお、摩耗痕の深さは 0.2μm 程度であった。

Fig.5 Friction characteristics

Fig.6 Worn surfaces of disks