

トランスミッションギヤ用 DLC の開発

Development of DLC for Transmission Gears

棚 橋 努* 小那覇 安 則*
Tsutomu TANAHASHI Yasunori ONAHA

要 旨

伝達効率の向上を目的としてトランスミッションギヤ用のダイヤモンドライクカーボン(DLC)コーティングを開発した。カーボンスパッタ法を用いることで、表層硬さの向上と皮膜内の界面形成を抑制して、高面圧下での耐久性を改善した。本DLCはシフトギヤ、ファイナルギヤ、ベベルギヤに適用し、フリクションの低減に寄与するとともにレギュレーションで定める4レースイベント連続使用を可能とする信頼性を確保した。

ABSTRACT

A diamond-like carbon (DLC) coating has been developed for the transmission gears to increase their transmission efficiency. Using the carbon sputter method increased topcoat hardness and suppressed the formation of interfaces within the coating film, which enhanced durability under high surface pressures. This DLC was applied to the shift gear, final gear and bevel gear, and contributed to reducing friction. In addition, it secured the reliability needed to enable continuous use in the 4-Race events that Formula One regulations prescribe.

1. はじめに

トランスミッションの伝達損失には、主にベアリングとギヤの損失があるが、中でもギヤの滑り損失は大きな割合を占める。そのため、伝達効率の向上には摩擦特性に優れたDLCコーティング⁽¹⁾が有効と考えた。しかし、トランスミッションギヤ(以下ギヤ)は面圧負荷が高いために、エンジンの動弁系部品で採用していたDLCでは耐久性が不足し、適用できなかった。

DLCの優れた摩擦特性を生かして伝達効率を向上させるため、新たに下記の日標を設定してギヤ用DLCコーティングの開発をおこなった。

- (1)最大2.2 GPaの面圧負荷で、2008年よりレギュレーションで規定された4レースイベント連続使用に耐えられる皮膜構成
- (2)歯形の複雑形状に均一な膜をコーティングする手法の確立

2. 開発コンセプト

DLCコーティングを用いているエンジン動弁系では、往復動であるために滑り速度0 m/sの油膜切れポイントが存

在する。そこで、耐スカッフ性向上のために皮膜には硬質な下地層(Bonding layer)が必要となる。

一方、ギヤのしゅう動環境は、最大面圧は2.2 GPaと高いが滑り速度は0 m/sとはならず、動弁系のような油膜切れは発生しない。そのため、ギヤ用のDLCには下地層は必要ではないと考え、耐摩耗性を重視した表面層と皮膜構成の開発に注力した。

3. 開発技術

高面圧下で問題となる皮膜と基材の密着力を上げるため、基材の表面粗さをRa 0.1程度に仕上げて、洗浄の強化により表面の汚染(油成分や微細な錆)を除去した。その結果、基材の表面状態に起因するトラブルは皆無になった。

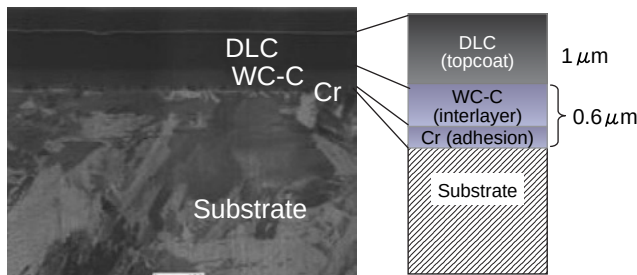
表面層(Topcoat)はナノインデンタ硬さを60 GPaまで上げて耐摩耗性の向上をねらい、基材までは中間層(Interlayer)である金属-炭素皮膜(以下WC-C)の硬さを徐々に変化させて密着層(Adhesion layer)のクロム(以下Cr)へと繋げる皮膜構成とした。Fig. 1にDLC皮膜の構成を示す。

表面層のDLCからWC-Cまでは連続してカーボンスパッタを用いた。一般的には炭化水素ガスを用いることが多い

*四輪R&Dセンター

が、連続スパッタにより界面の形成が抑制でき、高面圧下での層間剥離を防ぐことができた。

また凹凸形状を持ったギヤ(特にベベルギヤ)は、歯先と歯元間の膜厚均一性が課題となるが、バイアス電圧およびDLC 炉内のワーク配置を工夫することで膜厚の均一化を図った。Fig. 2にベベルギヤの歯先側膜厚を基準にした歯底方向の膜厚減少率を示す。従来のDLCに比較し、開発したDLCの膜厚が均一化されていることがわかる。



(a) FIB-SIM image (b) Schematic diagram

Fig. 1 DLC cross section

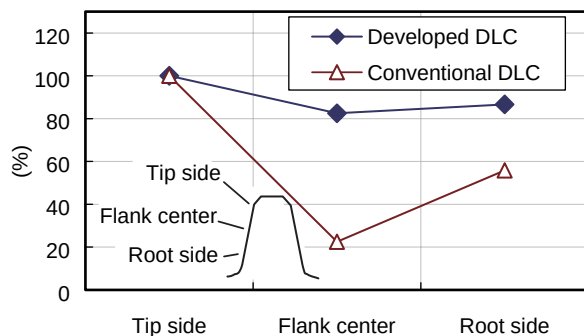


Fig. 2 Coating thickness distribution at tooth flank

4. 効果確認

ピンオンディスクでの焼き付き限界試験と、実際のトランスミッション試験をおこなった。前者は、オイルを塗布後に拭取り、焼き付きにより摩擦係数が立ち上る荷重を測定したもので、Fig. 3に示すように焼き付き荷重は40%向上した。これは層間の密着力が向上したためと考えられる。また、トランスミッションを用いた実機試験では性能向上と耐久性を検証した。Table 1に示すように合計で3.3 kWのフリクションを低減し、伝達効率では97.0%を達成した。

ベベルギヤとファイナルギヤの4レースイベント走行後の状態をFig. 4に示す。歯元の損傷は微小であり(図中矢印部)、耐久性に問題のないことを示している。

Table 1 Friction reduction of each DLC gear in actual gear box

	Shift gear	Bevel gear	Final gear
Friction	-0.8 kW	-1.3 kW	-1.2 kW

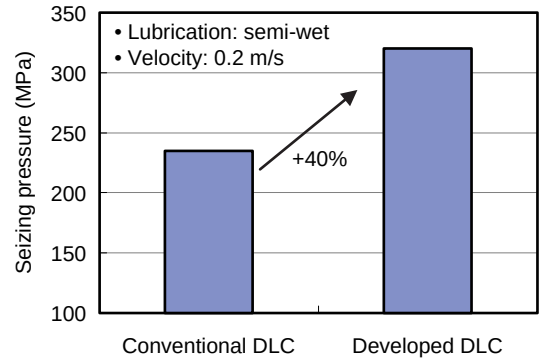
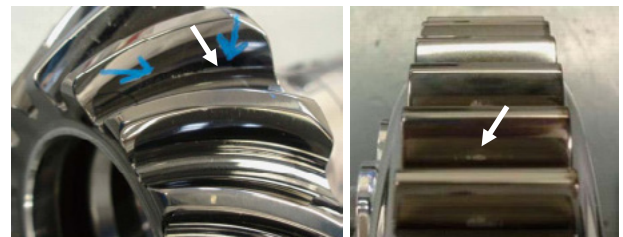


Fig. 3 Result of pin on disk test (DLC disk-DLC pin)



(a) Bevel gear (b) Final gear

Fig. 4 DLC after 4-race event

5. 結論

高面圧下での耐久性に優れるトランスミッションギヤ用DLCコーティングを開発し、2007年よりシフトギヤおよびファイナルギヤへ、2008年よりベベルギヤへ適用した。フリクションはトータル3.3 kW低減し、伝達効率は97.0%に達した。また、4レースイベント使用が可能な信頼性を持つことを確認した。

謝 辞

硬質 DLC の条件設定とギヤへのコーティング製法に協力頂いた株式会社アイ・シー・エスに感謝いたします。

参考文献

- (1) 鈴木秀人, 池永勝: 事例で学ぶ DLC 成膜技術, 日刊工業新聞社, p. 44-50(2003)

■ 著 者 ■



棚橋 努



小那覇安則