カムシャフト，ロッカアーム DLC コーティングの開発

Development of DLC Coating on Camshaft and Rocker Arm

伊 藤 直 彰*　米 原 真 臣*　矢久保 和 重*
Naoaki ITO　Masaomi YONEHARA　Kazushige YAKUBO

要　旨

F1 エンジン動弁部品の中で，常に高回転化が求められ，しゅう動環境が厳しいカムシャフトとロッカアームは耐久信頼性向上が必要であった．そこで，表面強化皮膜であるダイヤモンドライクカーボン(以下DLC)コーティングの開発を進め，膜構成や硬度バランスを最適化して適用した．その結果，トータル約 5 kW のフリクション低減や，カムシャフトの４レースイベント継続使用の耐久信頼性を達成した．

ABSTRACT

Among the Formula One engine valve train parts, the camshaft and rocker arm are subject to severe sliding conditions and constant demands for higher rotating speeds, so it was necessary to increase endurance reliability. Therefore, diamond-like carbon (DLC) coating films that strengthen the surface were developed, the film compositions and hardness balance were optimized, and the coating films were applied. As a result, friction was reduced by a total of approximately 5 kW, and endurance reliability was achieved that enables continuous camshaft use in 4-Race events.

１．まえがき

F1エンジンの動弁部品であるカムシャフトとロッカアームのしゅう動は厳しい環境下にさらされる．面圧は 1 GPa 以上，PV(面圧×しゅう動速度)値は20000 MPam/s以上にも達する境界潤滑のしゅう動環境である．Fig. 1にストライベック曲線でのしゅう動環境の位置付けを示す．

この環境で十分な耐久信頼性を確保するためには，油膜が切れても凝着を起こさず，高速高面圧しゅう動環境で磨耗しない強じんな皮膜で部品を覆う必要があった．よって，DLC コーティングを 2002 年から採用している．

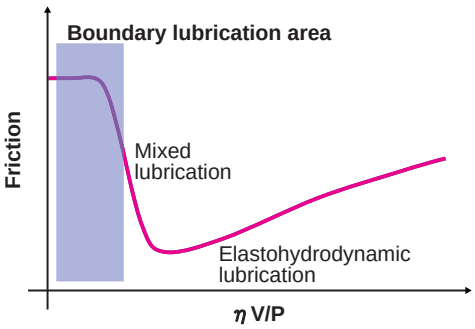

Fig. 1　Stribeck curve

エンジンの高出力高回転化に加え，オリフィスを用いた動弁エアースプリングシステム(J-VLV 機構)の適用や，１エンジン２レースイベント継続使用するレギュレーション規定も加わり，さらに耐久性が必要となった．そこでカムシャフトとロッカアームの DLC コーティングの開発の必要性が高まった．

２．DLC の仕様

2.1. DLC 層構成の考え方

DLCはカム駒部とロッカアームスリッパのしゅう動面の両面に処理し，双方で耐摩耗性の向上とフリクション低減を確認した．膜構成のコンセプトを Fig. 2 に示す．最表面には均一な当たりを実現するために，低硬度な層であるなじみ層を成膜した．また，主しゅう動層のDLC層は硬度とじん性のバランスを両立させており，さらにDLC膜の耐スカッフ性と密着性向上のため，硬度勾配を持つ中間層をスパッタ方式で成膜した．

2.2. 部品への DLC 処理

DLC同士のしゅう動では，相互の膜硬度バランスの最適化が必要である．例えば同硬度や表層が硬すぎるDLCはお

＊四輪R&Dセンター

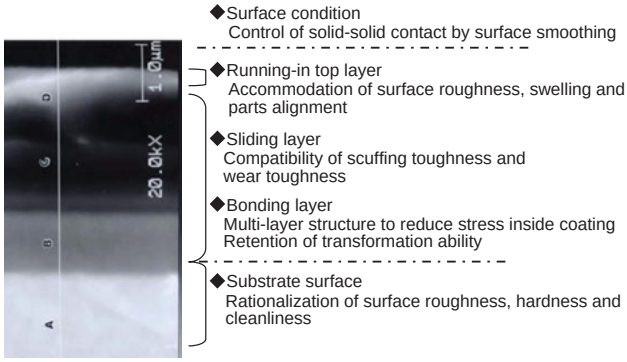

Fig. 2　Concept of DLC and bonding layer

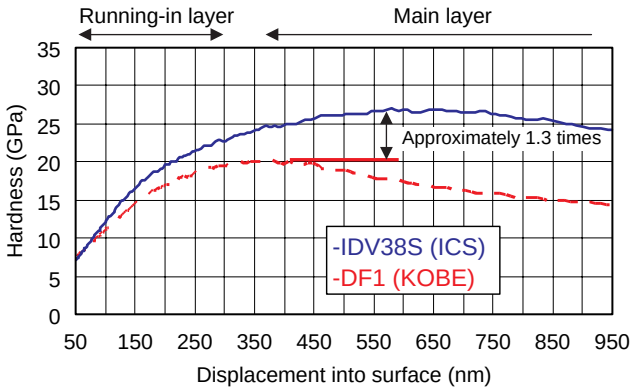

Fig. 3　Coating hardness of IDV38S and DF1

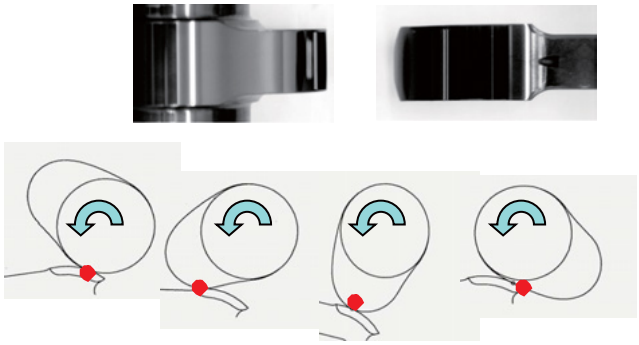

Fig. 4　Parts after DLC coating

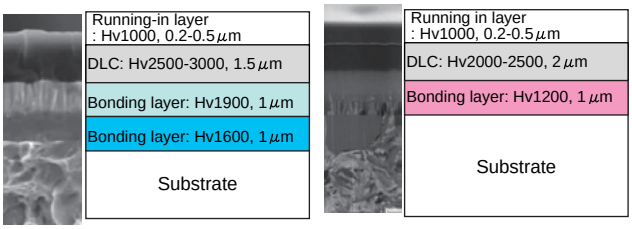

Fig. 5　IDV38S and DF1 layer configuration

互いを攻撃するため，望ましくない．

動弁環境を模擬した高面圧条件の単体往復しゅう動試験により，DLC仕様の組合せを評価確認した．主しゅう動層硬さで約 1.3 倍の硬度バランスがフリクションと焼き付き限界が高いことがわかった．DLC仕様の組み合わせとして選定した(株)アイ・シイ・エス社の IDV38S と(株)神戸製鋼所の DF1 の硬度プロファイルを Fig. 3 に示す．

部品への DLC 処理においては，カムシャフトに高硬度の IDV38S，ロッカアームスリッパ面へは IDV38S より低硬度のDF1を処理した．これは部品としてしゅう動する場合，カムシャフトのダメージの方が大きいという経験則による．部品への処理後の外観およびしゅう動イメージをFig. 4 に，DLC の膜構成を Fig. 5 に示す．

また，カムシャフトとロッカアームのしゅう動では，皮膜品質が重要となる．品質異常のある膜では，DLC剥離の不具合を起こす．そこで，膜の均一性，密着性，耐摩耗性などの品質保証手法を確立し，許容ピンホールとサイズと場所を決めた限度見本を作成し，品質管理した．

3．効果確認

2006年後半にIDV38S処理カムシャフトとDF1処理ロッカアームを投入し，面圧 1.37 GPa，PV22000 MPam/s 環境下でのしゅう動信頼性を保証した．これは 2004 年仕様のDLC組合せに対し，年次毎の限界面圧向上により面圧で17 %，PV で 32%もの高負荷運転を可能とした(Fig. 6)．

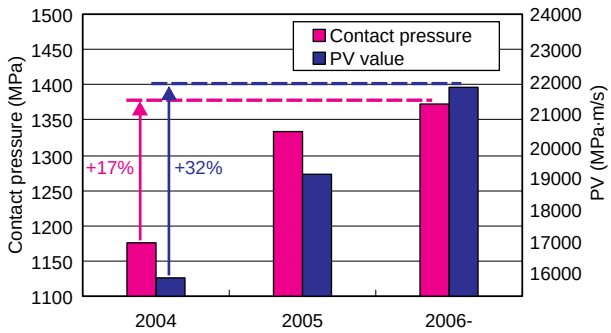

Fig. 6　Change in contact pressure and PV value

4．まとめ

F1エンジンが高出力化と高回転化に進化する中で，厳しいしゅう動環境での運転に耐えうる，カムシャフトとロッカアームDLCの定常進化を推進した．結果として，トータル約 5 kW の性能向上を果たし，また，2007 年からはコストダウン目的で，Cam 部品 4 レースイベント使用したが，同 DLC で耐久信頼性の保証ができた．

謝　辞

本部品への製法技術と品質保証にご協力を頂いた，株式会社アイ・シイ・エスならびに株式会社神戸製鋼所に対し，誌面を借りて厚く御礼申し上げます．

■著　者■

伊藤直彰

米原真臣

矢久保和重