

エンジン部品用セラミックス膜の摩耗性能に及ぼす膜特性解明に関する研究

加工技術課 岩坪 聡 プロジェクト推進担当 氷見清和* 大同工業(株) 奥村善雄

1. はじめに

近年の環境問題の高まりから、自動車のエンジン部品各部には、軽量化とともに耐久性や信頼性に優れた表面処理が求められている。その表面処理として硬く耐摩耗性に優れたセラミックス膜をコートすることが有効である。セラミックス膜を適用した製品の機能は、最終的には実機による試験で評価されるが、実機評価にいたるには、各種の観点で試験解析しておくことが必要になる。摩擦摩耗の場合、適用するセラミックス層が単に硬ければよいわけではなく、膜の密着性や靱性のみならず、相手材料との相性などその要因は複雑である。

表面処理層や膜の機械的特性を評価する場合、その厚みは薄い場合が多く、局所的な機械的特性を評価する必要がでてくる。従来その値を精密に評価することが困難であったが、近年微小領域の計装化押し込み試験（ナノインデンテーション試験）が発展し、微小領域の剛性率など弾性変形の状態を評価することが可能になった。そこで本研究では、作製したセラミックス膜や基材にナノインデンテーション試験を行い、その試験の有効性について検討した。

2. 実験方法及び結果

ナノインデンテーション試験には、株式会社フィッシャー・インストルメンツのピコデントーHM500を用いた。試験用の圧子は主に先端半径が 500nm 以下のビッカース圧子を使用した。

まず、信頼性の高いデータを得るために必要な試験面の表面粗さについて、押し込み深さとの関係より考察し、測定条件を決定した。試料としては、結晶成長が支配的な CVD によってセラミックス膜を作製し、その膜を複数回、ナノインデンテーション試験した。

膜の表面粗さは、先端曲率半径 $2\text{ }\mu\text{m}$ のダイヤモンドスタイラスを用いた表面粗さ計にて測定した。その結果を図 1 に示す。膜の平算術平均粗さ Ra と最大粗さ Rz は、それぞれ、23 と 205 nm、膜の厚みは $4\text{ }\mu\text{m}$ であった。

図 2 に測定した粗れた表面の荷重変位曲線と HM の深さ依存性を示す。各測定値の平均は○印にて記述してある。(a)に示す荷重変位曲線は、それぞれ余りばらつかなかった。一方、それらの値から求められる(b)の HM は、深さが Rz より浅い領域で、たまに大きくはずれる測定値があるが、それを除けば Ra の 2~3 倍以下の深さの領域でばらつく傾向があった。このことは、膜本来の HM を測定するためには、当然 Rz 以上の深さが必要であるが、 Ra の 3 倍以上の平均値で代用することが可能であることが分かった。この条件で測定を行うことで精度の高い測定ができることを確認した。

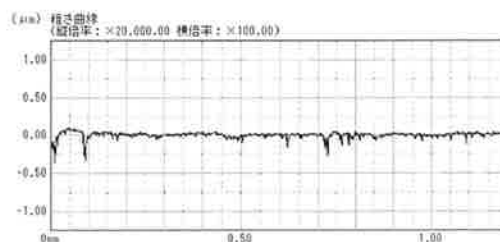


図 1 膜表面の粗さプロファイル

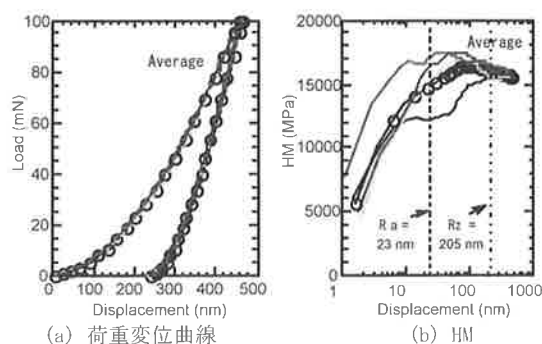


図 2 粗れた表面を持つ膜の荷重変位曲線と HM の深さ依存性

ナノインデンテーション法から求められる代表的な機械的特性の値を次に示す。

(a) マルテンズ硬さ HM

マルテンズ硬さは「試験荷重が負荷された状態で測定される硬さ」と定義され、この値には塑性変形と弾性変形の成分を含んでいる。

(b) 押し込み硬さ H_{IT}

押し込み硬さは、「半永久的な変形あるいは損傷に対する抵抗を測定したもの」と定義され、 H_{IT} は塑性変形成分のみの値で、ビッカース硬さと相関が取れている。

(c) 押し込み弾性率 E_{IT}

押し込み弾性率は「 H_{IT} の計算に用いた接線の傾き」($\Delta F/\Delta h$)と定義されており、この値はバルクと薄膜で異なる場合が多く、MEMS や応力・ひずみによる特性変化を受けるデバイスの影響を調べる上で重要な値である。

その他、押し込みクリープ、押し込み総仕事量、弾性回復の仕事量などの値も求めることができる。

これらのパラメータや荷重変位曲線により、作製されたセラミックス膜の機械的特性を検討した。その結果、従来多用されているビッカースやモース硬さ試験では困難であった製造条件の違いに因る特性差を再現性よく評価できることが分かった。