

技術論文

2サイクル船外機における複合分散メッキピストンリングの開発

DEVELOPMENT OF PISTON RINGS TREATED WITH COMPOSITE ELECTROPLATING OF NICKEL-BASED FILM 2-CYCLE OUTBOARD MOTORS

寒川 雅史*

Masafumi Sougawa

奥村 滋雄**

Shigeo Okumura

要 旨

2サイクル内燃機関は、シンプル軽量コンパクトな特徴から現在の船外機の主流であり当社でも一部の小型モデルに4サイクルが存在するのみでほとんどの小型から大型モデルにて2サイクル内燃機関を採用している。

排気量の大きい高速大型2サイクル内燃機関では、ピストン系の焼きつきに関して技術的難易度の高い箇所でもあり、特に、商品競争力を向上する為に高出力化や低燃費化を進めるとピストン系の熱負荷も高くなり、ますますピストンやピストンリングに影響を及ぼす。

本論文では、ピストン焼きつきにも影響するピストンリングのスカッフ性を向上する為に、ピストンリングの表面に耐スカッフ性、耐摩耗性に優れたニッケル基の複合分散メッキを施しピストンリングのスカッフ発生までの寿命を倍增した。

又、シリンダーポートの存在する2サイクル内燃機関として、メッキ剥離に対処する為にニッケル基複合分散メッキの膜厚の最適値を実験と実機運転にて求めメッキ膜厚さを設定している。

以下、2サイクル内燃機関としてピストンリングに世界で初めて採用した本表面処理の技術的特徴と効果を発表する。

Abstract

Two-stroke cycle internal combustion engines (2-cycle engines) dominate current outboard motor market because of their advantages in compact size, light weight and simple construction. The Yamaha outboard lineup is made up mostly of 2-stroke models except for a few small models using 4-cycle engines. High speed large size 2-cycle engines, with large displacements present particularly difficult technical problems in preventing piston seizure. Increasing demand for higher output power and improved fuel economy results in additional thermal loads on the piston and piston rings. Scuffing on the piston rings is closely related to piston seizure. Composite electroplating of nickel-based film on the piston ring surface improves its scuff resistance, enabling it to withstand higher frictional forces. The period of time in use of the piston before the occurrence of scuffing was doubled by such plating. The plating thickness was optimized through rig tests (on a test-bed) and actual engine tests to deal with possible peeling of the nickel-based plating applied to the 2-cycle engines with cylinders having ports. This paper outlines the technical features and effects of nickel-based plating applied to the piston rings of 2-cycle engines for the first time in the world.

* 三信工業(株) 技術部

** 三信工業(株) 技術部

1. はじめに

ピストンリングのスカッフのメカニズムは、シリンダー壁との間の油膜切れにて発生するがこれを説明するにはあまりにも多くの要因を考える必要があり、ピストンリングを取り巻く環境（材質、形状、潤滑、温度等）によりスカッフ原因となる要因の寄与度が異なってくる。→スカッフメカニズム 図1

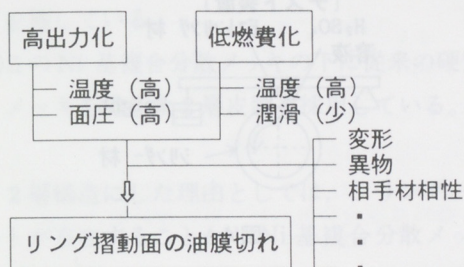


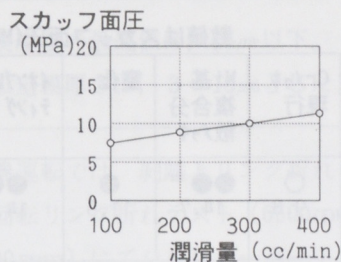
図1 リングスカッフメカニズム概念図

2 サイクル内燃機関を商品化する立場としてはメカニズムの徹底追求も重要であるが、その時代に即した新技術を導入してより良い商品にまとめあげていく必要があり、ピストンリングの耐スカッフに関する改良技術もノジュラー材から、低潤滑状態でもスカッフの起きにくい硬質クロームメッキに変遷してきている。

最近の船外機は各社商品力を強化してきており、動力性能で言えば高出力、低燃費を実現すべく向上している。

この動きの中で、ピストンリングはますますリングスカッフに悩まされその解決手段が必要になってきており、高出力、低燃費からピストンリング温度も上昇し、シリンダー壁との油膜形成が不利な状態で油膜切れにてスカッフが発生していると思われる。

つまり、図2に示す基礎テストにおいて高温下にて低潤滑状態になるほど硬質クロームメッキは耐スカッフ性が不十分になると考えている。



テスト装置: リケン式摩耗試験機
潤滑油: SAE #30 摺動速度: 8m/s
潤滑油温度: 80 °C

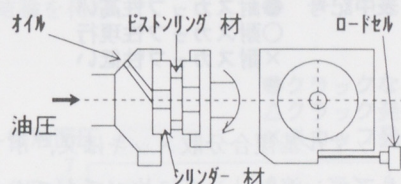


図2 クロームメッキ スカッフテスト

高硬度のクロームメッキではあるが、この状態では限界にきているようで我々は次のクロームメッキに変わる表面処理をトライしてきていた。

次に述べる、表1の各種の表面処理ないしはピストンリング材料とシリンダー材料との組合せのなかで現行の硬質クロームメッキを越える物を考えると、「Ni-SiCメッキシリンダーとイオンプレーティング(スチールリング)」が最も台上試験機でのスカッフ値が高くすぐれているがスリーブの抜き替えができない。つまりシリンダーの再利用ができない欠点をもっている。

又、次にスカッフ値の高い「鋳鉄スリーブとイオンプレーティング(スチールリング)」では、メッキの膜厚さが厚いこともありシリンダーにポートが存在する2サイクルでは実機運転テストにてメッキ剥離が発生し断念した。

我々は、最後に残ったニッケル基複合分散メッキを鋳鉄スリーブと組み合わせて使う事とし各種の基礎テストに入った。

(以後ニッケルはNi, クロームはCrとも記す)。

表1

数値はスカッフ面圧(MPa)

| リング シリンダー | Crメッキ 現行 | Ni基 複合分 散メッキ | 窒化 | イオンプ レー ティング |
|------------------------|-------------|--------------------|-----------|--------------------|
| 鋳鉄 スリーブ 圧入 | ○ 9.8 | ●● 14.7 | ● 11.8 | ●● 14.7 |
| Ni-SiC メッキ シリンダー | × 7.85 | — | ○ 9.8 | ●●● 19.6 |

表中記号 ●耐スカッフ性高い
○耐スカッフ性現行
×耐スカッフ性低い

このニッケル基複合分散メッキは又、ポプ
ーなモリブデン溶射リングに比べてもスカッフ値
も優れ、且つ酸腐蝕には遥に強いものであり特に
硫黄成分の多いガソリンの有る開発途上国で使わ
れても最適な特性を持っている。以下、図3には
各種のリング表面処理についての基礎テスト結果
によるスカッフ値を示す。

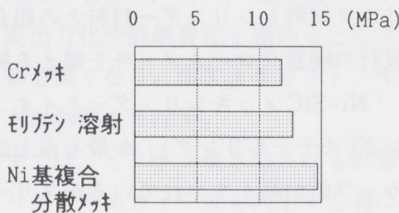
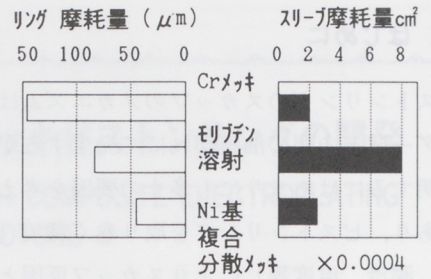


図3 各種表面処理のスカッフ面圧

図3 テスト条件
テスト装置: リケン式摩耗試験機
潤滑油: SAE #30 摺動速度: 8m/s
潤滑油温度: 80 °C 潤滑量: 400cc/min

又、図4にはリングとスリーブ材の腐蝕摩耗の
基礎テスト結果を示す。



テスト装置: 科研式腐蝕摩耗試験機
荷重条件: 4Kgf×6.0Hrs
摺動速度: 0.25m/sec
腐蝕液: H₂SO₄ PH 2.0 0.1ml/sec

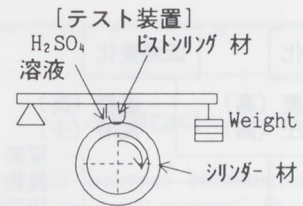


図4

又、図5に示すように高出力、低燃費時の高温
下でも(低潤滑状態)ニッケル基複合分散メッキ
はスカッフ値が低下しにくく、スカッフ値の低下
する硬質Crメッキと比べても有利である。

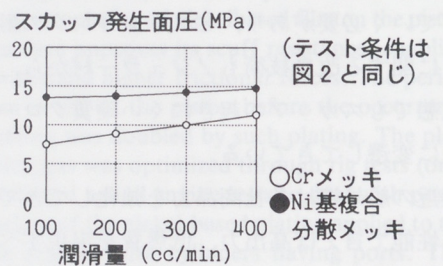
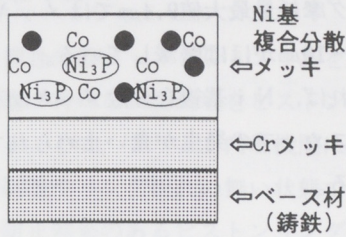


図5 CrメッキとNi基複合分散メッキのスカッフ値

2. ニッケル基複合分散メッキ

ここに述べているニッケル基複合分散メッキは、
Ni-Co-P/Si₃N₄、〔株リケン提供〕の組成よりなり、
その皮膜の構成図は、表2にてあらわす。

表2 皮膜構成図



本皮膜構成の特徴を、以下に示す。

- (1)ピストンリング摺動面に Ni 基複合分散メッキを施している。
- (2)この Ni 基複合分散メッキの下に従来の硬質 Cr メッキを施した 2 層皮膜を採用している。

2 層構造にした理由としては、シリンダーにポートが存在することから Ni 基複合分散メッキの膜厚さが厚いとメッキ剥離やリング折れが発生し易いことから薄くする必要があると考え、かつ Ni 基複合分散メッキが磨滅しても従来の硬質 Cr メッキでリングスカッフの発生を抑える狙いである。同時に、Ni 基複合分散メッキの膜厚さを図 6 に述べる様に変えて基礎テストを実施し最適値を求めた上で表 3 の膜厚さに設定している。

表3 皮膜成分と膜厚さ

| Co WT% | P WT% | Ni | 分散量Area |
|-------------------|---------------------|------------------|---------|
| 13～35% | 4 ～6.5% | 残り | 10～30% |
| 平均粒径 | Ni基複合分散メッキ厚さ | Crメッキ厚さ | |
| 0.8 μm | 3 ～10 μm | 50 μm | |

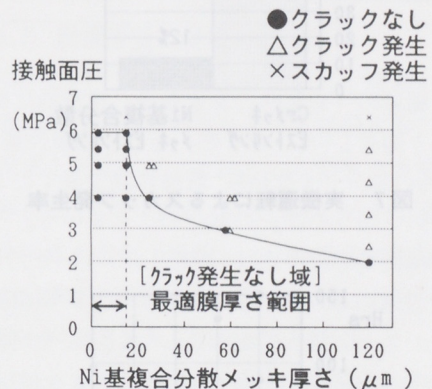
Ni 基複合分散メッキの膜厚さの設定は、基礎テストの結果図 6 に示す様に膜厚さを増す程剥離しやすくなり、15 μm 以下では剥離もなく実機運転に供する価値を確認できた。

以上の基礎テストにて、実機運転仕様を決定した。

膜厚さの最適値は、15 μm 以下。

設定膜厚さは、3～10 μm とした。

実機運転では、剥離とリング折れを評価する為に高回転リング折れテスト (6500rpm [常用4500～6000rpm] にてシリンダーポートを拡大した仕様で運転する方法) を実施し、膜厚さと剥離、折れの相関が図 6 に示した基礎テストと同じ結果である結論を得た。



テスト装置：リケン式摩耗試験機
 摺動速度：15m/sec

図6 最適膜厚さ範囲

3. 実機での効果

実機運転は当社の 2 サイクル船外機を使用し、ピストンリング温度を上げてスカッフを促進するテストを実施した。

この結果、従来の Cr メッキリングに対して Ni 基複合分散メッキリングのリングスカッフ発生時間は約 2 倍に向上した。

図 7 は、その促進運転結果の全運転数におけるリングスカッフ発生率を Cr メッキリングと Ni 基複合分散メッキリングにて比べたもので、Ni 基複合分散メッキのスカッフ発生頻度は12%で従来のCr メッキの42%よりも遥に低減している。

又、図8は運転数（度数）を横軸にスカッフ発生までの発生時間を縦軸に表したもので促進運転によればスカッフ発生までの平均時間も従来のCrメッキの59Hから105Hへと約2倍に向上している。

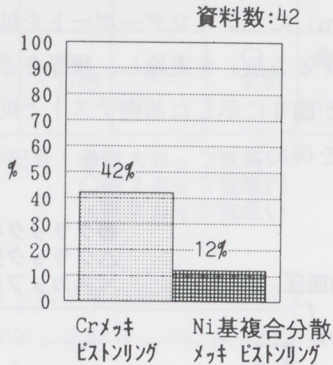


図7 実機運転によるスカッフ発生率

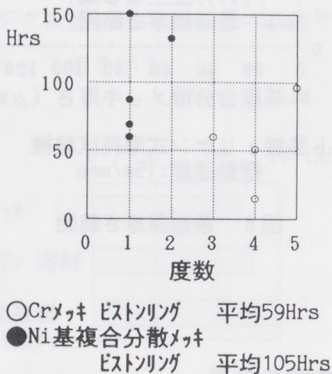


図8 実機運転によるスカッフ発生時間

リング摩耗量としては、前記実機運転テストの結果図9のグラフに示すとおり Ni基複合分散メッキを施したリングは(平均摩耗量 $5\mu\text{m}$)、従来のCrメッキを施したリング(平均摩耗量 $11\mu\text{m}$)に比べて約 $\frac{1}{2}$ に低減している。

ここで、運転後にリングスカッフしている Ni基複合分散メッキ皮膜の状態を顕微鏡観察すると Ni基複合分散メッキが磨減していることがわかった。

これは、図9によるリング摩耗量からも言えるが、リング摩耗量最大値 $9.4\mu\text{m}$ ではメッキ設定膜厚さの $3\sim 10\mu\text{m}$ がほぼ磨減している。

換言すれば、Ni基複合分散メッキが存在する状態ではスカッフの発生が食い止められていると考えている。

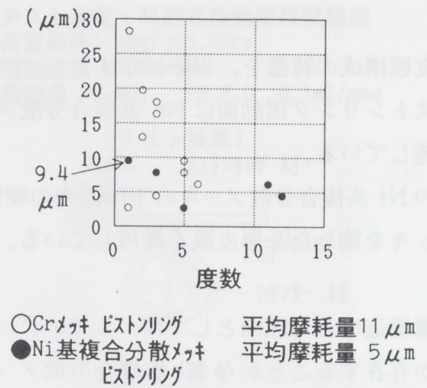


図9 実機運転によるTopリング摩耗量 ($\mu\text{m}/100\text{Hrs}$)

以上、2サイクル船外機に組み込んだ実機運転テストではNi基複合分散メッキの効果により、特にリングスカッフが発生し易い運転初期にスカッフが完全に無くなったことが確認できた。

ここで、実機運転に使用したエンジンの諸元を表4に示す。

表4 テストエンジンスペック

| 諸 | 元 | |
|----------|---------|---------|
| エンジンタイプ | 2cycle | 2cycle |
| 排気量 | 2596cc | 3130cc |
| ボア×ストローク | 90×68mm | 90×82mm |
| 気筒数 | V 6 | V 6 |
| 冷却方式 | 直接水冷却 | |
| 出力 | 200HP | 250HP |

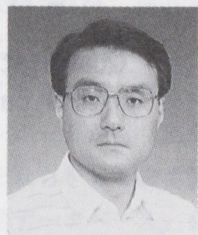
4. おわりに

- (1) Ni 基複合分散メッキと Cr メッキを組み合わせた 2 層の特殊な表面処理をピストンリングに皮膜することで、2 サイクル内燃機関に使用してもメッキ剥離やリング折れの無い状態でリングスカップ防止効果のあるピストンリングを開発した。
- (2) その Ni 基複合分散メッキは、従来の Cr メッキに比べて摩耗量は半減し、皮膜が存在する状態でのリングスカップの発生はない。
- (3) 2 サイクル船外機に組み込んだ実機運転テストでは Ni 基複合分散メッキの効果により、特にリングスカップが発生し易い運転初期にスカップが完全に無くなった。

■ 著 者 ■



寒 川 雅 史



奥 村 滋 雄