

3次元クロスハッチによる自動車エンジン用シリンダライナのフリクション低減

The reduction of engine cylinder friction by 3D cross-hatched lines

TPR (正) *田牧 清治 (非) 清水 涼矢 TPR 工業 (非) 大泉 貴志

Seiji Tamaki*, Ryoya Shimizu*, Takashi Oizumi**

*TPR CO., LTD, **TPR INDUSTRY CO., LTD

1. はじめに

自動車用ディーゼルエンジンにおいて、シリンダライナ(以降ライナ)の内周面を異なる粗さの3面性状構造(triple-faced)とすることでオイル消費を増加させることなくフリクション低減できることを報告した。¹⁾

ただし、それ以上のフリクション低減(目標とする従来比20%以上の低減)には行程中央部の粗さRvkの最適化¹⁾だけでは限界があった。

(Rvkが1を境に、小さくても大きくてもFMEPが増加するため)そこで行程中央部は粗さに頼らないホーニング加工機のみで作製した3次元クロスハッチ構造(Fig.1)へと改良することで油膜のせん断抵抗の更なる減少を試みた。3次元クロスハッチは通常のカロスハッチよりも溝が深く、数 μm の一般的なテクスチャーと称されるものよりは浅い溝のカロスハッチ構造となっており、これにより行程中央部における油膜のせん断抵抗を低減してFMEPを低減するものである。その表面性状を表す指標には、この加工方法によって得られるライナ内周の面性状の特徴を最も表現することが出来、かつ接触式の粗さ測定器から容易に算出が可能なモチーフ(断面曲線の凹凸の主要素)パラメーター²⁾(JIS B 0631)を用いた。

モチーフパラメーター内にはいくつか指標があるが、特にうねりモチーフ深さW(包絡うねり曲線のうねりモチーフ深さの算術平均値)に着目して開発を進めてきた。ライナのWの代表例を2つFig.2に示す。

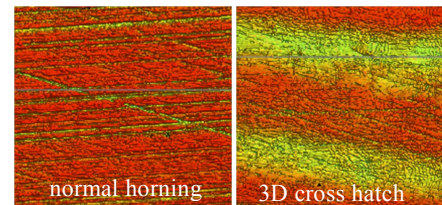


Fig.1 comparison against normal honing (white light interferometry)

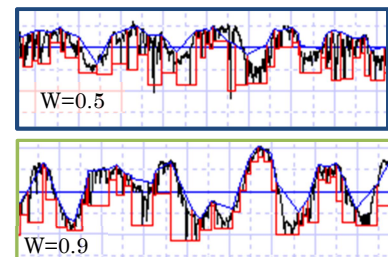


Fig.2 typical W of mean depth of waviness motifs

2. 評価方法

フリクション測定は浮動ライナを用いてヘッド大気解放のモータリングにて評価¹⁾を行った。評価条件並びに供試リングをTable.1に示す¹⁾。

行程中央部の3次元クロスハッチ部の設置範囲はFMEPに最も影響を与えるクランク角度 50° から 140° におけるオイルリング位置とした。¹⁾ライナの上部、即ちライナの下地の粗さはオイル消費対策³⁾としてRvkを0.4程度とした。

比較対象とするライナは内周全長のRvkを0.3程度の量産相当品とし¹⁾、以降説明文章及び各図中ではSTDと表記する。

オイル消費試験に関しては実機エンジンを用いて行った。供試した3次元クロスハッチの仕様は以下で述べる事前に検証予測した2諸元(Fig.2)のWとした。事前検証は実機オイル消費結果と一定の相関が得られている上記フリクション試験機におけるライナに残留した拭き取り油量の重量(Fig.6)を参考とした。

Table.1 friction test condition

| | |
|------------------------------|-------|
| OIL:10W-30 (@ 80°C) | |
| Boa×Stroke:83×86mm | |
| speed:600~2000r/min Motoring | |
| TOP | Ft=6N |
| 2ND | Ft=5N |
| 2piece oil ring | |
| Ft=14N | |
| land width 0.1 | |

3. 評価結果

3.1 フリクション評価結果

Figure 3に評価結果のFMEPを、Fig. 4に摩擦力波形を示す。FMEPの縦軸はSTDを1とした比率で示し、横軸はFMEPとの相関が最も高い前述のうねりモチーフ深さWとした。この結果からWが大きいほどFMEPが低減することが分った。これはFig.4の摩擦力波形が示すとおりWが大きくなると行程中部のフリクションが低減するためである。その理由として、Wが大きくなるほどピストン及びピストンリングとライナの下地との接触面積が減少することで流体潤滑下における油膜のせん断抵抗が

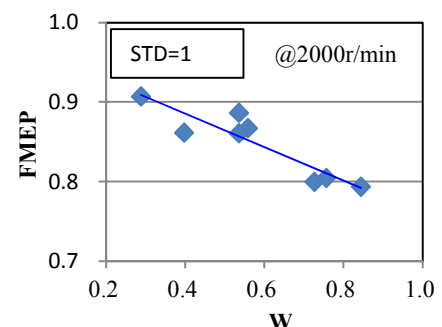


Fig.3 effect to FMEP in W

低減するためと考えられる。(行程中央部のフリクションは油膜の引きずりによるせん断抵抗が主要因となるため)

また 3 次元クロスハッチライナでは包絡うねり曲線におけるモチーフパラメーター Rv_{ke} にも他のホーニング加工では見られない特徴を有していた。 Rv_{ke} は包絡うねり曲線における言わば Rv_k であり、通常のホーニングでは Rv_k の増加により Rv_{ke} もほぼ同じ数値で増加する。これに対し 3 次元クロスハッチでは Rv_k を維持したまま Rv_{ke} を 0.2 以下にすることができる。このことで同レベルの Rv_k を有した通常ホーニングに対して油圧発生に対して有利に働くこともフリクション低減に寄与していたと考える。

(深すぎる溝は油圧発生を阻害する)

一方で死点付近のフリクションでは下地の粗さ Rv_k が比較的小さい 0.4 であるためにこの領域でのフリクションの増加は確認されていない。3 次元クロスハッチにおいて目標とする FMEP 低減には $W=0.5$ が必須であり、 $W=0.9$ であれば低減の最大目標を達成できることが分った。(Fig. 5)

3.2 残留拭き取り油量評価とオイル消費評価結果

フリクション試験器のシリンダに残留した油量をふき取った結果を Fig. 6 に示す。横軸はうねりモチーフ深さ W として FMEP (Fig.3) の結果と合わせて示した。 W の増加で FMEP が低減したのに対し残留油量は増加傾向を示した。これはレプリカ計測した 3 次元の粗さ指標である V_{vv} や V_{vc} (ISO 25178)といった油溜りを示す指標が W の増加により増加したためでもある。これと同時に行程中央部でのフリクション低減メカニズムを裏づけるものでもある。行程中央部に残留する油量が増加しても、上部の粗さ Rv_k を比較的小さな水準 (0.4) に設定することで、上部においても適正な摺動部油膜厚さを保つことができ、オイル消費を要求とされる性能内に抑えることができた。(Fig.7)

4. まとめ

行程中央部にのみにホーニングによって 3 次元クロスハッチを設置した。油膜のせん断抵抗を減少させるその表面性状を表す指標にはモチーフパラメーターが最適であることが分った。その指標の一つであるうねりモチーフ深さ W を 0.9 とすることで中央部フリクションを低減し FMEP を従来比 21% 低減した。また上部の粗さを小さくすることでオイル消費性能も満足させた。

今後はシミュレーションによって更に詳細なメカニズムの検証を行っていくと共に量産化の準備も合わせて行っていく。

文献

- 1) 田牧,大泉: シリンダ内周粗さ 3 面性状化によるフリクション低減 トライボロジー会議 2020 秋予稿集
- 2) 日本規格協会 JIS ハンドブック 59 製図
- 3) 養賢堂 自動車のトライボロジー
- 4) 吉田一朗: 精密工学会誌 Vol79, No4, 2013

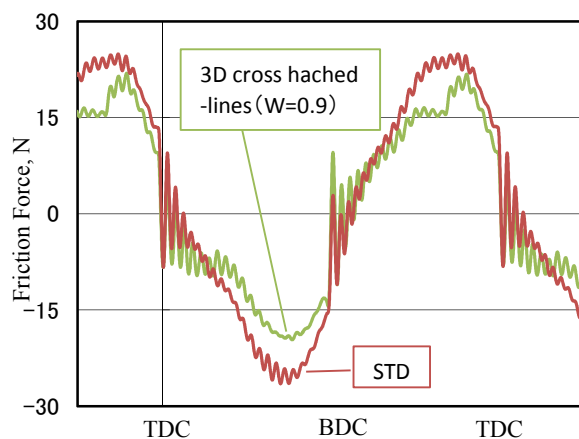


Fig.4 reduction of friction in waves by $W=0.9$ (@1500 r/min)

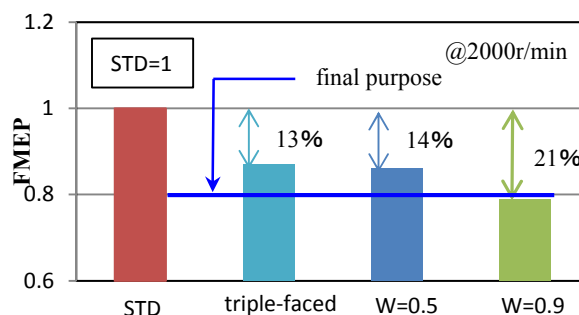


Fig.5 reduction of FMEP in 3D cross-hatched lines cylinders

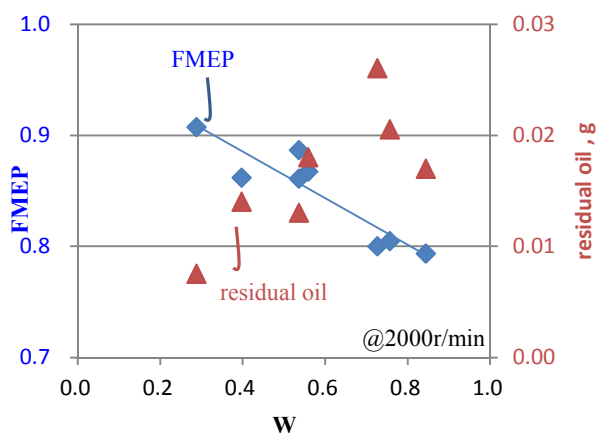


Fig.6 correlation between FMEP and residual oil on the cylinder wall

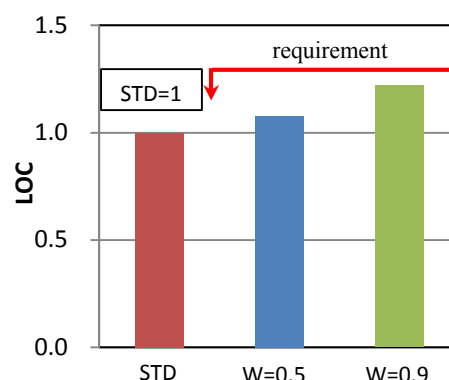


Fig.7 result of LOC in Engine