

軟質金属成膜による機械式テンショナの信頼性評価

Reliability improvement of mechanical tensioner using soft metal coating

名城大・理工（院）*飯野 智 名城大・理工（正）宇佐美 初彦 大同工業(株), 名城大・理工（正）関 秀明

Satoshi Iino*, Hatsuhiro Usami*, Seki Hideaki **

*Meijo University, **Daido Kogyo, Co., Ltd.

1. はじめに

自動車用エンジンのカムシャフトとクランクシャフトはタイミングチェーンで連結され、両者の位相を正確に同期させる役割を担う。自動車エンジンの運転環境は、起動時のような境界潤滑から定常走行時の流体潤滑に至る多岐に渡り、加速時や減速時ではチェーンに作用する荷重も大きく変動する。このように変動する運転環境でも正確な位相同期を実現するためにチェーンの振動を抑制すべくテンショナが設置されている。従来は油圧を応用したテンショナ（以下、油圧テンショナ）が適用されてきたが、近年のハイブリッド化に伴うエンジンの頻繁な起動停止により、油温変化に伴う粘性変化によりテンショナの特性変化の影響が顕在しつつある。

油温変化の影響を受けにくいテンショナとして、摩擦力を応用したテンショナ（以下、機械式テンショナ）が開発された。この、機械式テンショナの弦巻ばね間の摩擦力をチェーンの振動減衰に応用する構造であり、油圧テンショナに比して部品点数も少なく、システムの小型化や軽量化にも寄与する。この機械式テンショナの弦巻ばね間には潤滑油供給源は設置されず、油剤が枯渇し易い環境で長期間に渡り安定した摩擦減衰能の発現が要求される。したがって、弦巻ばね表面には高い耐摩耗性と安定した摩擦力の維持が求められる。既報において、弦巻ばね接触面に凸構造のテクスチャ（以下、凸テクスチャ）を付与することで、摩耗粉の排出が促進され、その噛み込みに起因する表面損傷が抑制されることで減衰特性の大幅な安定化を確認した¹⁾。

機械式テンショナの振動減衰を担う弦巻ばねの接触面は調質された共析炭素鋼で構成され、油剤が十分に供給されない条件で往復運動する。このため、フレットングに類似した損傷挙動を呈する。フレットングにおけるテクスチャリングの摩耗粉排出効果の促進が摩擦の安定化や摩耗抑制に有効であることが報告されている²⁾。機械式テンショナの摩擦面いわゆる共材で構成され、初期の摩擦面の硬さの差異は小さいものの加工硬化の進展により差異を生ずる。一方、テクスチャリングには種々の加工法が適用されるが、手法に対応した加工変質層が形成され表面の硬さに影響する。このため、加工手法の選定によって、機械式テンショナのさらなる性能向上は多に期待できる。

本稿では、テンショナ摺動面を構成する板ばねにボールエンドミルを用いた微細切削による凸型テクスチャと軟質金属である亜鉛メッキを施した際のテンショナの減衰特性を、微細切削による凸型テクスチャのみの板ばねと比較を通してテクスチャリングと亜鉛メッキの複合効果および摩擦低減効果を検討した結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 テクスチャ創成手法

供試材は板厚 0.5 mm×幅 10 mm×長さ 400 mm の板ばね（材種 SK85、硬さ 420 HV、板幅方向表面粗さ 0.12 μm Ra）であり、その一表面（幅 10mm 面）に配列した突起群から構成されるテクスチャを自動彫刻機による微細切削で付与した。凸型テクスチャ形状は、面積率 65% で直径 1.0 mm、高さ 20 μm 程の円形突起が千鳥配置で構成されている。また、追加工として微細切削後の凸構造創成面に軟質金属である亜鉛を 2 μm メッキした。Figure 1 は、テクスチャ創成後の光学顕微鏡像と断面プロファイルを示しており、Table 1 および Table 2 は、微小硬さ測定と残留応力測定結果を示している。

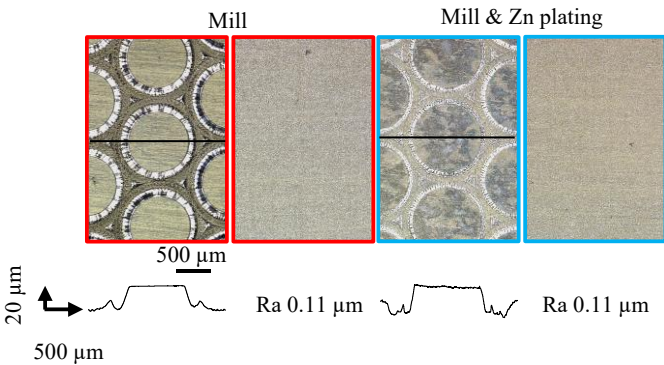


Fig. 1 Schematic of testing samples

Table 1 micro hardness measurement results

[HV]	Mill	Mill and Zinc plating
Convex	442	SK85 : 410 Zinc : 85
Edge	582	442
Counter	468	421

Table 2 Residual stress measurement results

[MPa]	Mill	Mill and Zinc plating
Convex	-73.2	-40.8
Edge	-202	-186
Counter	+11.7	+4.27

2.2 テンショナ耐久試験機を用いた摩擦試験

機械式テンショナの特性は、専用の評価装置で評価した。Figure 2 に試験装置の模式図を示す。カムを用いて加振ロッドを水平に往復運動させる機構である。板ばねは、厚さ 2 mm のバックアップスプリング上に巻き付けられ、加振ロッドによるプランジャの押込み動作時に最大荷重 300 N になる位置に、専用の治具で固定した。

試験開始前に、板ばねは粘度指数 0W-8、動粘度 45 cSt@25°C の自動車エンジンオイルに 10 分間浸漬し、その後吊るして余分な油を取り除いてから設置した。

試験中のプランジャの反力は、加振ロッドとプランジャの間に設置したひずみゲージ内蔵のロードセルを用いて測定し、加振方向の位相変化は、ロードセル後方に設置したターゲット板部を測定点とし、渦電流式変位センサ（ギャップセンサ）を用いて連続的に記録した。試験条件は振幅 1.0 mm、周波数 100 Hz の強制加振である。なお、試験中は無給油である。

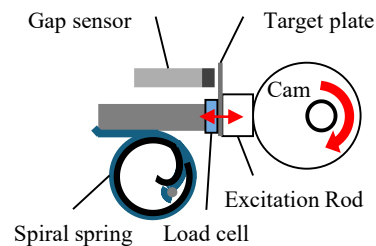


Fig. 2 Schematic of testing apparatus

3. 実験結果

切削加工品と切削および亜鉛メッキ品による反力特性が Fig. 3 である。切削加工品は、試験開始後に縮径時反力が 230 N 程度に低下し、加振数 6×10^5 回まで変動がなく安定した反力特性を示したが、以降は加振数増加と共に反力が増加した。試験開始後の反力低下は接触面のなじみに起因すると考えられる。一方、切削および亜鉛メッキ品は、同様に縮径時反力が 250 N 程度に低下後、加振数 2×10^5 回で 300 N 程度に増加した。その後は、再度 250 N 程度に低下し、試験終了まで変動はなく安定した特性を示した。

試験後の摺動面の光学顕微鏡像を Fig. 4 に示す。どちらの板ばねも摩耗が激しくテクスチャ面と対向面に条痕が確認された。切削加工品では両面とも酸化層と金属光沢が混在しているのに比して、切削および亜鉛メッキ品ではテクスチャが摩耗しているものの両面とも大幅な酸化層の抑制が確認された。以上より、テクスチャ面に軟質金属亜鉛をメッキすることで酸化抑制と反力特性の安定化を確認した。

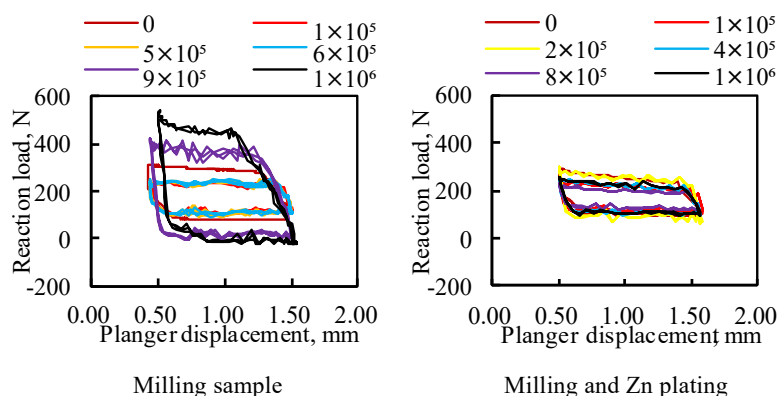


Fig. 3 Reaction load-displacement curves

試験後の摩耗粉を SUMP 法で採集し、微小硬さ試験を行った。Figure 5 は摺動面から転写された摩耗粉の光学顕微鏡像である。切削加工品の摩耗粉は非テクスチャ面の条痕に圧入されており、その硬さは 560 HV 程度であった。一方、切削および亜鉛メッキ品の摩耗粉はテクスチャ面溝部に介在しており、金属光沢のある A1 は 158 HV、黒色部の A2 では 440 HV であったことから、軟質金属亜鉛の成膜によって摩耗粉硬質化を抑制したことが示唆された。これにより、凸面の損傷は起きつつも、摩耗粉の噛み込みが抑制され、反力特性の安定化に起因したと推定される。

4. まとめ

本研究では、機械式テンショナの信頼性向上を目的とし、板ばね材の一面に切削加工による凸構造を創成し、軟質金属亜鉛を成膜した際の摩耗特性を評価した。摺動面に亜鉛が介在することで摩耗粉硬質化、噛み込みが抑制され、凝着摩耗の進行抑制の可能性が示唆された。

文献

- 1) 山口・関・大坂・宇佐美, 自動車エンジン用チェーンテンショナへの凸型テクスチャ適用可能性, 日本機械学会 第 21 回機素潤滑設計部門講演会 予稿集, (2022), 2B12.
- 2) 飯野・宇佐美・関, 凸構造テクスチャが付与されたゼンマイばねテンショナの減衰特性に及ぼす加工履歴の影響, トライボロジー会議 2024 秋 名 護 予稿, B46(2024).

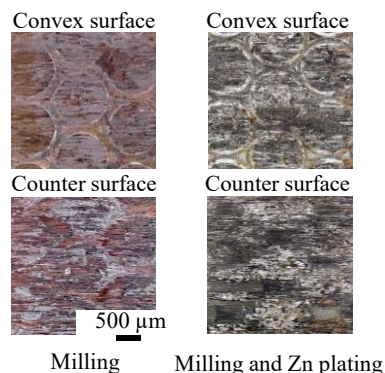


Fig. 4 Optical microscope image of worn

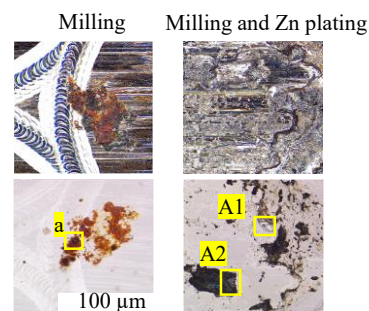


Fig. 5 Optical microscope image of debris