

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

Effects of manufacturing process on damping performance of coiled spring tensioner

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

ゼンマイばねを用いた振動減衰機構を活用した自動車エンジンタイミングチェーンテンショナ（機械式テンショナ）は、従来の油圧機構のテンショナに比して構造が簡単で部品点数も少ないことが特徴である。加えて、温度変化による作動油の粘性変化の影響を受けにくいことから、エンジンの頻繁な始動・停止や大きな温度変化が伴うハイブリッド用エンジン用デバイスとして有効である。

機械式テンショナの性能はゼンマイばね間の摩擦力に依存し、この摩擦力は比較的短い工程を十分な潤滑油が供給されない環境で駆動されることがある。さらに、長手方向の接触応力は、接触位置のみならず運転環境によって大きく変化するが、ばね間の摩擦力は広範囲な摺動条件で長期間に渡り安定することが求められる。

既報¹⁾において、機械式テンショナ表面に凹部が開いた形状のテクスチャ（以降、凸型テクスチャと称する）を付与することで、溝部から摩耗粉が排出され、その摺動面上での凝集・凝着を抑制することで、摩擦力の変動と摩耗の大幅な抑制が確認された。凸形状により発現する摩耗粉排出効果は、機械式テンショナの性能向上に有効であり、特性改善と機能性向上が期待される。

ところで、機械式テンショナの実用化に際しては、テクスチャリングの選定が重要である。これまで、電解研磨やレーザーの適用可能性を検討したが、形状精度、加工変質層の残存等の課題が顕在化した。ボールエンドミルによる微細切削では、加工時間は増加するものの、上記の問題を解消できる可能性は高い。

本稿では、ボールエンドミルを用いた微細切削をテンショナ摺動面を構成する板バネに適用し、凸型テクスチャを付与した際のテンショナの減衰特性を電解研磨で作製したテクスチャとの比較を通して、テクスチャリングとしての微細切削の適用可能性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 の板バネ SK85-CSP 材（硬さ 420 HV、板幅方向表面粗さ 0.12 μm Ra）である。この供試材の一面に、電解研磨および自動彫刻機を用いた切削加工により凸型のテクスチャを付与した。その形状は、電解研磨および切削加工ともに面積率 65% で直径 1.0 mm、高さ 20 μm の円形突起を千鳥配置したものである。Figure 1 は、テクスチャリング後の光学顕微鏡像と断面プロファイルを示しており、その形状は、電解研磨に比べて機械加工の方が形状精度は高く、均一な円形状が形成された。また、Table 1 および Table 2 は、テクスチャリング前後の微小硬さ測定と残留応力測定の結果を示しており、電解研磨では非テクスチャ面の硬度が上昇し、切削加工ではテクスチャの円形突起端部の硬度および残留応力の上昇が確認された。

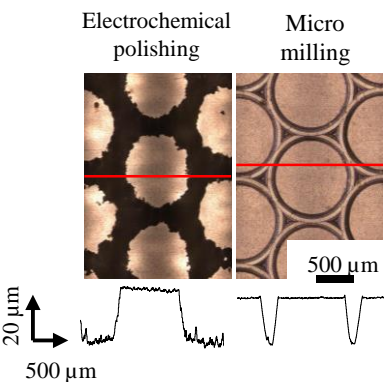


Fig. 1 Micro scope image and surface profile of spring surface

Table 1 Dynamic hardness measurement results

[HV]	Before processing	Electrochemical polishing	Micro milling
Convex surface	434	478	442
Edge surface		426	559
Counter surface	476	509	428

Table 2 Residual stress measurement results

[MPa]	Before processing	Electrochemical polishing	Micro milling
Convex surface	-39.2	-102	-73.2
Groove surface		-48.1	-135
Edge surface		-53.4	-202
Counter surface	+5.52	+2.58	+11.7

2.2 実験方法

機械式テンショナ評価装置模式図が Fig. 2 である。カムによって加振ロッドを水平方向に加振させる機構であり、板厚 2 mm のバックアップスプリング上に巻き付けられた板ばねは、試験機に加振ロッドによるプランジャの押込み時の最大荷重が 300 N となる位置に治具を介して設置された。板ばねは設置前に自動車用エンジン油（粘度指数 0W-8、動粘度 45 cSt@25℃）に 10 分浸漬し、中釣りにして油を切った状態とした。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式のロードセルを用い、プランジャの加振方向の位相は、ロードセル後方に設けたターゲット板部を測定点として渦電流式変位センサ（ギャップセンサ）を用いて測定した。試験は、テンショナを加振ロッドでプランジャを振幅 0.5 mm、周波数 100 Hz で強制加振させた。なお、試験中には無給油である。

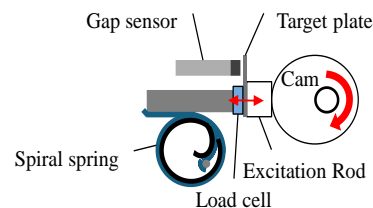


Fig. 2 Schematic of testing apparatus

3. 実験結果

電解研磨により凸構造を創成した板ばね(a)、切削加工の板ばね(b)を実験に供した際の反力特性を以下の Fig. 3 に示す。板ばね(a)は、拡張時反力（100 N 付近）は実験開始直後から増加し、縮径時反力は $n=4 \times 10^3$ 回までに 300 N 以下に減少する。しかし、 $n=1.5 \times 10^5$ 回以降、試験初期に比べて縮径時反力が 400 N まで増加し、反力特性は不安定な傾向が見られた。一方、板ばね(b)の反力特性は初期の設定荷重が低めの設定となっており最大反力は 260 N であったが、その後も変化は少なく試験終了時の $n=1 \times 10^6$ 回まで安定した。

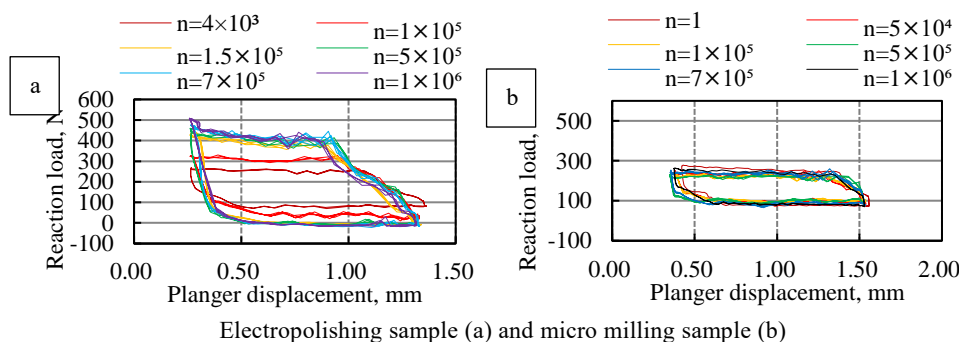


Fig. 3 Reaction load-displacement curves as a function of number of cycles

板バネ摩耗面の光学顕微鏡像が Fig. 4 である。板ばね(a)では、凸構造が摩滅しており、幅 50 μm 程度の条痕が見られた。非テクスチャ面も著しく損傷しており、赤さびの発生を確認した。板ばね(b)では、板ばね(a)と比して凸構造が残存したことから、摩耗粉が排出され、油膜が維持されたと考えられる。非テクスチャ面をみると、10 μm 程の条痕が多数見られるが、全体的に金属光沢を有していた。

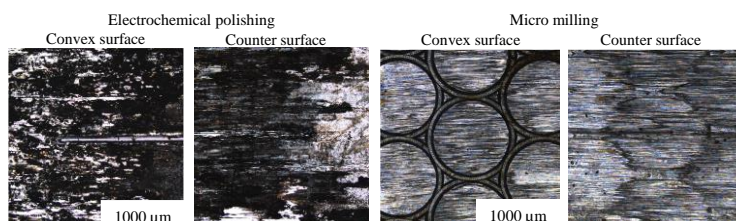


Fig. 4 Optical microscope image of worn surface

電解研磨に比べて凸構造の損傷が小さい要因として切削加工の凸構造におけるエッジの硬度は相手面より高く、そのエッジが凝集成長した摩耗粉を掻き落としたことが考えられる。また、電解研磨では、凸構造部よりも摺動の相手面となる非テクスチャ面の硬度は高く、凸面の摩耗が促進されたことや、更に凸形状端部が入り江状の形状になっている箇所があり、その形状に堆積した摩耗粉が摺動面上にあふれたことで摩耗が促進したことが摩滅の要因の一つと考えられる。さらに試験後の摩耗粉の硬度を測定したところ、板ばねの硬度よりも高くなる傾向が見られた。

4. まとめ

板ばね表面に微細な凸構造を創成し、摩擦摩耗特性を評価した結果、切削加工による板ばねは電解研磨に比べ安定した反力特性を示した。一方で、切削加工は凸形状端部で加工硬化や残留応力の増加が生じ、試験後の摩耗粉は試験前の板ばね表面に比べ硬化していることが新たに分かった。

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) H. Seki et al.: Applicability of Convex and Concave Shaped Surface Texturing to Improve Damping Performance of Mechanical Tensioner for Timing Chain of Internal Combustion Engine, Tribology online, 19(2024).