

補助事業番号 2017M-103

補助事業名 平成29年度機能回復可能なテスチャ表面の設計とその潤滑特性評価補助事業

補助事業者名 関東学院大学理工学部 宮永 宜典

1 研究の概要

近年、機械しゅう動面に対してテスチャを配置して、低摩擦化を目指す試みが多くなされている。一般的なレーザー加工やエッチング加工などは、母材に直接微細加工を施すため、

①広い面積への均質で大量の高精度加工が必要である。

②表面損傷が生じると機能が損なわれる。

といった課題が指摘されている。

そこで本研究では、無電解複合めっき法を応用して、

A) 母材自体にテスチャを付与し、テスチャ形状に沿っためっき皮膜を生成する方法。

B) 均質なめっき皮膜を生成後に、ブラスト加工によってテスチャを生成する方法。

について検討する。また、テスチャリング皮膜の機械的強度、潤滑特性について明らかにする。本手法はいずれも母材に積層して材料表面にテスチャを付与する試みであり、摩耗等の表面損傷もめっき層で生じるため、再度めっきすることで元の表面状態に修復できる。すなわち、テスチャ表面に修復機能を、比較的簡単に付与できる可能性がある。

2 研究の目的と背景

表面テスチャリングは、表面の微細な幾何形状を制御して所望の機能を発現させる材料表面改質技術の一種である。主に、表面の流体抵抗の低減やぬれ性の制御、光の反射・吸収特性を改善する目的で用いられてきた。最近では、生物などの表面微細構造を模擬しようとするバイオミメティクス技術も取り入れられている。長らく機械の摩擦面にも適用されてきたが、その効果を学術的に一般化するには至っていない。

機械のしゅう動面においては、テスチャ凹部で潤滑油を保持することで、流体潤滑状態を維持できる作動条件の拡大、油膜切れによる焼付き防止、摩耗粉やその他の異物を補足することで更なる摩擦面損傷の回避、などが期待されている。最近の研究によれば、エンジン軸受やメカニカルシールなどでこれらの有効性が示されつつある。また、自動車や印刷機における機械損失のうち6~7割が流体潤滑によるものと試算されており、流体潤滑下での摩擦低減が重要であると考えられる。そのため、テスチャ技術を用いた表面設計がますます重要である。

以下に具体的な目的について示す。

- ① 研究の概要に示した、A)B)の手法によるテスチャリング皮膜の成膜技術を開発する。
- ② 共析粒子の混合割合と表面テスチャリング皮膜の機械的強度の関係を明らかにする。
- ③ 各種表面テスチャリングの潤滑特性や摩擦摩耗特性を明らかにする。
- ④ 摩擦試験後の損傷面を修復し、テスチャリング機能の回復が可能であるかどうかを検討する。

3 研究内容

(1) 無電解複合めっき法によるテクスチャ皮膜の成膜技術開発

銅基盤上に SiC (シリコンカーバイド) 粒子を分散させたニッケルめっき皮膜を成膜するためのめっき液の調整, SiC 粒子の酸洗浄方法を確立した。また, 酸洗浄に用いる強酸溶液の種類を変えると, 成膜後の SiC 粒子の分散状態が異なり, 塊状の共析状態を持つ皮膜ができることを見出した。これにより, 潤滑面上の SiC 粒子の分散状態をコントロールできる可能性を示すことができた。具体的な応用として, SiC がリッチな表面を意図的に作る出し, 耐環境性に優れた水潤滑下での使用が期待できる。

(2) 共析粒子の種類や含有量と機械的強度との関係の明確化

得られた Ni-P-SiC めっき皮膜の機械的強度をマイクロビッカース試験により評価した。焼き入れを行うことで摩擦面に十分適用できる機械的強度を有することが確認できた。また, 同時に摩耗試験の結果からも, DLC (ダイヤモンドライクカーボン) に近いレベルの耐摩耗性を有することがわかった。DLC は現在最も有望な低摩擦・耐摩耗コーティングであるが, これの代替として, Ni-P-SiC めっき皮膜が非常に安価に利用できることを示すことができた。

(3) 各種テクスチャ表面の摩擦試験や流体解析

また, 20×15mm の表面を持つ試験片に対して, しゅう動方向に平行または垂直となる溝 (深さ 30μm) の加工に成功した。油潤滑下での摩擦特性を往復しゅう動試験により評価した結果, しゅう動方向に対して垂直となる溝では, 動圧効果によって, 溝がない場合に比べて 94% 摩擦低減が可能であった。また, 接触を伴う場合にも Ni-P-SiC めっき皮膜により, 耐摩耗性が得られたことによりしゅう動可能な時間が大幅に延長された。これは, 本研究の当初の目的である, 摩耗による機能低下が起こりにくいテクスチャ面が実現できたといえる。

さらに, 平行溝の場合について流体解析ソフト (CFD, Computational Fluid Dynamics) を用いた解析を行った。これにより, 溝形状毎にしゅう動面で発生する圧力および負荷可能な力を明確にした。また, この手法を逆問題的に解くことによって, 今後は形状の最適化が可能となる。

(4) テクスチャ機能の修復性の評価

最後に, テクスチャ面に意図的に損傷を加え, そこにめっき液を供給することで皮膜の修復を試みた。現在までに完全に初期状態に戻るまでには成功していないが, めっき自体の自己触媒性により, 損傷個所が若干修復されることは確認できる。この点は, めっき液組成の見直しや供給方法に対する課題を明確にした。

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

本研究では, 材料自体に微細加工を施す方法ではなく, 潤滑めっきを積層することで表

面テクチャリングを低コストで実現する。母材を“掘る”のではなく、母材に“積層”してテクスチャを付与する試みは、シンプルであるが摩擦面に関してはあまり研究されていない。この手法は、母材同士の接触を避けるため、複合めっきの種類を適切に選択すれば、直接接触時の低摩擦と耐摩耗が実現できる。また、テクスチャの形状によっては、運転時には流体潤滑状態を維持することが期待できる。

無電解めっき法は大学の研究室レベルの設備で成膜できるほどコストが低い。また、本研究で提案しているように、テクスチャ部が損傷を受けても修復して機能を回復できるという新しい特性を付与することができれば、極めて意義が大きい。潤滑めっきはさまざまな材料表面に成膜可能であり、熱処理により硬質化も可能であるため、本研究の成果を機械部品に広く適用することも期待できる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本事業担当者はこれまでに流体潤滑分野で研究成果を上げており、テクスチャ表面の流体潤滑特性（特に、負荷容量発生メカニズムなど）についても研究を行ってきた。

一般に表面テクスチャリングの生成には、レーザ微細加工やエッチング加工などにより母材表面に微細加工がおこなわれている。しかし、

- ① 面積の広い摩擦面に均質に多数の高精度加工が必要である。
- ② 母材に直接加工することから、摩耗に代表される表面損傷が生じると機能が損なわれる。（もしくは機能が安定しない）

といった課題が指摘されている。

以上のような現状をふまえ、本研究では無電解複合めっき法を用いた上記の研究を行うことで、これらの課題を解決することを試みた。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. Norifumi Miyanaga, Shigeaki Minamikawa and Jun Tomioka, Effect of Acid Washing of SiC Particles on Dispersing and Friction Properties of Ni-P-SiC Composite Plating, Key Engineering Materials: Engineering Tribology and Materials, 739, (2017), pp.143-147.
2. Shigeaki Minamikawa, Norifumi Miyanaga, The Effect of Dispersion of Ceramic Particles on Friction Properties of Ni-P-SiC Composite Plating, The 6th International Symposium on Materials Science and Surface Technology 2017, PA15.
3. Norifumi Miyanaga, Mitsumi Nihei, Shigeaki Minamikawa, Jun Tomioka, Friction Properties of Ni-P-SiC Composite Coatings in Water Lubrication, The 18th Nordic Symposium on Tribology, Sweden, June 2018, accepted.
4. Norifumi Miyanaga, Shigeaki Minamikawa, Jun Tomioka, Measurements of Friction Characteristics of Ni-P-SiC Plating under Water Lubrication, The 6th Asia International Conference on Tribology, Malaysia, September 2018, accepted.
5. 南川繁明, 宮永宜典, 田代雄彦, 本間英夫, Ni-P-SiC めっき皮膜の水潤滑下での摩擦特性, 2017 年度関東学院大学理工／建築・環境学会研究発表講演会論文集, pp. 152-153.

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

該当なし

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 関東学院大学工学部(カントウガクインダイガクリコウガクブ)

住 所： 〒236-8501(半角)

横浜市金沢区六浦東1-50-1

担 当 者： 准教授 宮永宜典(ミヤナガノリフミ)

担 当 部 署： 工学部(リコウガクブ)

E-mail: miyanaga@kanto-gakuin.ac.jp

URL : <http://univ.kanto-gakuin.ac.jp/index.php/ja/>