

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23656114

研究課題名(和文) マイクロクラックフリーな表層の“なじみ”効果を利用した超長寿命摺動面の開発

研究課題名(英文) Micro clack free sliding surface with super long life using aging effect

研究代表者

土屋 健介 (Tsuchiya, Kensuke)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号：80345173

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：摺動面の寿命を向上させるために、表面を鏡面に仕上げた“はじめからなじみ切った”摺動面、および表層に高さ10 μ m程度の凹凸を転写してから厚み10 μ mの潤滑膜を付与した“積極的になじませる”摺動面を製作した。

前者の鏡面研削した円筒同士で摺動加速試験を行った結果、寿命が10倍程度長くなることが確認できた。2つめの犠牲膜付与加工を行った摺動面は、試験開始直後1分間で潤滑膜が剥がれることが分かった。これを解決するために、フィラーを添加した複合めっき膜付与で摺動面を強化した。直径数 μ mの粒子をめっき浴に混合することで、表面に10 μ m程度の凹凸ができ、従来のめっき膜よりも高い硬度を実現した。

研究成果の概要(英文)：In order to extend a life of sliding surfaces, we developed an aged surface by mirror finishing and aging surface with 10 μ m features and 10 μ m lubrication film.

Through sliding life tests, it has confirmed that the mirror finished surface had ten times longer life compared with the conventional one. The surface with 10 μ m lubrication film worked only for 1 minute, because the film peeled off. To solve this problem, we strengthen the film by putting fillers in the film. A composite plating with particles with several micrometers in diameter produced a 10 μ m feature on the lubrication film, and it achieved higher hardness than normal lubrication film.

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：摺動面 ピッチング なじみ 鏡面加工 微細凹凸形状

1. 研究開始当初の背景

これまでに 100 年近く、多くの研究者がこのピittingのメカニズムを分析してきた。最も有名な仮説は 1935 年にウェイが提唱したものである。すなわち、摺動面のせん断応力によって表面からマイクロクラックが生じる。そして、一部のクラックでは蓋が閉まるように表面が変形して深部の潤滑油が閉じ込められ、押付力によって閉じ込められた潤滑油に大きな圧力が発生し、その圧力によってクラックが伸展する。また、多くの生産技術者はピitting防止のために、材料や加工法の試行錯誤を繰り返し、この 30 年間で摺動面の信頼性は格段に向上した。たとえば、鋼の表面を浸炭焼入れし、その後にショットブラストすることで、材料表面のマルテンサイト量と残留オーステナイト量とを制御し、表面に適度な残留圧縮応力と伸びとを発生させてマイクロクラックの伸展を防いでいる。

申請者らは、歯車を擬した 2 つの円筒を、軸をずらして点接触させながら回転させて、予備的に摺動加速試験を実施した。つまり、潤滑油を強制注入しながら、3GPa と高圧力で押付け、40% と高いスリップ率で 2 つの円筒を 1.7m/s で回転させた。このとき、摺動面の接触状況を電気抵抗で測定し、またクラックの位置、大きさを微小な渦電流センサで測定した。その結果、試験直後は摺動面の高さ数 μm 程度の凸部が金属接触しているが、その後 45 分も経つと、いわゆる“なじみ”が生じて凸部が摩耗して鏡面になり、摺動面同士は潤滑油の動圧によって“浮上”するようになることが分かった。また、マイクロクラックはこの“なじみ”の塑性変形中に生じており、摺動面が“浮上”して金属表面が接触していないにもかかわらず、あるときからクラックが伸展してピittingに至った。この結果は、金属接触せずにクラックが伸展する、としたウェイの仮説を支持しているが、

本当にクラック中の潤滑油が高圧力を発生しているのかはよくわからない。試験中のクラックの断面を観察すると、深さ $7\mu\text{m}$ の表層はスリップによって斜めに傾けた塑性流動が生じている。また、クラックは表層の塑性変形層の下まで伸展すると、潤滑油の圧力で等方的に拡散していくようにも見える。

2. 研究の目的

本研究では、このような摺動加速試験の結果を基に、なじみが生じやすい加工法を試みる。

まず理想的に、なじみが不要になるように、表層の残留圧縮応力を保ちながら表面を鏡面に仕上げる。具体的には、研削やラップで加工すればよいが、うねりが生じて円筒の真円度が劣化すると、鏡面にしても“浮上”しなくなる。この方法は面粗さと真円度を $0.5\mu\text{m}$ 以下にする、“超精密加工”であり、実現は容易ではない。

そこで、次善策として、高さ $10\mu\text{m}$ の凹凸を転写し、その上に $10\mu\text{m}$ 厚の柔らかい潤滑膜を付与して“なじみ”容易でしかも潤滑膜が剥がれないような摺動面を創成する。これまでにリン酸モリブデンのような潤滑膜を鋼の表面に成膜すると、ピittingに至る寿命が 10 倍と格段に延びたが、次項で述べるように、そのメカニズムは未解明である。

3. 研究の方法

まずは、一つめの超精密加工を行う。加工面の残留応力は、結晶格子の原子間距離の変化を X 線回折のブラッグ角の変化によって測定するが、浸炭焼入れだけでなく、サンドブラストや研削の加工条件によって大きく変化する。従来の加工面では、研削加工の発熱でマルテンサイトがベイナイトに変わって、残留応力が引張に変化した可能性がある。一般に、浸炭焼入れの後はサンドの粒径を変えて、ショットブラストを行い、表面の厚み $10\mu\text{m}$

程度の柔らかい酸化影響層を除去し、深さ 100 μm 程度の表層に残留圧縮応力を付与する。このサンドブラストではバニシングのように粉を押し付けて残留圧縮応力を付与するだけでなく、加工熱で残留オーステナイトをマルテンサイトに変えて残留圧縮応力を付与しているから、現象は複雑である。

本研究では、面粗さや真円度の両方を潤滑液厚さの 0.5 μm 以下になるように円筒を仕上げ、"なじみ" そのものを行わなくても接触面が"浮上" するようにしたい。また、表層から 10 μm の深さまでは 500MPa 以上の残留圧縮応力を発生させ、仮にマイクロクラックが生じても伸展を阻止することを目指す。

次に、犠牲膜付与加工を行う。予備検討として、摺動加速試験において、多くの種類の潤滑膜を試みたが、潤滑膜そのものよりも、成膜前に表面を荒らすためのエッチングやショットブラストの条件がその後の摩耗に影響することがわかった。また、潤滑液が局所的に切れて摩擦加熱されると、化学的な反応が生じて寿命がばらついた。この潤滑膜の直後のはがれ防止のためにも予め表面を剣山のように凹凸を付与しておくことが有効であろう。また、凹凸のピッチが大きいと、力がかかる凸部の金属接触部と力のかからない凹部との間に剪断応力が働いてクラックが発生するので、ピッチを小さくすることが望ましい。

一般に、潤滑膜成膜の前工程として、下地表面をエッチングやサンドブラストで荒らす、メーカーのノウハウとして前処理は公開されないことが多い。しかし、エッチングすれば残留圧縮応力は小さくなり、サンドブラストすれば逆に大きくなる。そしてこの前処理によって、摩耗が大きく変わり、寿命が大きく変わるのである。このため、残留圧縮応力が大きくなるように、本研究では、予めローレット加工のようなもので、"剣山" のよ

うな凹凸を塑性加工で創成することを試みる。たとえば高さ 10 μm のピラミッドを連続的に研削で仕上げたローレット金型を円筒に押し付ける。実験のパラメータとして、ピラミッドのピッチや高さ、傾斜角度、ローレット時の押付力などがあげられる。さらに上述した 2 種類の加工法を試みて、鏡面加工された円筒と、"なじみ" 容易な摺動面を有する円筒とを用いて、摺動加速試験を試みる。

4. 研究成果

摺動面の寿命を向上させるために、表面を鏡面に仕上げた"はじめからなじみ切った" 摺動面、および表層に高さ 10 μm 程度の凹凸を転写してから厚み 10 μm の潤滑膜を付与した"積極的になじませる" 摺動面を製作した。

前者の鏡面研削した円筒同士で摺動加速試験を行った結果、寿命が 10 倍程度長くなることが確認できた。2 つめの犠牲膜付与加工を行った摺動面は、試験開始直後 1 分間で潤滑膜が剥がれることが分かった。これを解決するために、フィラーを添加した複合めっき膜付与で摺動面を強化した。直径数 μm の粒子をめっき浴に混合することで、表面に 10 μm 程度の凹凸ができ、従来のめっき膜よりも高い硬度を実現した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

上村康幸、土屋健介、凝集砥粒の分散技術、2013 年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集、1 巻、317-318、2013、査読無

[学会発表](計 1 件)

上村康幸、土屋健介、凝集砥粒の分散技術、2013 年度砥粒加工学会学術講演 2013/8/27、

東京

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1)研究代表者

土屋 健介(TSUCHIYA KENSUKE)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号：80345173

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし