

高負荷転がり滑り接触における初期うねりが疲労損傷に及ぼす影響

Effect of initial waviness on fatigue damage under heavily loaded rolling sliding contact

名工大（院）*光岡 良将，名工大（学）笠原 嘉人

名工大（正）劉 晓旭，名工大（正）前川 覚，名工大（正）糸魚川 文広

Ryosuke Mitsuoka*, Yoshito Kasahara*, Xiaoxu LIU*, Satoru Maegawa *, Fumihiro Itoigawa*

*Nagoya Institute of Technology

1. はじめに

転がり滑り接触における疲労損傷であるマイクロピッチングはノイズ・振動増大の原因の一つとされ、さらにその集積によって巨視的なピッチングへ進展することも少なくない。マイクロピッチング発生メカニズムの一説に、なじみ過程初期に粗さ突起が塑性変形する際に表面、ないしは表面近傍に導入された欠陥が、摩耗の進行に伴い最表面に露出し、接触を繰り返すことでマイクロピッチングに至るというモデルが提案されている¹⁾。このモデルはマイクロピッチングの発生については説明できているが、その集積が生じる理由を与えない。集積が生ずるのはなじみ後も接触応力振幅が大きく、かつマイクロピッチングへ進展する欠陥密度が高いことが必要であることは容易に想像できる。このことからマイクロピッチングの集積が生じ得る位置は、もちろん接触応力分布にも依存するが、なじみ初期に多くの隣接する粗さ突起が塑性変形し欠陥密度が高まり、その後も摩耗による高さ変化が生じにくい表面形状を有する位置と考えられる。このような位置は比較的の波長の短いうねり形状成分（波長の長い粗さ成分）と考えられる。

本稿では、このようなうねり成分を同定し、そのうねり成分の凸部がマイクロピッチングの集積点となるかを検証した。

2. 実験装置および実験方法

Figure 1 に四円筒試験機の概略図を示す。本装置は接触面観察および分析のための試験片脱着が容易に可能である。観察対象である試験ローラは、非破壊分析のため解析装置が有する非検査体サイズ上限に収まりやすくするよう直径 10 mm と非常に小さく設計している。また、小径のローラでも試験荷重によるアライメントのずれが生じない四円筒方式を採用している。

実験は Table 1 に示す条件で行った。試験ローラと駆動ローラの平均周速が 3.3 m/s になるように試験ローラの回転数は 6000 rpm、駆動ローラの回転数は 1184 rpm でサーボモータにより制御されている。また、任意のすべりを与えることができ、転がり滑り接触を再現できる。一方、二つの支持ローラは試験ローラに連れまわる純転がり接触である。また、支持ローラは幅 3 mm の溝を切り二股にすることで、試験ローラと支持ローラの接触領域が試験ローラと駆動ローラの接触領域と重ならないようにした。

試験ローラおよび駆動ローラは材質がそれぞれ SCM420, SUJ2 でありロックウェル硬さ HRC で 63, 61 である。駆動ローラの表面はエメリ一紙で周方向に研磨して二乗平均平方根粗さ Rq で約 0.2 μm になるように調整している。試験ローラの表面仕上げもエメリ一紙で行い、 Rzj_{jis} で 3 μm 程度になるように調整した。

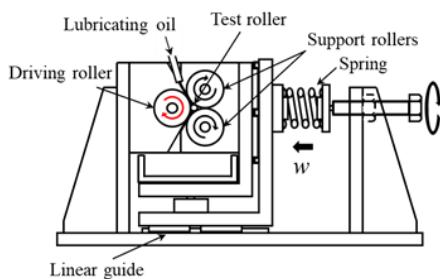


Fig. 1 Four-disk friction tester

Table 1 Experimental conditions

Lubricating oil	ATF
Surface roughness (Rzj_{jis}), μm	2.961 3.191
Minimum oil film thickness, μm	0.055
Slide-roll ratio, %	-10
Load, N	940
Oil temperature	80

3. 実験結果および考察

試験ローラと駆動ローラの任意の累計接触回数（以下、繰り返し数）ごとに試験を中断して試験ローラを取り外し、触針式粗さ計を用いた断面曲線の測定、レーザ顕微鏡による定点観察を実施した。Figure 2 に各条件における繰り返し数 1.0×10^7 回のレーザ顕微鏡観察画像、断面プロファイルおよびカットオフ値を変えたうねり曲線を示す。左を試験片 A、右を試験片 B とする。断面プロファイルは各レーザ観察画像の赤線部を測定している。また、各レーザ観察画像においてマイクロピッチングが集積した範囲を青帯で示している。レーザ顕微鏡観察画像における赤線部で示す初期断面形状（Fig. 2 中段図の黒線で示されるプロファイル）を用いて初期塑性変形による欠陥導入密度の高い範囲を次のように算出できると仮定した。

1) 負荷荷重を硬さで除することで塑性変形時の真実接触面積 A_r を算出する。

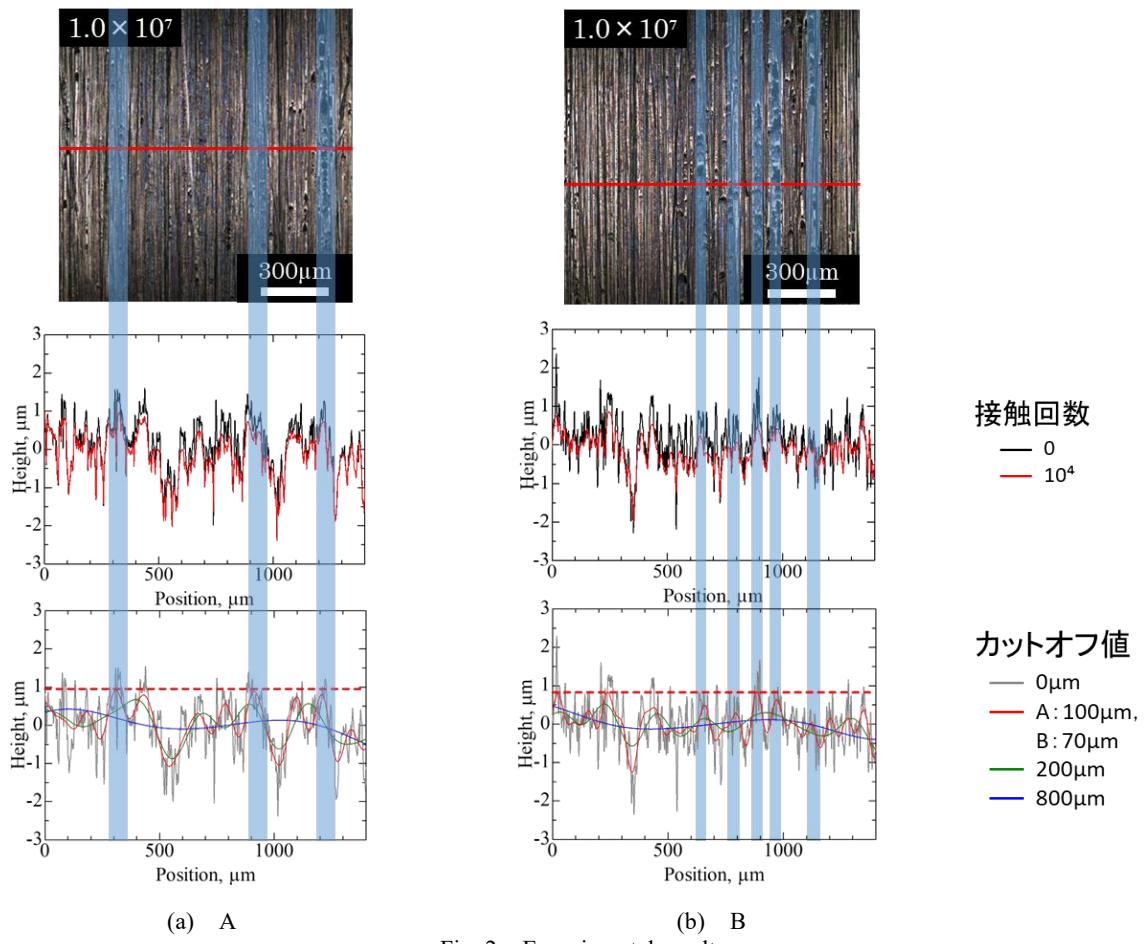


Fig. 2 Experimental results

- 2) 転がり方向（円周方向）には凹凸は無視できて、転がり方向の見かけの接触幅 $2a$ が塑性接触長さとする。
- 3) 求めた短半径が実際の粗さ突起あたりの楕円接触長半径に等しいと仮定すると、レーザ顕微鏡観察画像赤線上の真実接触長さ積算値 x は $x = A_r / 2a$ となる。
- 4) この x と軸方向の見かけの接触幅 $2b$ の比 $\lambda = x / 2b$ は Fig. 3 に示す負荷曲線の横軸の値に相当する。

Figure 3 に示す負荷曲線は試験片 A のプロファイルから算出したもので、負荷荷重条件から求めた $\lambda = 6.7\%$ は高さ $0.95\mu\text{m}$ に相当する。この $0.95\mu\text{m}$ (Fig.2 最下段左図中赤色点線) 以上の凸部がなくなるカットオフ値は凡そ $100\mu\text{m}$ となった。

ここで、B のプロファイルに対しても同様にカットオフ値を算出すると $70\mu\text{m}$ となり、これを適用したうねり曲線を Fig.2 最下段右図中赤線で示した。このうねり曲線とレーザ顕微鏡観察画像から、繰り返し数 1.0×10^7 においてピッチングが集積している範囲はいずれの試験片でも上記の方法で算出したうねり曲線の凸部と一致している。Figure 2 に示したカットオフ $200, 800\mu\text{m}$ を適用したうねり曲線ではマイクロピッキング集積部は必ずしも凸部となっていない。したがって、初期塑性変形による欠陥導入密度の高い範囲から算出したカットオフ値を用いることで、うねり曲線の凸部からマイクロピッキングの集積箇所をある程度同定することができた。

4. 結言

本研究では、なじみ初期に、多くの隣接する粗さ突起が塑性変形し欠陥密度が高まり、その後も摩耗による高さ変化が生じにくいような位置を同定できるようなカットオフ値のうねり曲線について検討し、うねり凸部がマイクロピッキングの集積点となるかを検証した。初期塑性変形時の接触範囲から算出したカットオフを用いることで、マイクロピッキングの集積箇所をある程度同定することができた。

文献

- 1) 高島弘希, “真実接触部位置が変化しないモデル粗さを用いたマイクロピッキング現象の観察”, トライボロジー会議 予稿集 (2020 春).

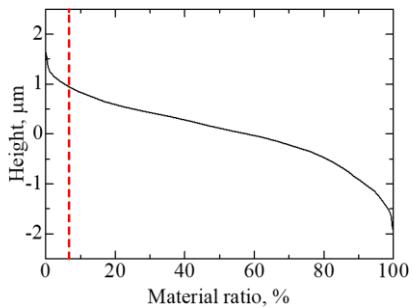


Fig.3 Load curve