

S8-1-4

繰り返し転がり接触による表面粗さの変化

Variation of surface roughness due to repeated rolling contact

○ 陳 樺 ((財) 鉄道総合技術研究所) [土] 石田 誠 ((財) 鉄道総合技術研究所)
佐藤 幸雄 ((財) 鉄道総合技術研究所) 岩渕 研吾 ((財) 鉄道総合技術研究所)

Hua CHEN, Makoto ISHIDA, Yukio SATO, Kengo IWABUCHI
Railway Technical Research Institute

Numerical analysis indicated that surface roughness causes higher contact pressure on contact surfaces, therefore the surface roughness of rail and wheel is considered to have a significant effect on plastic deformation on rail and wheel contact surfaces, following rolling contact fatigue (RCF) due to train loads. On the other hand, rail grinding is conducted for the purpose of removing surface fatigue damages and flattening running surface of rail for reducing dynamic wheel/rail interaction forces. Based on numerical analysis, a query arises that initial surface roughness formed by rail grinding operation may promote the RCF of rail. In order to make clear if the initial surface roughness has influence on the RCF of rail, the authors carried out experiments by means of a Twin-disc Rolling Contact Machine to investigate variations of the surface roughness, and then estimated progressive state of RCF of the contact surfaces by X-ray Texture Analysis. This paper describes details of the experiments and investigated results on the variations of roughness, hardness and microstructure of contact surfaces accompanied with repeated rolling contact.

キーワード：表面粗さ、レール削正、転がり接触疲労、RCF、X線テクスチャ解析

Key Words: Surface roughness, rail grinding, rolling contact fatigue, RCF, X-ray Texture Analysis

1. はじめに

新幹線および在来線において、レールシェリングの発生を抑制するために、繰り返し列車荷重を受けて疲労したレールの極表層部分を取り除く予防削正作業が行われている。また、波状摩耗あるいはレール溶接部の凹凸を平滑化し、輪重変動を抑制する削正も行われている。これらのレール削正により、レールの延命と騒音や振動の軽減が図られている。

一方近年、実際の車輪とレールの表面粗さを考慮した弾塑性解析により、二つの接触物体の粗さ突起部接触により極表層の応力状態が極めて厳しい状況になることが明らかされた¹⁾。フォン・ミーゼス応力が材料のせん断降伏応力を超える領域では、塑性変形が生じ、それが進む場合には、疲労き裂の発生が示唆されている。しかしながら、レール削正により形成される表面粗さが転がり疲労に与える影響については十分に検討されていない。そこで、レール削正作業の適正化を図り、効果を損わず効率を上げることが重要である。

本稿では、レール削正車の砥石の粒度、硬さ、研削速度、押し付け力等の作業の効率を決定する要因に依存するレール削正時の仕上がり時の表面粗さ(削正痕)に着目し、その表面粗さがどの程度の車輪による繰り返し荷重で通常の表面粗さの程度になるのか、そして、表面粗さが通常の程度になるまでに顕著な転がり接触疲労の傾向を確認できるかどうかを調査した。具体的には、削正痕を模擬した表面粗さを付与したレールディスクを用いて2円筒転がり接触試験により繰り返し回転数によるレールディスクの接触踏面の表面粗さと表面硬さの変化を調べた。また、顕微鏡により試験後のレールディスクの接触踏面の極表層での塑性流動、並びにX線回折装置により軸密度の組織観察を行った。以下、得られた結果等を紹介する。

2. 試験装置と実験条件

本実験には、2円筒転がり接触試験機²⁾を用いた。また、車輪を模擬するディスク(φ300mm)の接触踏面を#80研摩紙で仕上げ、レールを模擬するディスク(φ170mm)の接触踏面に図1に示すように4箇所それぞれ異なる表面粗さを付与した(図1(a))。粗さの方向性は実際のレール中央部の削正痕を考慮し、軸方向に沿った溝とした(図1(b))。

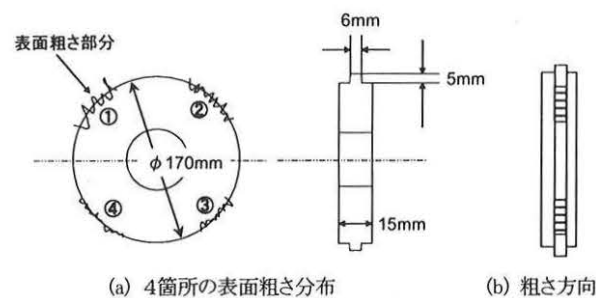


図1. レールディスクの表面粗さ

試験条件を表1に示す。No.1~2 はそれぞれレールディスクの試番で、①~④は同一のレールディスクの接触踏面に付けた4箇所のそれぞれの表面粗さの番号である。表中の通トンと日数は実際に年間4000万通トン/年を想定して換算した数値であり、また、Rz は最大粗さを示す。接触荷重に関しては、実際の車輪とレール間の接触圧力を考慮し、最大ヘルツ接触圧力を750MPaとした。

表1 実験条件

試験 ディスク	①Rz (μm)	②Rz (μm)	③Rz (μm)	④Rz (μm)	すべり率 (%)	回転数 (回)	通トン (万トン)	日数 (day)
No.1	32.97	28.25	16.33	9.61	0	132821	131	11
No.2	31.64	31.56	9.92	8.98	0.2	138335	131	11

3. 実験結果および考察

3.1 繰返し回転数による表面粗さの変化

繰返し回転数による初期表面粗さの変化の一例を図2に示す。初期表面粗さの大小に関わらず、約13万回転(通トン: 約130万トン相当)後にはほとんど同程度の表面粗さになったことがわかる。

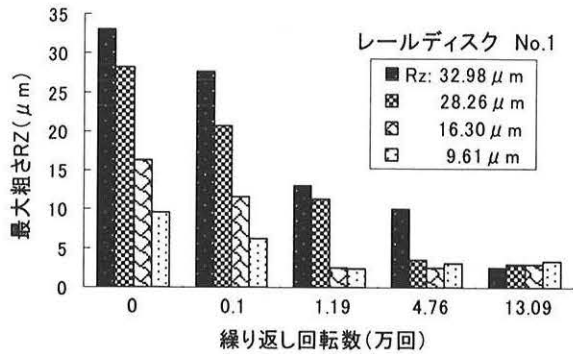


図2 レールディスク No.1 の表面粗さ変化(すべり率 0%)

3.2 すべり率による表面粗さの変化

レールディスク No.1 と No.2 を用いて、すべり率による初期表面粗さの変化の度合いを比較した結果を図3に示す。すべり率が大きいほうが、表面粗さが小さくなるのが明らかに早いことが分かる。

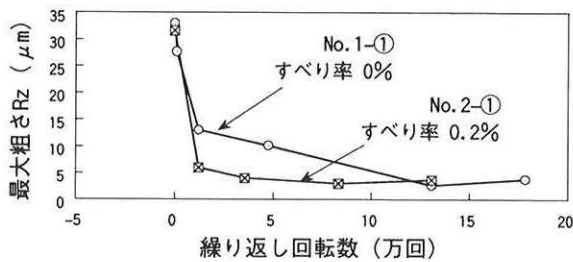


図3 すべり率による表面粗さの変化の度合い

3.3 表面粗さによる硬さの変化

表面粗さが表面塑性変形に与える影響を繰返し回転数による加工硬化の面から検討するために、繰返し回転試験後に表面から内部への硬さ変化を調べた。初期表面粗さの大小による硬さの変化を図4に示す。横軸は表面からの深さ、縦軸は硬さ Hv である。測定上のバラツキは認められるが、初期表面粗さによる明瞭な違いはないと考えられる。

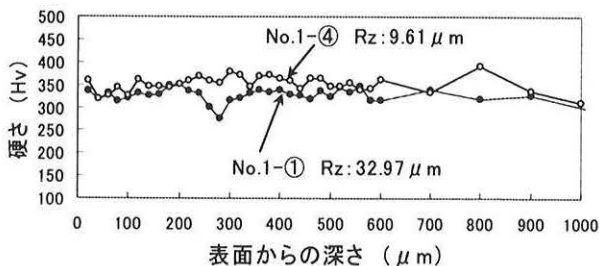


図4 表面粗さによる表面からの深さ方向の硬さの分布

3.4 表面粗さに塑性流動の違い

光学顕微鏡を用いて観察した初期表面粗さが異なる場合の極表層の塑性流動を図5に示す。両方の断面において、初期表面粗さによる違いは明瞭ではない。

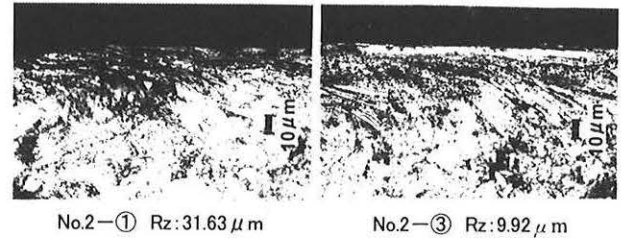


図5 表面粗さによる繰返し回転後の塑性流動

3.5 軸密度の観察

繰返し接触を受けたレールディスクの表層をX線逆極点図測定³⁾により解析した。逆極点図測定は、繰返し接触によって変形した結晶の整列状態(結晶の整列程度を表す指標を軸密度と呼ぶ)を分析する手法であり、それによって接触面の疲労度合いを評価することが可能であると考えられる。図6に、222の結晶軸のレールディスク No.1 の2箇所(表面粗さ①と④の部分)の表面からの深さ方向における軸密度の変化を示す。初期表面粗さによる明瞭な結晶の整列の違いが認められなかった。

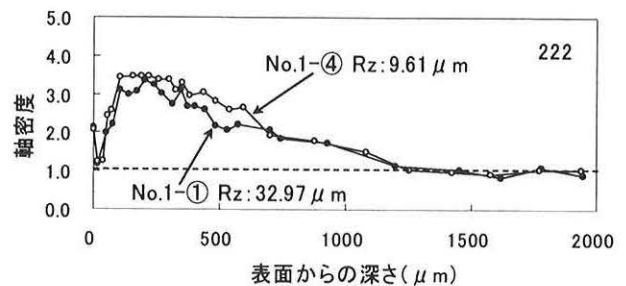


図6 深さ方向における 222 軸密度の変化

4. まとめ

以上の結果から、削正時に形成された表面粗さが繰返し回転数の増加とともに減少し、ある繰返し回転数に達した時点で、初期表面粗さの大きさに関係なくほぼ同等な値になることが分かった。そして、繰返し回転後のレールディスクの硬さ、表層の塑性流動並びに軸密度も初期表面粗さによる明瞭な違いは認められなかった。従って、現在行われている削正作業における削正痕が疲労き裂の発生、またはその促進因子となる可能性は殆どないと考えられる。

参考文献

- 1) 石田, 陳, フランクリン: “粗さ接触から見たシェリング予防削正効果”, 日本鉄道施設協会誌, 38-2, 2000, pp.49-52
- 2) 石田, 伴, 本: “高精度転がり接触試験機の試作と一二の試験結果”, J-Rail 1998, pp.301-302
- 3) 長嶋, 海老原: “集合組織”, 丸善(株), 1984年1月発行