

車輪座かじり発生に影響する因子と 表面処理方法の検討

山本 勝太* 佐藤 康夫* 牧野 一成*
坂本 博* 石塚 弘道**

Study on the Factors Influencing Generation of Scorings of Wheelseats of the Railway Axles and the Effectiveness of Surface Treatment Methods

Masataka YAMAMOTO Yasuo SATO Kazunari MAKINO
Hiroshi SAKAMOTO Hiromichi ISHIDUKA

The scorings of wheelseats of the axles sometimes occur during the press-fit operation. The number of the axles for the meter-gauged line vehicles scrapped by scoring is larger than that of the axles scrapped by the other reasons. Therefore, to decrease the generation of scorings of wheelseats results in the decrease of the number of the scrapped axles. However, there have been few studies on the generation of scorings on wheelseats; accordingly not only the mechanism but also the factors influencing generation of scorings of wheelseats have not yet been cleared. In this paper, the influence of the surface roughness and the surface hardness on the generation of scorings of wheelseats and the effective surface treatment methods of wheelseats have been discussed.

キーワード：かじり，車輪座，表面粗さ，表面硬さ，表面処理

1. はじめに

鉄道車両の車輪と車軸は、走行中の車輪に働く横圧などによって相対的に動くことなく、かつ駆動力や制動力を伝達する必要がある。このような理由から、輪軸は車軸の車輪座外径と車輪ボス孔内径の間に一定の締め代をもった締めりばめとし、把握力を持たせている¹⁾。そのため車軸に車輪を圧入または圧抜する際に車輪座に「かじり」が発生することがある。平成19年度実績では、在来線車両用車軸の全取替の44%が「かじり」により取替えとなっており、かじりを低減させることによって、車軸取替率を低減させることが可能になる。

しかし、かじりに関する研究はこれまでほとんど行われておらず^{2), 3)}、かじり発生メカニズムやかじりに影響する因子についても把握されていない。そこで筆者らは平滑材を用いた小型試験および実体輪軸のはめ合いを模擬した実物大のはめ合い試験によって、かじりに影響する因子の検討を行った。本報告では、かじり発生に対する表面粗さおよび表面硬さの影響、ならびにかじり抑制に効果的な表面処理方法の検討結果について述べる。

2. 平滑材試験

2.1 試験概要

かじりに影響する因子について検討を行うために、平滑材を用いた試験を行った。平滑材試験の模式図を図1に示す。固定した車軸試験片の両試験面に、車輪試験片を所定の荷重 N で押付け、変位速度一定の条件下で車輪試験片を移動させた際のかじり発生の有無を調べた。試験には、平行チャックを有する東京衡機製の疲労試験機を用いた。当試験機はチャック部の油圧を調整することで、車輪の押付け力 N を任意に調整可能である。

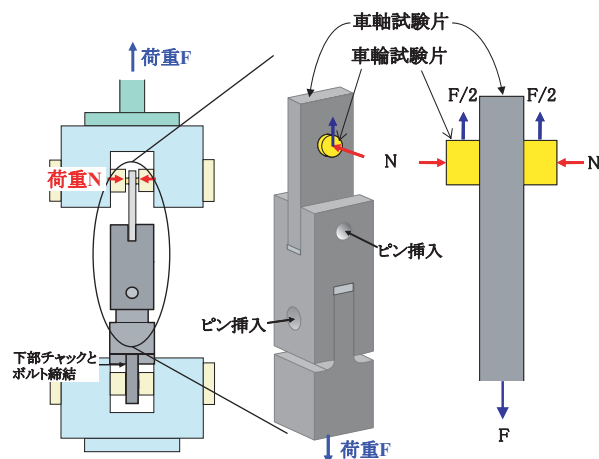


図1 平滑材試験の模式図

* 車両構造技術研究部（車両強度）

** 車両構造技術研究部

特集：車両技術

車軸試験片は実物車軸(材質SFA60A)より作製し、車輪試験片は車輪材と同等の引張強さを有する材料より作製した。車軸試験片と車輪試験片の接触面積は102mm²とした。車軸試験片の試験面には、通常の輪軸の圧入時に用いられる圧入補助剤である調合白亜鉛ペイントを塗布し、試験を行った。車軸試験片および車輪試験片の表面粗さはサンドペーパーによって調整した。研磨方向は、車輪試験片の移動方向に対し、車軸試験片では垂直、車輪試験片では平行とした。

試験後に車軸試験片に発生したきずの深さが0.1mm以上の場合、かじりが発生したと見なした。車輪試験片の車軸試験片への押付け力 N を、接触面積で除した値を「車輪押付け面圧 (MPa)」とし、各条件にて試験を行った際にかじりが発生した最小の車輪押付け面圧を「かじり発生面圧」と定義した。

2.2 試験結果

試験片表面粗さとかじり発生面圧の関係を調査した結果を図2に示す。図2から、車軸試験片および車輪試験片の表面粗さが細くなった場合、かじりが発生しやすくなるという傾向が認められる。

車軸試験片に所定の温度で焼入焼戻し処理を施工し、試験片硬さとかじり発生面圧の関係を調査した。結果を図3に示す。ここでは、車軸試験片および車輪試験片の表面粗さは、いずれも $R_a=0.4\mu\text{m}$ とした。図3から、車

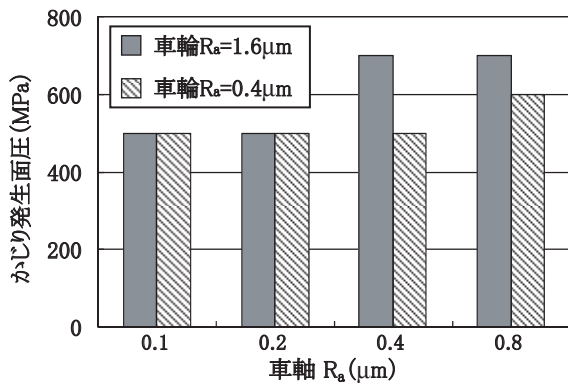


図2 試験片の表面粗さとかじり発生面圧の関係

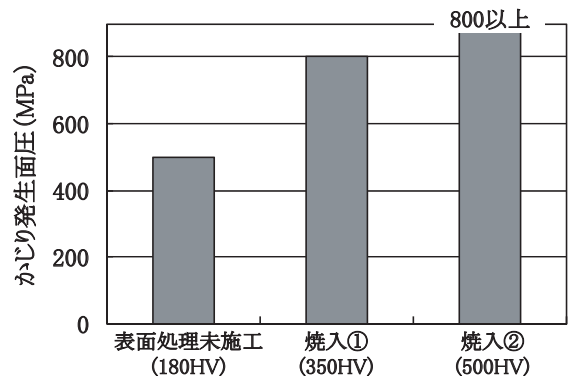


図3 車軸試験片の硬さとかじり発生面圧の関係

軸試験片の表面硬さが増大した場合、かじりが発生しにくくなる傾向が認められる。

2.3 考察

一般に、はめ合い面の表面粗さが細かくなると、油膜保持性が低下(潤滑剤の排出性が増大)する。今回の試験では、車軸試験片および車輪試験片の表面粗さが細かくなったことで、圧入補助剤がはめ合い面より排出され、はめ合い面の摩擦係数が高い状態となったため、かじりが発生しやすくなったと考えられる。そこで、はめ合い面の摩擦係数と車軸試験片表面に発生する応力の関係を調査するために、平滑材試験を模擬したFEM解析を実施した。解析モデルを図4に示す。車軸試験片、車輪試験片のヤング率を207GPa、ポアソン比を0.3とし、6面体8節点要素とした。車輪試験片押付け面圧を400MPa、摩擦係数を0.1および0.3とした場合の、車軸試験片のミーゼス相当応力分布を図5に示す。はめ合い面の摩擦係数が0.3程度になると、車軸試験片表面に発生する応力はその降伏応力を超過する。そのため、(1)油膜保持性を高めることにより摩擦係数を低下させる、(2)発生する応力以上に表面の強度(硬さ)を高めること、によってかじりが低減可能と考えられる。

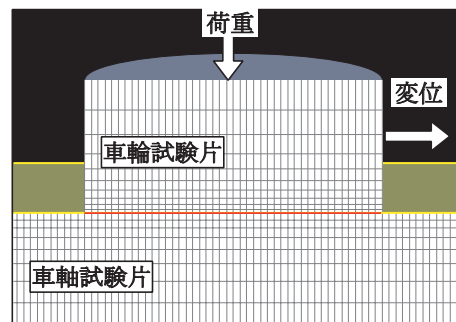


図4 平滑材試験のFEM解析モデル

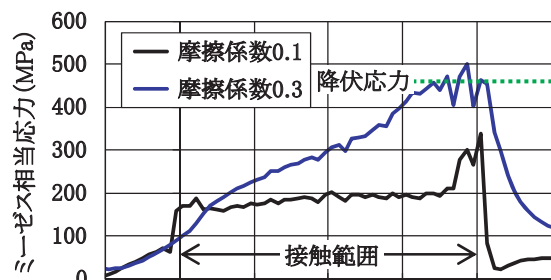


図5 車軸試験片の主せん断応力分布 (横軸のスケールは図4に対応)

3. 実物大はめ合い試験

平滑材試験結果を基に、はめ合い面の油膜保持性を高める表面処理方法として微粒子ショットピーニングを、はめ合い面の表面強度を高める表面処理方法として浸硫

窒化を施工した実物大はめ合い試験片を作製し、実物大サイズでの表面処理効果の検討を行った。

3.1 試験方法

試験に用いた実物大車軸試験片および実物大車輪試験片を図6に示す。実物大車軸試験片は実物車軸の車輪座部を、実物大車輪試験片は車輪ボス部を模擬した形状とした。車軸試験片の面取りおよび車輪試験片のフィレットの形状は、一般的な実物輪軸の形状に合わせた。

実物大車軸試験片は3体作製し、そのうちの2体は微粒子ショットピーニングおよび浸硫窒化を施工し、1体は研削加工のままの状態（以下、表面処理未施工）とした。実物大車輪試験片は3体作製し、いずれも研削加工のままの状態とした。表1に各試験片の表面粗さおよびショア硬さを示す。微粒子ショットピーニングによる硬化層は数 μm 程度と小さく、そのショア硬さは表面処理未施工と同等であった。浸硫窒化を施工した試験片では、表面から深さ20 μm 程度まで窒素化合物層が、深さ300 μm 程度まで窒素拡散層が形成されており、硬さが増大していた。なお、今回の試験は車輪試験片の表面粗さが細かく、かじりが発生しやすい条件とした。試験状況を図7に示す。試験は、島津製作所製500tonf油圧プレスを用いて、変位速度50mm/min一定の条件で行った。

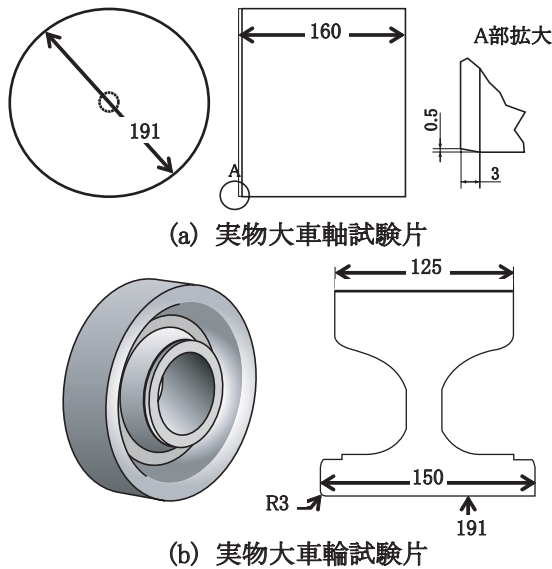


図6 作製した試験片（単位 mm）

表1 各試験片の表面粗さおよびショア硬さ

車軸試験片			車輪試験片
表面処理	表面粗さ R_a (μm)	硬さ (HS)	表面粗さ R_a (μm)
表面処理未施工	0.36	28.6	0.20
微粒子ショットピーニング	0.68	29.6	0.19
浸硫窒化	0.62	40.4	0.18

3.2 試験結果

圧抜き後の車軸試験片の外観を図8に示す。車輪試験片の表面粗さが細かい場合、一般的な輪軸形状であっても、表面処理未施工の車軸試験片ではかじりが発生した。また、表面にディンプル状の凹凸を形成し、油膜保持性を高める微粒子ショットピーニングでは、実物大サイズでのかじり抑制効果は認められなかった。一方で、浸硫窒化のように車輪座表面の硬度を高める表面処理方法の場合、かじりは発生せず、このような表面処理方法によってかじりを抑制できる可能性のあることがわかった。

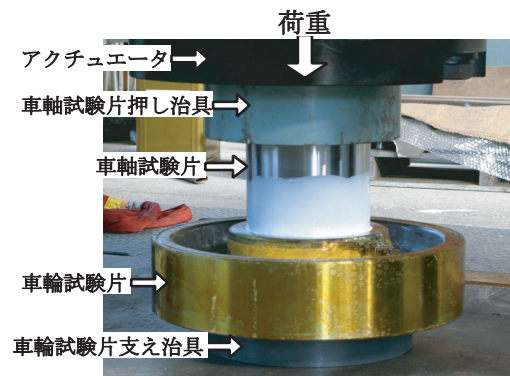


図7 実物大はめ合い試験の試験状況



図8 圧抜き後の車軸試験片の外観

3.3 考察

かじり発生時のはめ合い面の潤滑状態について検討を行うために、圧入時に車軸に発生する応力と摩擦係数の関係について実物大はめ合い試験を模擬したFEM解析を実施した。解析モデルを図9に示す。輪軸は、締め代

特集：車両技術

比1.4/1000，車輪座外径190mm，車輪ボス幅155mm，車輪ボス平均外径276mmの一般的な形状とした。また，車輪試験片のモデルは，今回用いた実物大車輪試験片のボス孔内径およびボス平均外径を有する円筒形状とし，車軸試験片モデル，車輪試験片モデルとも，ヤング率を207GPa，ポアソン比を0.3，6面体8節点要素とした。

はめ合い面の摩擦係数 $\mu=0.1\sim 0.5$ ，圧入距離62mmの場合の，最表面要素のミーゼス相当応力分布を図10に示す。ここで，「圧入距離」は図9のように車軸試験片の面取り部と車輪試験片のR部が接触した状態をゼロとし，図10はそこから62mm車軸試験片を圧入した状態を示す。 $\mu=0.1\sim 0.3$ の範囲では発生する応力に大きな差は認められない。 $\mu=0.5$ の場合，車軸先端(x=0)や車輪R部との接触端(x=62)において発生する応力が大きくなり，一部では降伏応力を大きく超える。このことから，摩擦係数が0.5程度という，無潤滑状態に近い状態となった場合に，かじりが発生すると考えられる。

微粒子ショットピーニングを施工した場合，油膜保持性が高まり，このような局所的な摩擦係数の増大を抑制することが可能になると考えられたが，今回の試験ではその効果は認められなかった。浸硫窒化を施工した場合，車軸試験片表面の強度（硬さ）が増大したため，かじりを抑制できたと考えられる。

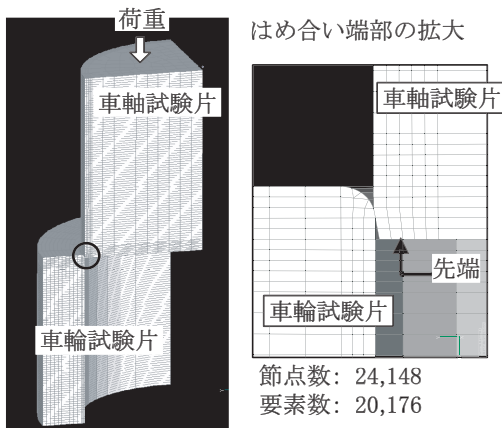


図9 応力解析に用いたモデル

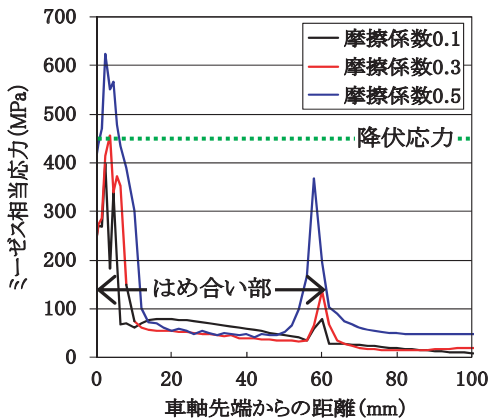


図10 圧入距離62mm時の応力解析結果

局所的な油膜切れ等による高摩擦係数の発生メカニズムについては不明なことから，はめ合い面の摩擦状態を安定させる方法よりも，表面の強度（硬さ）を高める方法がかじり抑制に有効と考えられる。

4. まとめ

車軸の車輪座に発生するかじりを低減することを目的として，かじり発生に影響する因子を検討するとともに，車輪座かじり抑制に効果的な表面処理方法について，検討を行った。その結果，以下のことがわかった。

- (1) はめ合い面の表面粗さが細かい場合，かじりが発生しやすくなる傾向が認められた。
- (2) 一般的な輪軸を模擬した実物大はめ合い試験を実施した結果，車輪ボス孔内径面の表面粗さが細かい場合，かじりが発生した。
- (3) 実物大はめ合い試験を模擬した FEM 解析を行った結果，かじり発生時には局所的に無潤滑状態に近い，摩擦係数が高い状態になっていると考えられる。
- (4) 微粒子ショットピーニングを施工した車軸試験片では，油膜保持性が高まり，局所的な摩擦係数の増大を抑制することが可能になると考えられたが，今回の試験ではその効果は認められなかった。
- (5) 局所的な油膜切れ等による高摩擦係数の発生メカニズムについては不明なことから，はめ合い面の摩擦状態を安定させる方法よりも，表面の強度（硬さ）を高める方法がかじり抑制に有効と考えられる。

5. おわりに

今回，車輪座かじり発生に関する基礎的な検討を行った。その結果，はめ合い面の表面粗さがかじり発生に影響していることが考えられた。一方で，表面粗さと潤滑剤の排出性，摩擦係数との関係は未だ不明であり，今後の検討課題である。また，表面処理施工による車軸の疲労強度などについても検討する必要がある。

文献

- 1) 高速車両用輪軸研究委員会：鉄道輪軸，丸善プラネット，p.197，2008
- 2) D. Benuzzi, G. Donzella, “Prediction of the press-fit curve in the assembly of a railway axle and wheel,” *Proc. Instn Mech. Engrs*, Vol. 218, pp.51-65, 2004.
- 3) Thomas Kuther, et al., “Ionimplantieren - ein wirtschaftliches Verfahren zur Vermeidung von Pressschaden an Radsätzen,” *ZEVrail Glasers Annalen*, 126-4, pp.146-155, 2002.
- 4) 日本工業規格：鉄道車両用輪軸一品質要求，JIS E 4504