

高精度円筒ころの紹介

Features of High-precision Cylindrical Rollers

1. はじめに

株式会社ジェイテクトファインテック（以下、JFT）は、2022年4月に宇都宮機器株式会社（栃木県）、日本ニードルローラー製造株式会社（三重県）、トキオ精工株式会社（東京都）の3社が合併した会社である。自動車、二輪車をはじめ、一般産業機械などの広い分野で使用される針状ころや円筒ころ、ピンなどの製品を提供している。これら製品群のなかに、**図1**に示す高精度円筒ころがある。



図1 高精度円筒ころ
High-precision cylindrical rollers

高精度円筒ころの用途として直動ガイドがあり、工作機械、組立機械、ロボットなど、さまざまな分野で製品や加工品の搬送や位置決めに使われている。転動体にボールを用いる直動ガイドに対し、円筒ころを交互に直交配列する構造の直動ガイドは、あらゆる方向の荷重を受けことができ、高い剛性を実現できる。ただし、円筒ころの精度は直動ガイドの運動精度や静粛性に影響するため、高精度な加工が必要である。本報では、JFTの高精度円筒ころの特長について紹介する。

2. 高精度円筒ころの特長

2.1 直径相互差

多数のころで負荷を受ける直動ガイドは、ころの直径相互差が少ないほど負荷を均等に分担できるため、高剛性化、長寿命化、静粛性の向上に有利である。そのため、**表1**に示すとおり、自動車用の減速機などに用いられる一般品の円筒ころの直径相互差が $2.0\mu\text{m}$ に対し、高精度ころは $1.0\mu\text{m}$ 以下の精度で管理している。JFTでは、

高精度ころをクロスローラーベアリングなどに用いられる直径相互差 $1.0\mu\text{m}$ のA級品と、直動ガイドに用いられる $0.5\mu\text{m}$ のS級品に分類している。

表1 高精度円筒ころの性能比較 ($\phi 1\text{mm} \sim \phi 10\text{mm}$)
Performance comparison of high-precision cylindrical rollers ($\phi 1\text{mm}$ to $\phi 10\text{mm}$)

評価項目	一般品	高精度 A級品	高精度 S級品
直径相互差, μm	2.0	1.0	0.5
長さ寸法公差, μm	200.0	10.0	6.0
真円度, μm	2.0	0.8	0.5

円筒ころの加工工程を**図2**に示す。一般ころの加工工程は熱処理後、外径研削、クラウニング加工となる。

高精度ころは外径研削後、幅研削と外径仕上げ研削を追加することで、長さ寸法公差、直径相互差の精度を向上させている。外径仕上げ研削は弾性変形と摩耗が少ないCBN砥石で研削する。このとき、**図2(a)**に示す一般ころの場合、最小切り込み量 $0.2\mu\text{m}$ の心なし円筒研削盤（ジェイテクトマシンツール製、以下JMS製）によって、直径相互差 $2\mu\text{m}$ 以内の精度で外径を研削している。これに対し、**図2(b)**に示す高精度ころでは、外径研削後のころの両端面を、両頭平面研削盤（JMS製）で寸法公差 $10\mu\text{m}$ 以内に幅を研削した後、さらに外径の仕上げ研削を行っている。仕上げ研削では狙い通りの直径寸法を得るため、CBN砥石の結合度を硬くすることで砥石摩耗をさらに抑制し、心なし円筒研削盤も最小切り込み量が $0.1\mu\text{m}$ の機種（JMS製）を使用している。

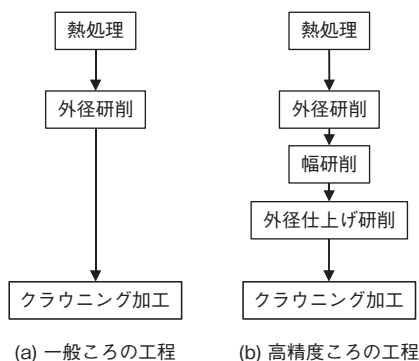
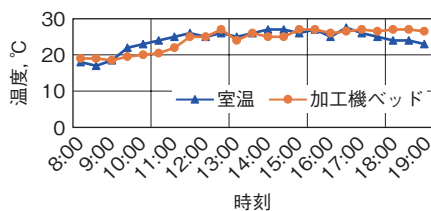


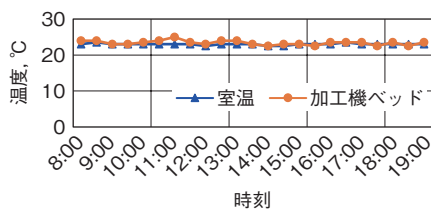
図2 円筒ころの加工工程
Cylindrical roller machining process

また、円筒ころの寸法精度は砥石や加工機の仕様だけでなく、加工時の温度がわずか1℃変化するだけで影響がある。このため、高精度ころは恒温室で加工することで、室温、加工機温度、クーラント（加工油）の温度を自動制御で一定温度に管理している。図3に加工中の室温と加工機ベッドの温度測定結果を示す。図3(a)の通常の円筒ころを加工する一般加工ラインでは、始業時刻の8時から室温、加工機ベッド温度が10℃上昇しているのに対し、図3(b)の高精度加工ラインでは、設定温度23℃に対し±1℃で制御することで、高精度な円筒ころの加工が可能となった。これによって、外径の粗研削工程で寸法相互差を1.0μm以下に加工でき、仕上げ研削工程での研削量が少なくなり、外径寸法を0.1μm単位で狙った加工ができるようになった。

この結果、最終直径寸法の層別をすることがなく、安定した品質を実現した。表2に、高精度ころと他社のベンチマーク結果を示す。他社製品と比較して外径寸法、真円度および外周面の表面粗さが優れていることが分かる。



(a) 一般ころの場合



(b) 高精度ころの場合

図3 加工時の温度測定結果

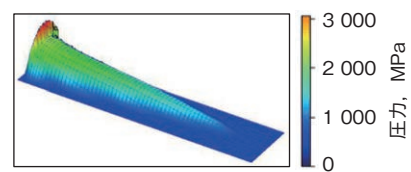
Temperature control during processing

表2 高精度円筒ころの精度比較 (φ4mm × φ7mm)
Performance comparison of high precision cylindrical rollers

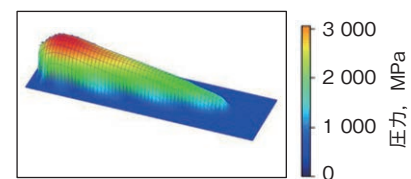
評価項目	外径寸法	真円度 (直線部)	表面粗さ (外周面)
規格値	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ Ra 0.1
単位	μm	μm	μm
A社	0.7	0.5	0.02
B社	0.8	0.5	0.03
JFT	0.4	0.2	0.02

2.2 クラウニング加工

円筒ころの転動面は軌道面と線接触するため、大きな負荷容量を得られる特長がある。しかし、負荷がかかって回転軸が傾くと、ころの転動面端部で応力集中が生じる。これを避けるには、端部にクラウニングを施すことが有効な手段である。図4に独自の解析ツールを用いて、転動面が傾いた場合の面圧分布を計算した結果を示す。図4(a)のクラウニングなしの場合は、転動面端部で急激に面圧が高まっていることが分かる。これに対して、クラウニングを施した円筒ころの場合、図4(b)に示すように転動面端部の局所的な応力集中はなくなり、なだらかな面圧分布になっている。



(a) クラウニングなし



(b) クラウニングあり

図4 転動面の面圧比較

Comparison of surface pressure on rolling surfaces

JFTでは、クラウニングの種類を図5のとおり分類している。図5(a)のクラウニングなしのころに対し、図5(b)の通常クラウニングでは転動面中央部に直線部があり、両端にクラウニングが施されている。図5(c)はクラウニング曲率半径がころの長さ方向で変化して直線部と滑らかにつながっており、当社はこの複合クラウニングを採用している。また、図5(d)は直線部が存在しないフルクラウニングである。これらのうち、直動ガイド用の高精度ころには、複合クラウニングを採用している。

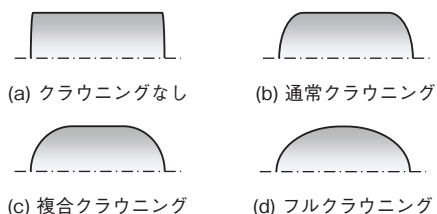


図5 クラウニングの形状分類
Crowning classification of crowning shapes

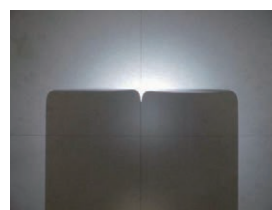
これらのクラウニングの加工方法として、ドレスによって砥石を加工製品のクラウニング形状に成形し、それをインフィード研削で砥石形状を転写する方法がある。また、複数のたる型ドラム上でころの姿勢を変えながら搬送し、スルーフィード研削で転動面端部にクラウニングをつける方法もある。一方、複合クラウニングの場合は、バレル研磨によってクラウニングを成形している。すなわち、円筒のバレル（研磨槽）に一定の割合で混合した砥粒と水の中へころを投入し、バレルを回転させることで、ころと砥粒を流動させて研磨する方法である。JFT ではバレルの回転軸を任意の角度で傾けることが可能な、可傾式バレル研磨機を採用している。

バレル研磨は、砥粒の種類や水との混合比、バレル内の容量比、さらにはバレルの回転速度や傾斜角度など、適切な加工条件を選定するには多くのノウハウを必要とする。たとえば、季節で水の蒸発具合が変わるため、砥粒と水の混合比を変更したり、ころの大きさやクラウニング量などの要求値に応じてバレルの傾斜や回転速度を変えたりするなど、多くの条件を調整する必要がある。これら加工条件が適切でないと、バッチ処理であるバレル研磨の場合、大量の不良品を発生させることになる。

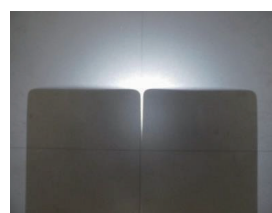
JFT ではこれらのノウハウを積み重ね、さまざまな種類のころに対し、顧客要求精度を満足する最適条件を決定することができ、Only One 技術を確立している。

バレル研磨後のクラウニングを、プロファイルプロジェクターで測定した結果を図6に示す。クラウニングをつけていない図6(a)では、ころの中央で端面からわずかに光のすじが確認できるのに対し、クラウニングをつけたころは図6(b)のとおり、光のすじが長さ方向の中央に向かって延びていることが分かる。これより、端部ですき間の領域が増え、スキュー時の応力集中を抑制できるため、クラウニングで寿命延長化が可能と考える。また、直径φ4mm、長さ7mmのころに対し、触針式の形状測定機で母線形状を測定した結果を図7に示す。クラウニングなしでは図7(a)のとおり、転動面端部が

エッジ状になっていることが分かる。一方、複合クラウニングをつけた図7(b)では端部から長さ方向にクラウニング曲率半径が変化しており、滑らかに直線部へつながっていることが分かる。また、直線部は3mm確保できている。

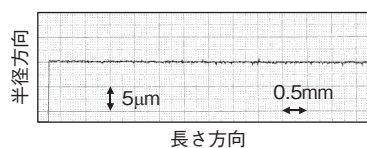


(a) クラウニングなし

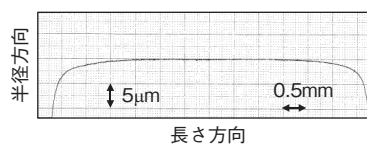


(b) クラウニングあり

図6 クラウニング部の光投影測定
Optical projection measurement of crowning



(a) クラウニングなし



(b) クラウニングあり

図7 触針式形状測定結果
Stylus type shape measurement results

3. 直動ガイドへの適用

前述のとおり、高精度ころの加工では、砥石の選定管理、機械の振動などを一般円筒ころよりも精密に管理している。また、加工後の検査も、直径寸法、表面粗さ、真円度など、すべての項目で一般円筒ころより高度で精密な検査を実施している。これにより、安定してサブミクロンの加工精度と、複合クラウニング形状の最適加工を実現できた。

その結果、直動ガイドの転動体を従来の玉からころに変更することが可能となった。それにより正確な運動精

度や高い耐荷重性能を実現し、直動ガイドの小型化、省スペース化が可能となった。さらに、転動面端部への応力集中の抑制により、直動ガイドの長寿命化に貢献できた。

4. おわりに

自動車および産業機械向けの軸受用円筒ころの加工技術の高精度化により、サブミクロン単位の直径相互差を実現できた。また、クラウニング形状の最適加工により、転動面端部への応力集中の抑制ができた。この高精度ころを直動ガイドの転動体に活用することで静粛性向上と長寿命化が実現でき、また直動ガイドの小型化と省スペース化に貢献することができた。

(株式会社ジェイテクトファインテック)