玉軸受軌道面の超仕上⁽¹⁾

佐々木 外喜雄⁽²⁾ 岡村 健二郎⁽³⁾

水戸 健⁽⁴⁾ 辻 正一⁽⁵⁾

The Superfinish of Raceway of the Ball Bearing

by Tokio SASAKI, Kenjiro OKAMURA, Ken MITO and Chōichi TSUJI

In the application of superfinish for the raceway of deepgroove type ball bearing, it is reasonable to make that abrasive stone oscillates on an axis which coincides with the centre of raceway curvature.

Using a newly designed equipment under the principle mentioned above, the characteristics of raceway superfinish has been investigated and the following practices have been found recommendable.

In order to obtain mirror-finished raceway, cutting angle (the angle between the moving direction of abrasive grain and circumference) should range $3^{\circ}\sim 6^{\circ}$ which is far smaller than the suitable cutting angle in ordinary superfinish of cylindrical surface and cutting speed in 30~50 m/mn.

1. 緒 言

玉軸受軌道面の鏡面仕上げ法として従来用いられて来た紙やすり仕上げ、ラップ仕上げなどによって超仕上げを実施することは、玉軸受の精度寿命の改善、摩擦抵抗の低減、騒音の防止等の点で好結果が期待されるので、その実用化が強く要望されている。しかし玉軸受軌道面はその形状が複雑であるため、円柱面の超仕上げの場合に比して といし面 と加工物表面との接触状態に大きな差があると同時に、超仕上げ加工で最も重要な振動運動の与え方に問題がある。

これらの点を考慮して、本研究においては といしの振動中心位置が正確に測定でき、かつ任意の位置に固定することが可能で作業中 といしの減りによりその位置が変化することのないような超仕上げ装置を設計試作して、軌道面超仕上げにおける超仕上げ状態の特性、切削運動条件、および といし振動中心位置と仕上げ効果の関係について詳細に検討した。

2. 超仕上げ装置および試験片

i) 超仕上げ装置 超仕上げ装置の主要部分を第1図に示す。この超仕上げ機は内外輪いずれでもそのチャックを取りかえるのみで用いられる。本機の最も特長とするところは、 といしの振動中心が作業中変ることなく、かつその点は希望する場合には上下左右に任意の距離だけ動かすことができ、その距離はダイヤルゲージにより正確に測られる。したがってこの装置によれば最も仕上げ状態に不同の少ない振動中心位置を見出し

第 1 図

て、常にその点を中心として振動させることができるから仕上げられた製品は仕上面にむらが少ないことが期待できる。

工作物表面速度は主軸①の回転数をベルト車の組合せにより変え 6 種の値を取り得るごとくした。 といし

の振動はといし保持器②を軸受③の軸線を中心として部分的回転運動さすことにより与えられる。そのための曲軸④の回転用モータはシリースモータを用いたから、といし振数は $0 \sim 4000 \text{ rev/min}$ の範囲で任意の値を取り得る。したがって切削運動条件として任意の切削速度、切削角が取れる。といし荷重はといしの振動と共に運動するつる巻ばね⑤で与えられる。したがって加工中といしが減ると多少荷重が減少する。

ii) **といし振動中心位置の決め方** といし振動運動の中心軸は加工物をはさんで両側にある軸受③の軸線である。したがって振動中心位置を知るには軌道面と軸線との距離を測ればよい。そのための測定装置を

第 2 図

第2図に示す。まず軸受③にセンタ棒⑥を両側より入れて、その先端が測定端子⑦に作られたセンタ穴に一致するごとく止ねじ⑧をゆるめて軸受③およびレバー⑩を調整する。このときのダイヤルゲージ⑪の読みを取る。次にセンタ棒を抜きさして測定端子⑦を軌道面に当てダイヤルゲージ⑪の読みが初めの値に一致するように第1図のねじ棒⑫、⑬を調整すれば振動中心線とみぞ底との距離は初めに与えた測定端子先端とそのセンタ穴との距離に一致する。同時に振動中心線はみぞの中央断面内にくる。

iii) **試験片** 試験片として用いた内外輪は 6306 番でベアリング製造会社において研削加工まで終った

もので、その表面あらさは $1.5 \sim 1.7 \mu$ 程度である。

3. 実験結果およびその考察

i) **超仕上状態の特性** 一般に超仕上においては加工条件により、初め切削が行われているが面が平滑になるにつれて次第にといし面が目詰りを起して切削作用がなくなり鏡面が出来る場合と、初めからの切削がいかに加工時間を増しても定常的に続く場合とがある。このように超仕上の切削作用に差を生ずる原因は種々の加工条件の内主として切削角とといし圧力である。玉軸受軌道面の場合には、といしと加工面との接触状態が一般の場合とは異なるので上のような関係も相当変化するのではないかと考えられるから、といし荷重とといし振数(切削角)を変えて相当長時間加工して仕上状態を調べた。その結果を第3図に示す。

第 3 図

図より明らかなごとく切削状態と鏡面状態との差は非常に明確で、中間の状態(半切削状態)の範囲は丸棒超仕上の場合よりはるかに少ない。その限界点は荷重、振数の変化につれて図中(1)のごとくほぼ直線で現わされる。また図において○印の上の線の長さにより表面あらさを示したが、これを見ると(1)の線を境にして急に変わることが認められる。直線(1)を今後限界線と呼ぶことにする。この限界線は切削角の非常に小さい $3^\circ \sim 6^\circ$ で現われる。普通の超仕上では $20^\circ \sim 60^\circ$ である。この差の生ずる原因は線接触により接触線における圧力の大きいことと接触砥粒の回りにすきまができるため砥粒の劈開脱落が起り易くなるからであると考えられる。したがって軌道面超仕上では前加工きずを取るための切削は比較的容易であることがわかり、丸棒の場合のように二段工程に分けて加工する必要はほとんどない。

第 4 図

ii) 限界線に交わる方向における仕上効果の検討

限界線からずれて行く場合表面あらさおよび切削能率がどのように変化するかを調べた結果を第4図に示す。これは第3図(2)の線上の実験である。図を見ると振数 800 $\sim$ 750 $\sim$ rpm 以上で 30 秒加工の線と 90 秒加工の線とが一致している。すなわちこの範囲では 30 秒ですでに前加工すじは完全になくなり、以後定常の切削状態が続いていることがわかる。したがって二段工程により超仕上するならば 30 秒加工の線の最小となっている振数 800 $\sim$ 750 $\sim$ rpm, 荷重 2 kg をその第一段工程として用いればよい。また振数 800 $\sim$ 750 $\sim$ rpm 以下で

第 5 図

は加工時間の進むに従って次第に表面あらさは減少する。比較的能率よく鏡面仕上する条件は限界線に近いほどよいが、ここでは微小の工作条件の変動により鏡面になりかけた面が切削の行われる恐れがある。

iii) 限界線にそった方向における仕上効果の検討

鏡面の現われる領域内において限界線にそっての仕上状態の変化をしらべると第5図のごとくである。これは第3図(3)の直線上の実験である。図を見ると 30 秒加工でも 60 秒加工でも表面あらさは同じ振数 650 $\sim$ 750 $\sim$ rpm で最小値を示し両端に行くに従ってあらくなる。30 秒加工から 60 秒加工にうつる場合のあらさの改善割合は同じ振数が大きく荷重の小さい場合ほどよい。図の曲線は荷重変化の影響と振数変化の影響とが重なって現われたものであるが、この線を見ると同じ振数変化の影響の方が同じ荷重変化の影響より大きいことがわかる。ii), iii) の実験より一段超仕上に用いられる作業条件は同じ振数 700 $\sim$ 750 $\sim$ rpm (切削角 4° 18'), 同一荷重 1.6 kg 程度、すなわち第3図において斜線の部分がよいと考えられる。

iv) 切削角について ii), iii) の実験により切削角の影響の概略的傾向を求めたが超仕上においては切削角が最も主要な作業条件であるから、工作物周速度を一定にして 0° $\sim$ 10° の範囲で切削角の影響を詳細

第 6 図

に調べた。その結果を第6図に示す。切削能率は 15 秒加工の線で見られるごとく切削角 6° までは切削角の大きくなるにつれてよくなるが 6° 以上ではほとんど一定となる。また 120 秒加工の線を見ると表面あらさは切削角 4° 付近で最小となり 5° 以上では急激にあらくなる。これは切削状態の領域に入るためである。なお切削角の非常に小さい所で切削能率の悪くな

っていることから考えてラップ仕上式が超仕上式の加工よりはるかに能率のわるいことがわかる。表面あらさが最小となり、加工能率も比較的良好なところとしては結局切削角 4° 附近である。これは先に求めた結果と一致する。

v) 切削速度について 切削角を 4° に一定にして切削速度の影響を調べた結果を第7図に示す。図よ

第 7 図

り明らかなごとく切削速度は能率的には高速にするほどよくなるが、最終仕上面は低速の方がよい。したがって切削速度としては能率と仕上面の要求程度に応じて適当に選ばばよい。この結果は一般の超仕上の場合とよく似ている。

vi) といしかたさについて といしかたさが仕上面に及ぼす影響を調べると第8図のごとくなる。といしかたさが高いと最終仕上面の光沢はよくなるが、加工能率が悪く鏡面を得るために相当長時間加工しな

第 8 図

ければならない。またかたいといしでは軌道面のごとき複雑な形状の場合は完全なあたりを出すことがほとんど不可能で、加工前に概略形を出して中央部をあてると端部が出来ず、端部であてると中央部が出来にくい。かたさの低いものではあたりを出すことは比較的容易であるが面は多少あらくなる。以上の点より見て容易にあたりを出すことが出来、加工能率も比較的よく、かつ仕上面も良好なといしとしてはかたさ R_H 50 程度のものがよい。

vii) といし振動中心位置と仕上効果の関係 以上の実験においてはといしの振動中心を軌道面曲率中心に置いて加工したのであるが、これを第9図の右上

第 9 図

に示すごとく曲率中心を O として上下に $2\sim 3$ mm ずらして加工した場合の仕上面を中央部と端部で調べると第9図のごとくなる。 O 点では中央部と端部で同一のあらさを示す。すなわち全面一様な加工が行われている。振動中心が負側にずれる(軌道面に近くなる)と中央部が出来やすく、正側にずれると端部が出来やすい。両者の差は負側にずれた場合の方が大きい。なおこの場合振動中心が変わると図に示すごとく振幅が変わり、したがって切削角が変わるから中央部、端部それぞれの曲線を見て あらさ の最小位置を取る場合には、この影響を考慮に入れねばならない。すなわち切削角の影響が大きく現われていることは第6図と比較して明らかである。普通玉軸受で軌道面と玉とが接触するのは中央部のみであるから振動中心は O 点もしくは多少負側にずらしておけば良好な製品が出来る。以上は上下方向にずれた場合であるが、前後方向にずれた場合は多少のずれでも といし と軌道面の接触が悪くなるため音を発するから簡単に発見することができる。一定距離ずつずらして実験を行ったが仕上面に不同が多く明らかな傾向を示さない。

4. 結 論

以上の研究により次のことが明らかにされた。

(1) 超仕上により玉軸受軌道面を加工することは比較的容易で、軌道面と いし面 とが線接触するため、切削作用が起り易く、研削きずを容易に取り除くことが出来るから二段工程による必要はない。

(2) 鏡面の得られる切削角の値は、一般の超仕上の場合と非常に異なり 6° 以下である。

(3) 軌道面超仕上の作業条件としては、切削角 4°

程度、切削速度 $30\sim 50\text{ m/min}$ 、といしかたさ $R_a 50$ 程度がよい。

(4) といし振動中心位置は軌道面の曲率中心に取るのがよく、上または下にずれるとそれぞれ軌道面の中央または端で当りが悪くなる。

注:一

(1) 昭和 28 年 4 月 4 日 第 30 期定時総会講演会において講演
原稿受付 昭和 28 年 6 月 25 日。

(2) (3) 正員, 京都大学。

(4) (5) 学生員, 京都大学。

心無研削に関する研究⁽¹⁾

(第1報 研削図形真円度の理論的考察)

米 津 栄⁽²⁾

Research on Centreless Grinding

(1st Report, Theoretical Consideration on Out-of-Roundness of the Ground Profile for Cylindrical Work)

by Sakae YONETSU

The author has showed a theoretical formula on the ground profile for the cylindrical work, expressed by Fourier's series in tangential polar co-ordinate—as a function of the geometrical conditions of the three point supports for the work centre, and the cutting residue of the grinding stone. And then mode of variation as to the out-of-roundness has been discussed under a few conditions.

1. 緒 言

心無研削された円筒形工作物はいわゆる等幅ひずみ円 (gleichdick) あるいは多角ひずみ円 (vieleck) の形状となることがよく知られている。特に前者は種々の不都合を生ずる。これを避けると共に真円度誤差を小さくするため、主として工作物支持高さの調節、研削といしの結合度や粒度の選択などによっているが、その根拠についてはあまり明確でない。ただわずかに E. Sachsenberg, R. Kreher 両氏の論文⁽³⁾ に実験的に論ぜられているにすぎないようである。

本報は研削系各部の振動問題および工作物の躍りあるいは不均一回転の問題を一応除外して考え、工作物の研削、送り両といし車と受板による三点支持の幾何学的条件、すなわち工作物の心が確定されない条件と研削の切残しの真円度におよぼす影響について理論的考察を試みた。心無研削の方式は円筒形工作物の送り込み法によるものとした。

2. 理論的考察

第1図に示したように研削といし車 G 、送りといし

第 1 図

車 C および受板 B に仕上り直径 $d_m = 2a_m$ なる仮想の円筒 M が中心高さ H において三者に同時に接触支持された関係位置の G , C および B の間に円筒形工作物が挿入されて研削されるものとする。工作物の直径は両といし車の直径にくらべて小さいものとする。