円筒機械加工部品の真円度および円筒度公差

沢 辺 雅 二*

Tolerances of Roundness and Cylindricity
in Machine Parts in Japanese Industry

Masaji SAWABE

To standardize the numerical tolerance of cylindrical machine parts with respect to roundness and cylindricity, the tolerances which are actually directed in machine designs in mechanical industry of Japan are investigated by means of questionnaires.

158 answers are obtained. The distinctive relations can not be found out between the tolerances of form errors of machine parts and their dimensions. Then, the answers are classified by machining processes such as cutting, grinding and other special machining, and by industries such as fine instruments, machine tools, industrial machines, transportation machines, optical machines and electrical machines. Geometrical mean values of the tolerances and the dimensions at every five points from the smallest to the largest machine parts are calculated, and running mean values at every five points of the geometrical mean values from the smallest one to the largest are calculated on each classified item individually. As the results, it is distinctly recognized that there are differences between the tolerances of the respective machining processes and also between the tolerances of the respective industries, and that the tolerances are put under such simple rules that the tolerances of roundness and cylindricity versus diameters of machine parts are given by Ai and the tolerances of cylindricity versus length of machine parts are given by $Bi^{2/3}$ in the case that length over diameter is more than three, where i is the tolerance unit in ISO System of Limits and Fits, i_L is the value given by length instead of diameter in the tolerance unit, and A and B are constants as regard to machineing processes.

1. ま え が き

機械加工金属部品のなかで、円筒形状部品はかなり多量に使用されている。それらの中で形状、精度が問題となるのは、主として、はめあいに関係した部分に用いられているといえることができる。円筒部品の形状精度は真円度、真直度、円筒度であるが、真円度と円筒度が機械加工に関して重要な要素と考えられる。ところが、部品の大きさと真円度、円筒度との関係はまだ明らかでない。そこで、昭和39年にアンケート形式で行なった形状および位置精度の許容値の現状調査結果¹⁾から、真円度および円筒度の許容値を取りだし、データに検討を加え、部品の直径と真円度公差および円筒度公差、また部品の長さとの関係を求めた。そして、それらの

間の関係を見いだすことができた。

2. 真円度および円筒度の集計結果

真円度および円筒度の全集計を 図1 および 図2 に示す。

図1は機械加工部品の真円度公差とその直径の関係を示したもので、90事業所の回答からなるものである。図によってわかるとおり、直径0.4 mm～8 mの部品に関して、真円度公差は0.5 μm～1 mmの範囲にきめられている。その中でも直径10～300 mm、真円度公差2～40 μm部品が大多数を占めている。回答された業種は計測機器、機械要素、工作機械、産業機械、交通機械、電気機械、光学機械など非常に多種にわたっており、その結果、適用されている真円度公差も広い範囲にばらついている。

円筒度に関しては図2に示すとおりである。(a)は円筒

* 正会員 工業技術院計量研究所

図1 真円度公差 (記入事業所90)

図2 円筒度公差 (記入事業所数72)

部品の直径に対する円筒度公差, (b)は円筒部品の長さに対する円筒度公差で, 72事業所による値である。円筒部品の直径 $1\text{ mm} \sim 1.4\text{ m}$, 長さ $2\text{ mm} \sim 6\text{ m}$ において, 円筒度公差は $0.5\text{ }\mu\text{m} \sim 1\text{ mm}$ であるが, 直径 $10 \sim 300\text{ mm}$, 長さ $20\text{ mm} \sim 2\text{ m}$, 円筒度公差 $2 \sim 40\text{ }\mu\text{m}$ のものが多数を占めている。

3. 直径と真円度公差の関係

図1から直接直径に対する真円度公差の関係も見出すことはできない。それは, その中に各種の業種が含まれると同時に各種の加工法によるものが含まれているからであると考え, これを業種および加工法によって分類

図3 真円度公差の平均

した。しかし, なおかなりのばらつきがあった。そこで異なった業種ごとに, 直径の小さい部品より5点ずつとり, これの直径および真円度公差の幾何平均を求め, さらに, この幾何平均値5点の移動平均を求めた。この点が図3(a)の中の点である。ただし, 計測機器および光学機械はデータ数が少なかったので, 幾何平均値3点の移動平均値が示してある。(b)の点は加工法別に同様な方法によって求めたものである。

図4 直径に対する円筒度公差の平均

業種別の中に示した産業機械には繊維、化学、ミシント木、木工機械などのほか、空気、水力、油圧機器、製鉄などを含めた。交通機械には自動車、車輛、造船、航空のほか自転車を、計測機器には測定器、時計、ゲージ工具などを含めた。特殊加工には超仕上げ、ホーニング、ラップなどの砥粒を用いた仕上げが含まれている。

図3の各点は直径が大になるにしたがって真円度公差が大になる傾向を示している。これはISO公差およびはめあい方式の公差単位

$$i = 0.45D^{1/3} + 0.001D \quad (D \leq 500 \text{ mm})$$

$$i = 0.004D + 2.1 \quad (D > 500 \text{ mm})$$

に係数をかけた関係によって与えられる。すなわち、 A_i なる曲線で表わすことができる。

業種別では、真円度公差は計測機器、工作機械、産業機械、光学機械の順に大となっている。交通機械、電気機械はほぼ産業機械程度であるが、直径の小さい部品において工作機械程度になっている。工作機械は、公差およびはめあい方式の公差等級IT3に、したがっているが、直径が大きい場合にIT2に近くなっている。産業機械はほぼIT5にしている。光学機械はさらに1等級だけ産業機械より低く、ほぼIT6である。直径が他に比べ小さい部品の多い計測機器はほぼIT1に等しい。このように業種によって公差等級に相当する差がみとめられる。

図5 長さに対する円筒度公差の平均

加工法によって分類した場合は切削、研削、特殊加工の順に、真円度公差は小さくなっている。切削においては公差およびはめあい方式における公差等級のIT6にほぼ等しい。研削と特殊加工とはほぼ同程度で、IT3で近似できる。

一般に直径の寸法公差は、はめあい方法にしたがって与えられることから考えると、真円度公差は直径公差に対する割合で与えられているものとみることができる。しかし、事業所によってはその考えによらないでいるところもあり、また与える割合も異なっている。

4. 直径および長さとの円筒度公差の関係

4.1 業種別加工法別の円筒度公差

円筒度公差についても値はばらついている。そこで、真円度公差において行なったと同様な方法で直径および長さに対する円筒度公差の平均を求めた。図4は業種別および加工法別の直径に対する円筒度公差の平均である。ここにおける曲線も公差およびはめあい方式に關係する A_i で表わすことができる。しかも業種別における工作機械、産業機械、加工法別における外側研削などの平均値は、真円度公差におけるそれらの平均値とほとんど等しい値を示している。

長さに対する円筒度公差の平均は、業種別および加工法別に求めると図5のとおりである。この場合の曲線は、公差およびはめあい方式の公差単位における直径 D のかわりに長さ L を代入した式

$$i_L = 0.45L^{1/3} + 0.001L \quad (L \leq 500 \text{ mm})$$

$$i_L = 0.004L + 2.1 \quad (L > 500 \text{ mm})$$

図6 旋削による円筒度（工作機械工業会調査40年3月1日資料に基づく）

図7 直径と長さの関係

の $0.6 \sim 0.8$ 乗を常数倍した関係、すなわち、 $BiL^{0.6} \sim BiL^{0.8}$ で表わすことができる。工作機械では $BiL^{0.6} \sim BiL^{0.7}$ 、産業機械では $BiL^{0.7} \sim BiL^{0.8}$ である。加工別においては、研削は $BiL^{0.6}$ に、切削は $BiL^{0.8}$ に近い。

一方、工作機械工業会で15事業所の参加のもと旋削加工における精度調査を昭和40年3月に実施している。このデータをプロットしたものが図6である。チェック仕事、センタ押し仕事の別を印をかえて示した。この両作業を分けずに、寸法の小さいものより5点の幾何平均、その値の5点の移動平均をとって整理した結果が図中の○印である。実線はこれにしたがって描いたもので、円筒度は直径に対し $BiL^{0.7}$ 、長さに対して $BiL^{0.7}$ に近い。アンケートにおける円筒度公差の平均値よりかなり精度の高いところにあるが、傾向は全く等しい。研削に関して

図8 $L/D^{1.5} \leq 0.40$ における円筒度

も、某研削盤メーカーの実測データの平均値が、アンケートにおける関係よりやや精度の高い値のところ、それとよく似た結果が得られている。これらはアンケートの結果の確からしさを裏付けているとみることができる。

4.2 長さと円筒度公差

機械加工部品は同一の直径に対していろいろの長さのものが用いられている。それらの関係は図2からうかがい知ることができるが、アンケートで得られた直径と長さとの関係の平均を求めると図7のとおりである。切削の場合は他の平均より直径が大きい傾向がでており、部品が短かいときに著しい。図7は加工別で分類した場合であるが、工作機械、産業機械における直径と長さとの関係も図中の直線と全く等しい。この直線は

$$L = 0.4D^{1.5}$$

で表わすことができる。図中の点線はJISの工作機械の運転検査における検査用工作物の寸法である。旋削の場合は旋盤の振りによって異なった寸法の工作物が与えられている。

円筒度公差に対する長さの影響を調べるために、図7の直線の上側にある部品と下側にある部品とに分けて、円筒度公差の平均値を求めた。直線の上側にある部品は $L < 0.4D^{1.5}$ で長さが短かく、下側にある部品は $L > 0.4D^{1.5}$ で長さが長いものが属する。それぞれ、寸法の小さい部品より前述の方法と同様な手段で平均を求めた。図

 図10 $L/D^{1.5}$ に対する円筒度

8は直径に対する円筒度公差，図9は長さに対する円筒度公差である。

直径に対する円筒度公差は長さが長いものにはあきらかに短かいものより大きな数値が与えられている。それに反し，長さによる円筒度公差においてはその差は不明確である。これは公差単位 i 式中の D のかわりに， L ， $L/2$ ， $L/3$ ， $\dots$ ， $L/10$ において求めた値が $L/3 \sim L/7$ において $iL^{3/2}$ に近似しており， $L/10$ で $iL^{0.6}$ に近い曲線で表わすことができるほどであるから，あきらかな差がみられなかったものと思われる。

一方，図10は $L/D^{1.5}$ に対する円筒度公差の平均値を求めたもので，業種あるいは加工法によって異なるが， $L/D^{1.5}$ が $0.3 \sim 0.5$ より大きいときには円筒度公差が大きく与えられている。これは図8からも考えられる結果

 図11 L/D に対する円筒度

 図12 L/D における円筒度 (F社)

である。研削では最小値のある曲線となっているがそれ以外は $L/D^{1.5}$ が 0.3 以下では一定値を示している。

また， L/D に対する円筒度差の平均値は図11のとおりである。 L/D のある点で円筒的公差が最小となる曲線で表わされる。最小値の現われる L/D は業種，加工法で異なるが， $1 \sim 5$ の間にある。 L/D が小なる範囲では直径が大きくなるほど L/D が大なる範囲では長さが長くなるにつれて公差が大きく与えられるためにこのような曲線になるものと思われる。

図12にF社K工場における旋削による円筒部品120点の実測の平均値である。いわゆる $4' \sim 8'$ ， $12'$ および $18'$ 旋盤が用いられた。 L/D が $2 \sim 3$ において円筒度が最小になる曲線となっており，アンケート結果と同様な結果を示している。

4.3 直径長さと円筒度公差

以上にのべた直径に対する円筒度公差および長さに対する円筒度公差は，直径に対するものには長さが，長さに対するものには直径が影響しているので，直径と長さを分けて考えることはやや厳密さに欠ける。そこで直径および長さの円筒度公差の立体的関係を求めた。

図13は研削加工の場合の例である。X軸に長さ，Y軸に直径，Z軸に円筒度公差を与えた。直径を 2.5 mm をこえ 16 mm 以下，同様に 25 mm ， 40 mm ， 63 mm ， 100 mm ，

図13 直径長さとの円筒度公差 (研削外側)

160mm, 250mm, 400mmと区切り, 長さを 4 mm以上 25mm以下, 同じく63mm, 160mm, 400mm, 1000mm 3000mmに区切り, この直径と長さで区切られる区分内の部品の円筒度公差の幾何平均値を, この区分の代表点として黒丸印で示した。また×印は直径で分けた区間内において, 長さの短いものより5点ずつとった移動幾何平均値から求めたものであり, +印は長さで分けた区間内において直径の小さいものより5点ずつとった移動幾何平均値から求めたものである。代表点である黒丸印を主として考え, ×, +印を参考として, 曲線を描いた。

この図を直径および長さに関して示したものが図14である。直径に対する円筒度公差は公差およびはめあい方式の公差単位の常数倍 A_i で表わされる曲線で与えられる。長さに対する円筒度公差は, 長さが直径の3~5倍以上で, $BiL^{2/3}$ によって表わされ, 長さが直径の3~5倍以下では $BiL^{1/2}$ あるいはそれよりねた曲線となっている。

このように, 円筒度公差は直径に対して長さが3倍以下では A_i で表わされ, それより長い場合に $BiL^{2/3}$ を加えた形で表わされるということができる。

4.4 加工条件から考えられる長さとの円筒度

円筒度に影響を与える加工時の条件として,

- i) 往復台運動の真直度
- ii) 往復台運動と軸中心線との平行度
- iii) 両センタの高さの差
- iv) 主軸のふれ
- v) 主軸, 心押軸の逃げ
- vi) 工具台の逃げ
- vii) 工作物の変形

などが主なものである。工作機械のねじれは真直度, 平行度として見出しうると考えられる。水平面内において現われるこれらの条件は, その変位量の2倍が円筒度に

図14 寸法と円筒度公差 (研削)

関係するが, 垂直面内ではほとんどにおいてその変位量は工作物の直径の逆数倍程度しか影響を与えない。したがって, 垂直内におけるものより水平面内において現われるものの方が影響度が大きい。また, 逃げに属するものは仕上加工ということを考えれば真直度, 平行度に比べ小さいとみなすことができる。そこで, 円筒度は水平面内の往復台の真直度およびそれと軸中心線との平行度によりきめられるということができる。平行度は工作機械などでは $L^{1/3}$ に比例するといわれ²⁾ この値は長さが100~5000mmにおいては $BiL^{2/3}$ の値に近い。真直度については, J I S 直定規A級以上の100~3000mmに対する値が $L^{2/3}$ に比例しており, またこれは BiL に近似することができる。また100~500mmテストバーの真直度は $L^{1/2}$ に比例している。一般に, 工作機械ベットの真直度は平行度と同様な傾向を示していると考えられるので, $i_L^{2/3}$ によって表わされたとする。これらの自乗和の平方根が円筒度であるとすれば, 円筒度は $i_L^{2/3}$ に比例すると考えることができる。

5. む す び

円筒機械加工部品の真円度および円筒度の許容値として

$$F \propto f(i)$$

と表わすことができることを示した。ここで i は I S O 公差およびはめあい方式の公差単位である。すなわち,

真円度の公差は i に比例した値で与えられる。円筒度の公差は公差単位の直径 D のかわりに長さ L をおきかえたものの 3 分の 2 乗に比例し、とくに長さが直径の 3 倍上においてその影響が現われている。

これらの結果が直接真円度や円筒度の公差の規格値に用いられるとは限らないが、少なくとも何らかの影響を与えるものと考えられる。形状精度は加工条件に関係するところ大であるといわれているにもかかわらず、その間の関係は全くあきらかでない現状である。これについては今後の研究にまたなければならない。この報告がそのためにも一つの指針を与えることになれば幸である。

おわりに、本研究は形状および位置精度の許容値に関

する分科会の事業の一部として行なわれた。主査青木保雄東京大学教授にご指導をいただいた。計量研究所山本健太郎第一部長にご助言とご指導をいただいた。また、分科会委員の方々にいろいろとご討論をいただいた。ここに厚くお礼申しあげる。 (1966, 9月19日受付)

文 献

- 1) 沢辺雅二：形状および位置精度の許容値の現状調査結果，精密機械，31巻5号 (1965) 420.
- 2) 松本源次郎：公差便覧，工作機械，日刊工業新聞社 (1964) 165.

書 評

焼 結 機 械 部 品 の 設 計 要 覧 (社) 粉体粉末冶金協会編

焼結機械部品が近年急速な伸びを示し、各種の工業分野で大いに利用されるようになってきた。その理由は、焼結機械部品がその生産性、経済性にすぐれており、また製法の特異性からくる種々の利点を有しているためである。

しかるに、この多くの長所をもつ焼結機械部品を実際に利用しようとし、また具体的に設計しようとしたとき、初めて経験するものにとっては未知の事柄が多く、これまでに刊行されている粉末冶金関係の書籍を見ても具体的な情報を得ることがなかなか困難であった。また、これまでに焼結機械部品を利用した経験のあるものでも、狭い範囲の知識や経験にもとづいている場合が多く、適正な使用を行なっているかどうか疑問である。そのように、焼結機械部品に対する認識が一般に不足勝ちであり、それが焼結機械部品を使用する際の不安となってユーザの利用を妨げ、焼結機械部品の応用分野を狭めていると言えるのである。

そう言った意味で、焼結機械部品に対する的確な、具体的な知識を与えてくれる書籍の刊行が待たれていたと言えるのであるが、**「焼結機械部品の設計要覧」**はその期待に答えたものと言ってよい。

本書は粉末冶金法による機械部品製作の基礎概念を与えることから始まり、焼結機械材料のもつ性質、熱処理、各種試験法、実際に設計する場合の形状、寸法、精度などの制約、さらには現在実用されている多くの焼結機械部品例におよんでおり、これをユーザが読むことにより焼結機械部品に対する認識を新たにするとともに、適正な使用を行なうことができるようになる。またメーカにとっても、これまでの知識が整理されると同時に、焼結機械部品の設計に大いに益するものと確信する。

さらに本書に望むとすれば、焼結機械部品の欠点ともなりうる種々の問題点についても具体的に記述するとともに、実用に供されている焼結機械部品の性能を明確にすれば、一層有意義であると思われる。また、本書を一步進めて、粉末の製造、圧縮成形、焼結、後処理、機械試験法などの理論的な取扱いをも含めた**「焼結機械部品便覧」**へと発展されんことを期待するものである。

終わりに、本書によって焼結機械部品に対する概念を大いに世に啓蒙され、今後益々発展されんことを祈ってやまない。

(明田勇蔵)

(B 5 上製, 227 ページ, 発行・㈱技術書院)