

進み角の大きい三角ねじおよびインボリュートねじの有効径測定に用いる最適針径について

両角宗晴* 八重島公郎**

(昭和52年 5月27日受理)

On the Best Wire Diameters used for Measurement of Pitch Diameters of Archimedean Worm Thread Screws and Involute Worm Thread Screws having Large Lead Angles by the Three-Wire Method

Muneharu MOROZUMI and Kōrō YAEJIMA

The present paper deals with the best wire used for measurement of the pitch diameters of Archimedean worm thread screws and involute worm thread screws, which have one or multi-start threads and large lead angles, in measuring screw threads by the three-wire method. The diameters of the best wire that should touch on the nominal pitch cylinder of the worm to minimize the errors caused by the deviations of the flank angle from the nominal value, are calculated. Moreover, the smallest wire diameters to provide the measurements over wires equal to the outside diameter of the external thread are calculated. The results obtained are tabulated.

1 緒 言

精密ねじの有効径測定には三針法が多く用いられるが、この場合有効径の測定値がねじ山半角誤差の影響を受けないためには、針がねじの基準ピッチ円の所で接触するような針径のものをを用いなければならない。この針径を最適針径と呼ぶ。

締付用ねじのように進み角の小さい三角ねじの最適針径はすでに近似的に求められ、使用されており、精度的にも充分であるが、JIS B 1723—1977 で規定されている「円筒ウォームの寸法」では、進み角が 25° 前後の大きいものもあり、このような進み角の大きいねじの場合は、厳密理論により計算される最適針径またはそれは近い針径のものをを用いなければならない。円筒ウォームのねじ面は1形、2形、3形および4形の4種類あるが、

* 精密工学教室 教授

** 精密工学教室 助手

本論文においては、1形と4形のウォームに対する最適針径を厳密理論により求め、さらに最適針径を求めるための近似式を導き、それら近似式から得られる針径と、正しい最適針径との針径差を明らかにし、またねじみぞに挿入された針の頂がねじ山頂ずれずれになるような、いわゆる最小針径をすべて計算し、針径表を作成した。表1は本文に使用する記号の説明である。

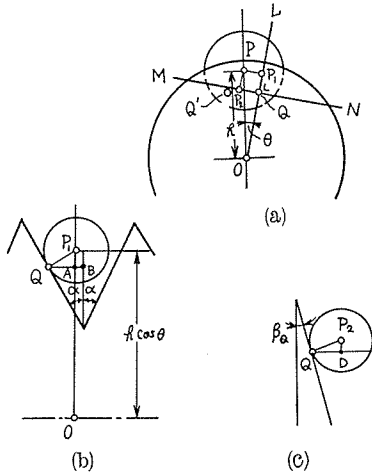
Table 1 Nomenclature

m_a	: Axial module
m_s	: Transverse module
p	: Pitch ($=\pi m_a$)
n	: Number of starts of the screw thread
l	: Lead of the screw thread ($=np$)
α	: Axial pressure angle (at pitch point)
α_n	: Normal pressure angle (at pitch point)
α_{so}	: Transverse pressure angle (at pitch point)
α_{st}	: Transverse pressure angle (at center point of the ball)
d_{co}	: Nominal pitch diameter of the screw thread ($=2r_{co}$)
d_c	: Pitch diameter of the screw thread
d_g	: Diameter of the base cylinder of the worm
c	: Radius of the wire
c_o	: Best wire radius
$c_o^I, c_o^{II}, c_o^{III}$: Approximate radius of the best wire
c_{min}	: Smallest wire radius
h	: Shortest distance from worm axis to wire axis
M	: Measurement over wires
θ	: Positioning angle
β_{co}	: Lead angle on the nominal pitch cylinder
β_g	: Lead angle on the base cylinder
β_Q	: Lead angle at the point of contact between screw surface and wire
S_a	: Axial tooth thickness of the worm on the pitch cylinder
δ_a	: Increase of axial tooth thickness in one side of the worm
δ_s	: Increase of transverse tooth thickness in one side of the worm in the direction normal to tooth profiles in the plane of rotation
x_n	: Addendum modification coefficient (in tooth normal section)
x_s	: Addendum modification coefficient (in plane of rotation)
Z_v	: Virtual number of teeth in the worm

2 1形ウォーム（三角ねじ）の最適針径（ $2c_o$ ）

1形ウォームは軸平面上の歯形が台形で、いわゆる三角ねじであり、軸平面上の圧力角 α は 20° 、歯末のたけは軸方向モジュール m_a に等しく、歯元のたけは $1.2m_a$ 、軸断面における基準ピッチ円上の歯厚 s_a を $\frac{1}{2}\pi m_a$ と規定している。さて針をねじみぞに挿入すると、針はねじ軸に直角な方向からある角度傾いて静力学的に安定な位置に達し、針はね

じ面と立体的な接触し、その接触点はねじの軸断面内には存在しない。G. A. Tominson は三角ねじの三針法において、針の代りに同じ直径の球に置きかえても幾何学的関係は全く同じであるとして、三角ねじと球との接触状態として図1を与えている¹⁾。この場合、図1



(a) は球が左右のねじ面とそれぞれ Q, Q' なる点で接触している状態をねじ軸方向から見た図であり、図1(b)は図1(a)の OL なる軸断面を示し、図1(c)は OL に直角でねじ軸に平行な MN 断面を示している。いま基準有効径の所でねじ面に接触する針金の直径を求める。図1(b)において、ねじ面と針との接触点 Q の半径が基準ピッチ円半径 $r_{co} (= \frac{1}{2} d_{co})$ であるとし、そのような針径を $2c_o$ とすると

$$r_{co} = \overline{OP_1} - \overline{P_1A} \text{ より次式を得る.}$$

$$r_{co} = h \cos \theta - \sqrt{c_o^2 - h^2 \sin^2 \theta} \sin \alpha. \quad (1)$$

$$\text{また } \overline{QA} + \overline{AB} = \frac{1}{4} p \text{ より}$$

$$\sqrt{c_o^2 - h^2 \sin^2 \theta} \cos \alpha + \frac{l}{2\pi} \theta = \frac{1}{4} p. \quad (2)$$

Fig.1 Contact of the triangular screw thread surface and the sphere

この場合図1(c)の β_α はねじの基準ピッチ円の進み角 β_{co} に等しくなるから、次式が成立する。

$$\tan \beta_{co} = \frac{l}{2\pi r_{co}} = \frac{\overline{P_2D}}{\overline{QD}} = \frac{\overline{PP_1}}{\overline{QA}} = \frac{h \sin \theta}{\sqrt{c_o^2 - h^2 \sin^2 \theta} \cos \alpha}. \quad (3)$$

いま $\sqrt{c_o^2 - h^2 \sin^2 \theta} = b$ とおくと

$$\text{式(1)より} \quad h = \frac{r_{co} + b \sin \alpha}{\cos \theta} \quad (4)$$

$$\text{式(3)より} \quad h = \frac{l b \cos \alpha}{2\pi r_{co} \sin \theta}. \quad (5)$$

これより次式を得る。

$$\tan \theta = \frac{2lb \cos \alpha}{\pi d_{co} (d_{co} + 2b \sin \alpha)}. \quad (6)$$

$$\text{また式(2)より} \quad \theta = \frac{\pi}{2n} - \frac{2\pi b \cos \alpha}{l}. \quad (7)$$

式(6)と(7)より θ を消去して次式を得る。

$$\tan\left(\frac{\pi}{2n} - \frac{2\pi b \cos \alpha}{l}\right) - \frac{2lb \cos \alpha}{\pi d_{co}(d_{co} + 2b \sin \alpha)} = 0. \quad (8)$$

まずはじめに、式(8)を満足する b を試行法により求め、この b を式(7)に代入して θ を求め、その b と θ を式(4)に代入して h を求め、その b 、 θ 、 h を次式に代入して $2c_0$ を求めることができる。

$$2c_0 = 2\sqrt{b^2 + h^2 \sin^2 \theta}. \quad (9)$$

試行法を用いないで $2c_0$ の近似値 $2c_0'$ を求めるには、三角ねじを軸方向モジュール m_a 、軸断面圧力角 α 、基準ピッチ円における進み角 β_{co} なるはずば歯車と考え、このはずば歯車の仮想平歯車の基準ピッチ円で接触するピンの針径を求めるための次式を用いればよい。

$$2c_0' \doteq m_a \cos \beta_{co} z_v \left\{ \cos \alpha_n \tan \left(\alpha_n + \frac{90^\circ}{z_v} \right) - \sin \alpha_n \right\}. \quad (10)$$

ただし

$$z_v = \frac{n}{\sin^3 \beta_{co}}, \quad (11)$$

$$\tan \beta_{co} = \frac{l}{\pi d_{co}} = \frac{nm_a}{d_{co}}, \quad (12)$$

$$\tan \alpha_n = \tan \alpha \cdot \cos \beta_{co}. \quad (13)$$

これらの式は計算が非常に容易で、しかも後述の数値例から明らかのように理論的最適針径 $2c_0$ に比して、その針径差は微小である。つぎに別の方法により別の近似最適針径の式を求めてみる。Tomlinson は図1を用いて次式を導いている²⁾。

$$\frac{l}{2\pi} \cos \alpha \sqrt{c^2 - h^2 \sin^2 \theta} - h \sin \theta (h \cos \theta - \sin \alpha \sqrt{c^2 - h^2 \sin^2 \theta}) = 0, \quad (14)$$

$$d_c = 2h \cos \theta - \frac{2}{\sin \alpha} \sqrt{c^2 - h^2 \sin^2 \theta} - \frac{l}{\pi} \theta \cot \alpha + \frac{l}{2n} \cot \alpha. \quad (15)$$

ただし d_c はねじのみぞ幅が規定のピッチの $\frac{1}{2}$ であるような仮想的な円筒の直径（いわゆる有効径）である。そしてオーバピン寸法 M は次式から得られる。

$$M = 2(h + c). \quad (16)$$

式(14)と(15)から θ を消去して、 d_c を h の関数として表わせれば、1形ウォーム三針法計算式が得られるわけであるが実際には θ を消去することができない。しかるに式(14)において θ は微小値であるから、式(14)から θ の第1近似として次式を得る。

$$\theta \doteq \frac{lc \cos \alpha}{2\pi h^2 \left(1 - \frac{c}{h} \sin \alpha\right)}. \quad (17)$$

また式(16)から次式を得る.

$$d_c \doteq 2h - \frac{2c}{\sin \alpha} + \frac{l}{2n} \cot \alpha - \frac{l}{\pi} \theta \cot \alpha + h \left(\frac{h}{c \sin \alpha} - 1 \right) \theta^2 + \dots. \quad (18)$$

そこで式(18)中の θ に式(17)の θ を代入すると

$$d_c \doteq 2h - \frac{2c}{\sin \alpha} + \frac{l}{2n} \cot \alpha - \frac{c \cot \alpha \cos \alpha}{\left(1 - \frac{c}{h} \sin \alpha\right)} \left(\frac{l}{2\pi h} \right)^2 + \dots. \quad (19)$$

この式は進み角の小さいねじの三針法計算式として用い得る式であるが d_c を α で微分すると

$$\frac{d d_c}{d \alpha} \doteq 2c \frac{\cos \alpha}{\sin^2 \alpha} - \frac{l}{2n} \frac{1}{\sin^2 \alpha} + c \cos \alpha \left(1 + \frac{1}{\sin^2 \alpha} \right) \left(\frac{l}{2\pi h} \right)^2 + \dots.$$

$\frac{d d_c}{d \alpha} = 0$ として得られる $2c$ は近似最適針径 $2c_0''$ であり

$$\begin{aligned} 2c_0'' &\doteq \frac{l}{2n} \sec \alpha \left\{ 1 - \frac{1}{2} (1 + \sin^2 \alpha) \left(\frac{l}{2\pi h} \right)^2 \right\} \\ &\doteq \frac{1}{2} \pi m_a \sec \alpha \left\{ 1 - \frac{1}{2} (1 + \sin^2 \alpha) \left(\frac{m_a n}{d_{co}} \right)^2 \right\}. \end{aligned} \quad (20)$$

また $2c_0''' \doteq \frac{1}{2} \frac{l}{n} \sec \alpha = \frac{1}{2} \pi m_a \sec \alpha. \quad (21)$

式(20)の $2c_0''$ はねじの軸断面において有効径の所でねじフランクに接触する円の直径であり、針金がねじ軸に直角に挿入されたと考えた場合の最適針径であり、締付用ねじの最適針径として用いられている。進み角の大きい1形ウォームのときは、これら $2c_0''$ や $2c_0'''$ は理論的最適針径 $2c_0$ に比して針径差が大きくて使用できないことが、あとの数値例で明らかにされる。

3 1形ウォームで三針の頂がねじ山頂すれすれになる最小針径 ($2c_{min}$)

規格有効径 d_{co} の1形ウォームにおいて、ねじみぞに挿入された針の頂がねじ山頂すれすれになる針径を $2c_{min}$ とすれば、使用針径は $2c_{min}$ より太くなければならない。いま $2c_{min}$ を求めるには、1形ウォームは歯末のたけが軸方向モジュール m_a に等しいことから、式(14)と(15)において $h = \frac{1}{2} d_{co} + m_a - c$, $d_c = d_{co}$ とおいて次式を得る。

$$\frac{1}{2} m_a n \cos \alpha \sqrt{c^2 - \left(\frac{d_{co}}{2} + m_a - c\right)^2 \sin^2 \theta} - \left(\frac{d_{co}}{2} + m_a - c\right) \sin \theta \\ \times \left\{ \left(\frac{d_{co}}{2} + m_a - c\right) \cos \theta - \sin \alpha \sqrt{c^2 - \left(\frac{d_{co}}{2} + m_a - c\right)^2 \sin^2 \theta} \right\} = 0, \quad (22)$$

$$d_{co} - (d_{co} + 2m_a - 2c) \cos \theta + \frac{2}{\sin \alpha} \sqrt{c^2 - \left(\frac{d_{co}}{2} + m_a - c\right)^2 \sin^2 \theta} \\ + m_a n \theta \cot \alpha - \frac{\pi}{2} m_a \cot \alpha = 0. \quad (23)$$

式(22)と(23)を連立して満足する c と θ を試行法により求めれば、得られた c が c_{min} である。この計算はかなり厄介である。

4 4形ウォーム（インボリュートねじ）の最適針径（ $2c_0$ ）

4形ウォームは軸直角平面上の歯形がインボリュート曲線で、いわゆるインボリュートねじであり、基準ピッチ円直径 d_{co} での歯直角圧力角 α_n は 20° で、基準ピッチ円直径での進み角を β_{co} とすると、歯末のたけは m_a 、歯元のたけは $(2.2 \cos \beta_{co} - 1) m_a$ と定められている。そして基準ピッチ円直径 d_{co} における軸平面上の歯厚 S_a は $\frac{1}{2} \pi m_a$ よりも $2\delta_a$ だけ厚く規定されている。

$$\text{ただし} \quad \delta_a = m_a \tan \alpha_n (1 - \cos \beta_{co}) \sec \beta_{co}. \quad (24)$$

なおインボリュートねじのピッチ円における軸直角圧力角 α_{so} 、基礎円筒進み角 β_g 、基礎円筒直径 d_g および軸直角断面での片面の歯形垂直歯厚増加量 δ_s はそれぞれ次式から求められる。

$$\tan \alpha_{so} = \tan \alpha_n \operatorname{cosec} \beta_{co}, \quad (25)$$

$$\cos \beta_g = \cos \alpha_n \cos \beta_{co}, \quad (26)$$

$$\tan \beta_g = \tan \beta_{co} \sec \alpha_{so}, \quad (27)$$

$$\sin \beta_g = \cos \alpha_n \sin \beta_{co} \sec \alpha_{so}, \quad (28)$$

$$d_g = d_{co} \cos \alpha_{so}, \quad (29)$$

$$\delta_s = \delta_a \cot \beta_g. \quad (30)$$

さて4形ウォームの三針測定の場合も、針の代りに同じ直径の球に置きかえても幾何学的には同じであり、このとき球の中心点を通る軸直角断面において、球の中心点の占める位置は、丁度軸直角断面のインボリュート歯形に、半径 $c/\sin \beta_g$ なる円が接したときの円の中心に一致することが W. Vogel により明らかにされている³⁾。このことより、図2

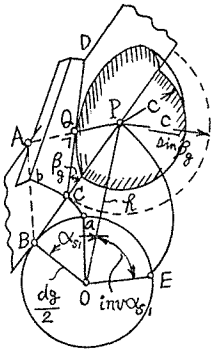


Fig. 2 Contact of the involute worm thread screw surface and the sphere

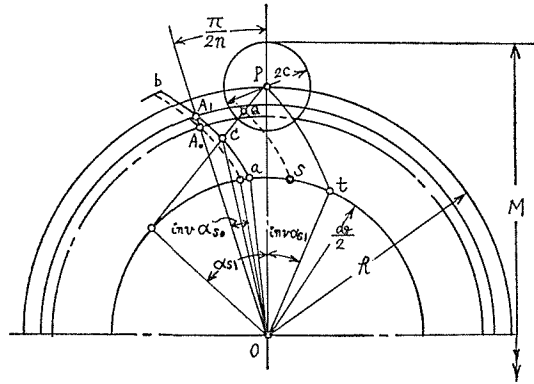


Fig. 3 Measurement of pitch diameters of involute worm thread screws by the three-wire method

が得られる⁴⁾。いま球の中心点 P とウォームの中心 O との距離を h とし、 P 点における軸直角圧力角を α_{s1} とすれば次式が成立する。

$$h = \frac{1}{2} d_g \sec \alpha_{s1}. \quad (31)$$

いまねじ面と球の接触点 Q, Q' がウォームのピッチ円上にあるような球の直径を求め、図 3 で

$\overline{PQ} = c \sin \beta_g = c \cos \alpha_n \sin \beta_{co} \sec \alpha_{so}$ 、 P 点を通る軸直角平面と Q 点との距離は $c \cos \beta_g = c \cos \alpha_n \cos \beta_{co}$ 、そして Q 点を通るインボリュート曲線と基礎円との交点を S とすれば $\angle soa = \frac{2\pi}{l} c \cos \alpha_n \cos \beta_{co}$ 。ただし $l = \pi m a n$ 。

したがって $\angle soa = \frac{2c \cos \alpha_n \cos \beta_{co}}{m a n}$ 。また P 点を通るインボリュート曲線と基礎円との交点を t とすれば

$$\angle tos = \frac{2ts}{d_g} = \frac{2\overline{PQ}}{d_g} = \frac{2c \cos \alpha_n \sin \beta_{co} \tan \beta_{co}}{m a n \cos^2 \alpha_{so}}.$$

図 3 において \overline{OP} に対して $\frac{\pi}{2n}$ (rad) なる角をなす半径を考え、この半径とウォームの軸直角断面歯形 ab との交点を A_1 とし、この半径とピッチ円との交点を A_0 とし、 A_0 を通る点線の軸直角歯形に対して、 A_1 点を通る実線の軸直角歯形は歯形垂直方向に測って δ_s だけ離れているから、

$$\angle POa = \frac{\pi}{2n} - \frac{2 \tan \alpha_n (1 - \cos \beta_{co})}{n \cos \beta_{co}} - \text{inv } \alpha_{so}.$$

図 3 で Q 点がピッチ円上にあるとすれば、

$$\angle QOa = \angle SOa - \text{inv } \alpha_{so},$$

$$\angle POQ = \angle POa - \angle QOa = \frac{\pi}{2n} - \frac{2 \tan \alpha_n (1 - \cos \beta_{co})}{n \cos \beta_{co}} - \frac{2c \cos \alpha_n \cos \beta_{co}}{m_a n}.$$

しかるときは $\tan \alpha_{s1} = \tan \alpha_{s0} + \angle tos$, $\alpha_{s1} = \alpha_{s0} + \angle POQ$ より次式を得る.

$$\tan \alpha_{s1} = \tan \alpha_{s0} + \frac{2c \cos \alpha_n \sin \beta_{co} \tan \beta_{co}}{m_a n \cos^2 \alpha_{s0}}, \quad (32)$$

$$\alpha_{s1} = \alpha_{s0} + \frac{\pi}{2n} - \frac{2 \tan \alpha_n (1 - \cos \beta_{co})}{n \cos \beta_{co}} - \frac{2c \cos \alpha_n \cos \beta_{co}}{m_a n}. \quad (33)$$

この2式から α_{s1} を消去すれば

$$\tan \alpha_{s0} + \frac{2c \cos \alpha_n \sin \beta_{co} \tan \beta_{co}}{m_a n \cos^2 \alpha_{s0}} - \tan \left\{ \alpha_{s0} + \frac{\pi}{2n} - \frac{2 \tan \alpha_n (1 - \cos \beta_{co})}{n \cos \beta_{co}} - \frac{2c \cos \alpha_n \cos \beta_{co}}{m_a n} \right\} = 0. \quad (34)$$

この式を満足する $2c$ を試行法により求めれば $2c_0$ が得られる. 近似的には仮想歯数 z_v , 歯直角転位係数 x_n の仮想平歯車のピッチ円の所で接触するピンの直径として次式から近似的最適針径 $2c_0'$ を求めることができる.

$$2c_0' = m_a \cos \beta_{co} z_v \left\{ \cos \alpha_n \tan \left(\alpha_n + \frac{90^\circ}{z_v} - \frac{2x_n \tan \alpha_n}{z_v} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \right) - \sin \alpha_n \right\}. \quad (35)$$

ただし, z_v は式(11)から計算される. この場合ウォームの軸方向歯厚増加量 $2\delta_a$ が軸直角転位係数 x_s に対応するものとすれば, $m_s x_s \tan \alpha_{s0} = \delta_a \cot \beta_{co}$ が成立するから, これに $m_s = m_a \cot \beta_{co}$, $x_s = x_n \sin \beta_{co}$ および式(24)と(25)を用いて次式を得る.

$$x_n = \frac{1 - \cos \beta_{co}}{\cos \beta_{co}}. \quad (36)$$

すなわち, 式(11)の z_v と式(36)の x_n を式(35)に代入して, 近似的最適針径 $2c_0'$ を求めることができる. この $2c_0'$ は理論的最適針径 $2c_0$ に比して, その針径差は微小である.

5 4形ウォームで三針の頂がねじ山頂すれすれになる最小針径 ($2c_{\min}$)

図2と図3より次式を得る.

$$\text{inv } \alpha_{s1} = \frac{2c}{d_g \sin \beta_g} - \frac{\pi}{2n} + \text{inv } \alpha_{s0} + \frac{2\delta_s}{d_g}.$$

この式に式(12), (24), (28), (29), (30)を用いて次式を得る.

$$\text{inv } \alpha_{s1} = \frac{2c}{m_a n \cos \alpha_n \cos \beta_{co}} - \frac{\pi}{2n} + \text{inv } \alpha_{s0} + \frac{2 \tan \alpha_n (1 - \cos \beta_{co})}{n \cos \beta_{co}}. \quad (37)$$

最小針径 $2c_{min}$ を求めるには

$$h = \frac{1}{2} d_{co} + m_a - c, \quad \cos \alpha_{s1} = \frac{d_{co}}{2h} \cos \alpha_{s0} \quad \text{なる 2 式から } h \text{ を消去して次式を得る.}$$

$$2c = d_{co} \left(1 - \frac{\cos \alpha_{s0}}{\cos \alpha_{s1}} \right) + 2m_a. \quad (38)$$

この式を式(37)に代入して次式を得る.

$$\begin{aligned} \operatorname{inv} \alpha_{s1} - \frac{\left(1 - \frac{\cos \alpha_{s0}}{\cos \alpha_{s1}} \right) + \frac{2 \tan \beta_{co}}{n}}{\cos \alpha_n \sin \beta_{co}} + \frac{\pi}{2n} - \operatorname{inv} \alpha_{s0} \\ - \frac{2 \tan \alpha_n (1 - \cos \beta_{co})}{n \cos \beta_{co}} = 0. \end{aligned} \quad (39)$$

まず式(39)を満足する α_{s1} を試行法により求め、その α_{s1} を式(38)に代入して $2c$ を求めれば、これが最小針径 $2c_{min}$ である。

6 数 値 例

JIS B 1723—1977 で規定されている 1 形ウォームの $m_a=10$ について理論的最適針径 $2c_0$ 、近似的最適針径 $2c_0'$ 、 $2c_0''$ 、 $2c_0'''$ を計算して表 2 を得た。この場合 $2c_0$ は式(4)、(7)、(8)、(9)により試行法により、また $2c_0'$ は式(10)、(11)、(12)、(13)により、 $2c_0''$ は式(20)により、 $2c_0'''$ は式(21)により計算する。

Table 2 Theoretical best wire diameter, approximate best wire diameter and the difference between both wire diameters used for measurement of pitch diameters of Archimedean worm thread screws ($m_a=10$)

m_a	d_{co}	n	$2c_0$	$2c_0'$	$\Delta 2c(\mu m)$	$2c_0''$	$\Delta 2c(\mu m)$	$2c_0'''$	$\Delta 2c(\mu m)$
10	90.000	1	16.6140	16.6147	+ 0.7	16.6008	- 13.2	16.7161	+ 102.1
		2	16.3173	16.3199	+ 2.6	16.2551	- 62.2		+ 398.8
		3	15.8526	15.8573	+ 4.7	15.6788	- 173.8		+ 863.5
		4	15.2581	15.2643	+ 6.2	14.8720	- 386.1		+ 1458.0

この表より、 $2c_0''$ 、 $2c_0'''$ は誤差が大きすぎて使用できないことがわかる。 $2c_0'$ は $2c_0$ との差が微小であり計算も容易であり、 $2c_0'$ を推奨する。

表 3 は 1 形ウォームの最適針径と最小針径の針径表を示す。この場合 $2c_{min}$ は式(22)、(23)より連立試行法により計算する。ウォームの外径が正しく規定の外径寸法であるときは、 m_a が 20 と 25 で 4 条のときは、 $2c_0 (2c_0') < 2c_{min}$ となるから、 $2c_0 (2c_0')$ より少し太い針径のものをを用いなければならない。つぎに 4 形ウォーム (インボリュートねじ) の理論的最適針径 $2c_0$ 、近似最適針径 $2c_0'$ および最小針径 $2c_{min}$ の針径表を表 4 に示す。この場合

Table 3 Best wire diameters and smallest wire diameters used for measurement of pitch diameters of Archimedean worm thread screws

m_a	d_{c_0}	n	$2c_0$ (mm)	$2c_0'$ (mm)	$\Delta 2c$ (μ)	$2c_{min}$ (mm)
1.00	16.0	1	1.6682	1.6682	0	1.6076
		2	1.6581	1.6581	0	1.6015
		3	1.6416	1.6416	0	1.5916
		4	1.6192	1.6193	0.1	1.5782
1.25	18.0	1	2.0843	2.0843	0	2.0089
		2	2.0688	2.0689	0.1	1.9996
		3	2.0437	2.0439	0.2	1.9845
		4	2.0100	2.0102	0.2	1.9640
1.60	22.4	1	2.6675	2.6675	0	2.5711
		2	2.6466	2.6467	0.1	2.5586
		3	2.6128	2.6130	0.2	2.5381
		4	2.5674	2.5677	0.3	2.5106
2.00	25.0	1	3.3322	3.3323	0.1	3.2126
		2	3.2999	3.3001	0.2	3.1930
		3	3.2479	3.2482	0.3	3.1614
		4	3.1787	3.1792	0.5	3.1192
2.50	31.5	1	4.1655	4.1656	0.1	4.0158
		2	4.1257	4.1259	0.2	3.9917
		3	4.0616	4.0620	0.4	3.9529
		4	3.9763	3.9769	0.6	3.9008
3.15	35.5	1	5.2445	5.2446	0.1	5.0574
		2	5.1827	5.1831	0.4	5.0198
		3	5.0840	5.0847	0.7	4.9595
		4	4.9540	4.9550	1.0	4.8797
4.00	45.0	1	6.6596	6.6597	0.1	6.4220
		2	6.5809	6.5814	0.5	6.3741
		3	6.4551	6.4560	0.9	6.2973
		4	6.2896	6.2909	1.3	6.1957
5.00	56.0	1	8.3242	8.3244	0.2	8.0274
		2	8.2250	8.2256	0.6	7.9669
		3	8.0666	8.0677	1.1	7.8701
		4	7.8581	7.8597	1.6	7.7422
6.30	63.0	1	10.4784	10.4787	0.3	10.1080
		2	10.3242	10.3253	1.1	10.0133
		3	10.0802	10.0823	2.1	9.8633
		4	9.7635	9.7664	2.9	9.6679
8.00	80.0	1	13.3058	13.3062	0.4	12.8356
		2	13.1101	13.1115	1.4	12.7153
		3	12.8003	12.8030	2.7	12.5248
		4	12.3981	12.4018	3.7	12.2767
10.00	90.0	1	16.6140	16.6147	0.7	16.0327
		2	16.3173	16.3199	2.6	15.8491
		3	15.8526	15.8573	4.7	15.5617
		4	15.2581	15.2643	6.2	15.1934
12.50	112.0	1	20.7664	20.7673	0.9	20.0401
		2	20.3925	20.3958	3.3	19.8087
		3	19.8073	19.8132	5.9	19.4467
		4	19.0590	19.0668	7.8	18.9830
16.00	140.0	1	26.5735	26.5748	1.3	25.6465
		2	26.0739	26.0785	4.6	25.3367
		3	25.2939	25.3022	8.3	24.8537
		4	24.3002	24.3109	10.7	24.2374
20.00	160.0	1	33.1778	33.1801	2.3	32.0326
		2	32.4440	32.4519	7.9	31.5746
		3	31.3107	31.3243	13.6	30.8699
		4	29.8881	29.9050	16.9	29.9855
25.00	200.0	1	41.4722	41.4751	2.9	40.0407
		2	40.5550	40.5649	9.9	39.4683
		3	39.1383	39.1553	17.0	38.5874
		4	37.3601	37.3812	21.1	37.4819

Table 4 Best wire diameters and smallest wire diameters used for measurement of pitch diameters of involute worm thread screws

m_a	d_{co}	n	$2c_o$ (mm)	$2c_o'$ (mm)	$\Delta 2c$ (μ)	$2c_{min}$ (mm)
1.00	16.0	1	1.6671	1.6671	0	1.6065
		2	1.6536	1.6536	0	1.5973
		3	1.6316	1.6316	0	1.5824
		4	1.6017	1.6018	0.1	1.5622
1.25	18.0	1	2.0825	2.0826	0.1	2.0072
		2	2.0619	2.0620	0.1	1.9931
		3	2.0284	2.0285	0.1	1.9703
		4	1.9831	1.9833	0.2	1.9397
1.60	22.4	1	2.6652	2.6652	0	2.5689
		2	2.6373	2.6374	0.1	2.5498
		3	2.5920	2.5922	0.2	2.5190
		4	2.5311	2.5314	0.3	2.4779
2.00	25.0	1	3.3286	3.3286	0	3.2091
		2	3.2853	3.2855	0.2	3.1794
		3	3.2155	3.2159	0.4	3.1318
		4	3.1224	3.1229	0.5	3.0690
2.50	31.5	1	4.1610	4.1610	0	4.0115
		2	4.1077	4.1079	0.2	3.9750
		3	4.0218	4.0222	0.4	3.9164
		4	3.9070	3.9076	0.6	3.8390
3.15	35.5	1	5.2374	5.2375	0.1	5.0507
		2	5.1545	5.1548	0.3	4.9936
		3	5.0217	5.0224	0.7	4.9029
		4	4.8462	4.8472	1.0	4.7848
4.00	45.0	1	6.6505	6.6506	0.1	6.4135
		2	6.5449	6.5454	0.5	6.3407
		3	6.3757	6.3766	0.9	6.2253
		4	6.1522	6.1535	1.3	6.0748
5.00	56.0	1	8.3127	8.3129	0.2	8.0166
		2	8.1796	8.1802	0.6	7.9248
		3	7.9665	7.9676	1.1	7.7793
		4	7.6849	7.6866	1.7	7.5898
6.30	63.0	1	10.4602	10.4605	0.3	10.0910
		2	10.2527	10.2539	1.2	9.9475
		3	9.9235	9.9256	2.1	9.7227
		4	9.4941	9.4971	3.0	9.4349
8.00	80.0	1	13.2828	13.2832	0.4	12.8140
		2	13.0193	13.0208	1.5	12.6317
		3	12.6012	12.6040	2.8	12.3462
		4	12.0560	12.0598	3.8	11.9809
10.00	90.0	1	16.5784	16.5792	0.8	15.9995
		2	16.1779	16.1806	2.7	15.7214
		3	15.5486	15.5535	4.9	15.2922
		4	14.7393	14.7458	6.5	14.7535
12.50	112.0	1	20.7216	20.7226	1.0	19.9983
		2	20.2168	20.2202	3.4	19.6477
		3	19.4240	19.4302	6.2	19.1071
		4	18.4052	18.4134	8.2	18.4292
16.00	140.0	1	26.5134	26.5147	1.3	25.5904
		2	25.8384	25.8431	4.7	25.1213
		3	24.7809	24.7894	8.5	24.4005
		4	23.4266	23.4378	11.2	23.5011
20.00	160.0	1	33.0880	33.0904	2.4	31.9490
		2	32.0936	32.1017	8.1	31.2561
		3	30.5520	30.5661	14.1	30.2080
		4	28.6056	28.6234	17.8	28.9270
25.00	200.0	1	41.3600	41.3630	3.0	39.9362
		2	40.1170	40.1271	10.1	39.0702
		3	38.1901	38.2077	17.6	37.7600
		4	35.7570	35.7792	22.2	36.1588

$2c_o$ は式(12), (25), (34)から試行法により求め, $2c_o'$ は式(11), (12), (35), (36)から求め, $2c_{min}$ は式(12), (25), (38), (39)より試行法により求める. この場合も $2c_o$ と $2c_o'$ の差は微小であり, 計算容易な $2c_o'$ を推奨する. なおねじの外径が正しく規定の外径寸法であるときは, m_a が10, 12.5, 16, 20, 25で4条のときは $2c_o(2c_o') < 2c_{min}$ となるから, $2c_o(2c_o')$ より少し太い針径のものをを用いなければならない.

7 結 言

1形ウォーム(三角ねじ)と4形ウォーム(インボリュートねじ)のように進み角の大きいウォームの三針法による有効径測定に使用する最適針径を計算するための理論式と近似計算式を導き, さらに三針の頂きがねじ山頂すれすれになる最小針径の計算式を導き, これら諸式を用いて針径表を作成した.

文 献

- 1) G.A. Tomlinson: Correction for Rake in Screw-Thread Measurement, Proc. Inst. Mech. Engrs. December (1927) 1031.
- 2) 文献 1) に同じ.
- 3) W. Vogel: Neuartige Kopfkreisfreie Zahndicken-Messungen für Schrägzahnräder und Evolventen-Schnecken, Werkzeugmaschine, 41, 11 (1937) 253.
- 4) 中田孝: 歯車の解析, 機械の研究, 4巻1号(昭27-1), 59.