

管端スピニング加工に関する研究 第3報

(ダイスに設けた溝の有意性について)

*岡村俊一・**田中秀穂・***中西賢二

(受理 昭和42年11月30日)

EXPERIMENTAL STUDY FOR TUBE END SPINNING (Report 3) INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF THE RELIEF AREA ON THE FACE OF SHAPING DIE

Shunichi OKAMURA*, Hideho TANAKA** and Kenji NAKANISHI***

The behavior of the relief area on the face of shaping die for the tube end spinning process was investigated by the method of using wire strain gauges attached on circumferential and radius directions. By the results, the stock was effected by the alternative compressive and tensile stress on circumferential and radius direction, also was so efficiently affected by the shape of the relief area. The cause of the fracture during spinning process was due to the strain-rate dependence of the relief area.

1. 緒言

筆者らのうち二名は、管の一端を絞る場合について、さきに、第一報¹⁾、第二報²⁾で、従来の加工法にくらべ、非常に能率的な、かつ、どのようにでも絞り比を高められる新しい加工法として管端スピニング加工法について紹介してきた。その中で、銅管の一端を円錐状に絞る場合について、種々の加工条件の下での加工性について検討を加えたが、同一加工条件の下では、その加工性に著しい影響を与えるものとして、ダイス内壁面に設けた溝の影響が大であり、今後、本加工法の解析の上に、この溝の加工中における作用を解明することが必要であると考えられるに至った。すなわち、最初、試料とダイス壁面との焼きつき防止の目的で設けた溝が、溝の形状、溝の数によつて加工状態が変つてくる。すなわち、加工条件によつては、加工部が正しい円錐状とならず、多角錐状に絞られたり、星形に絞られるような現象が出てくる。これは、単に、ダイスに設けたこの溝は、heat relief の役割だけでなく、加工材は、この溝の所で円周方向の繰り返し応力をうけ、かつ、溝内で連続的な繰り返したわみを生じながら加工されたものと考えられ、これらは、溝の数、溝の形状によつて、その変形様相が異なるものと考

えられる。

そこで、本報告では、加工中における加工材の溝部附近の変位の状態、加工材内部に生ずる応力変化を調べ、また、溝の形状、溝の数が加工性に与える影響について検討した結果を報告するものである。

2. 実験装置および実験方法

i) 実験に使用した機械は、旋盤(桐生機械KK製、LE型750, 120~3000 rpm, 5 HP)で、その刃物台を取りはずし、(図1)

ii) その上に、図2に示すような自製の動力計を取りつけ、動歪み計(新興通信製、DS6-RJ型)にて、試料の送り方向のスラスト、トルクを測定し、それを直記式電磁オツシログラフ(横河電機製、EM062型)に記録させた。

iii) 温度の測定は、図2の中に示すように銅管試料の内壁面に、0.4 mmφのアルメルクロメル熱電対をバネで固定し、同一円周上の3点を同時に測定し、そ

表1 供試銅管

品 種	脱酸銅管1種硬質
寸 法	19.05φ×0.635×約48
成 分	Cu・99.94% P: 0.012%
引張強さ	41.6kg/mm ²
硬 度	92H _R (F)

* 鹿児島大学工学部機械工学教室 教授
** 同 上 講師
*** 同 上 助手

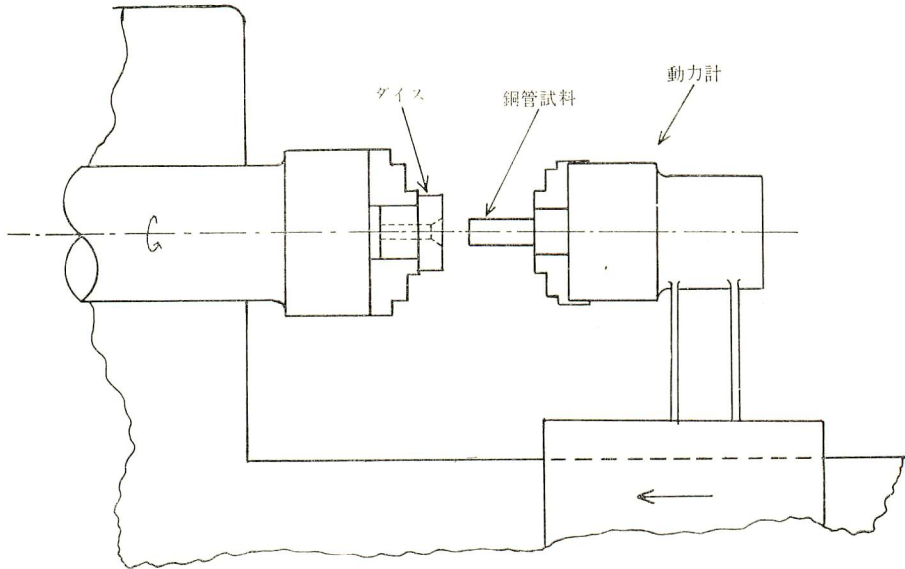


図 1 加工装置略図

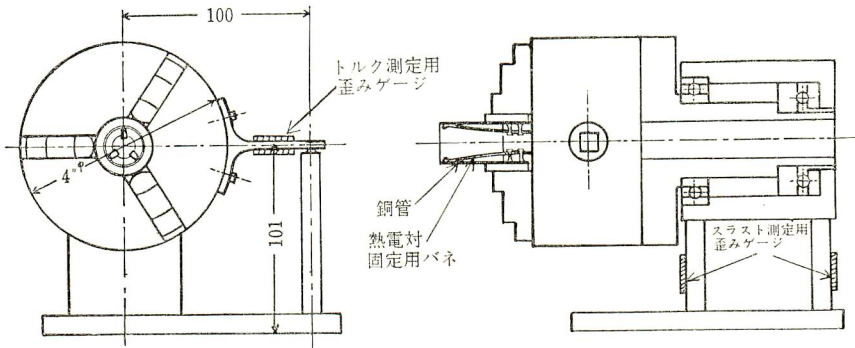


図 2 自製動力計

の最高温度を採用した。

iv) 試料として、用いた銅管は表1の通りのものでトリクレン洗滌を施し、脱脂してある。

3. 実験結果および考察

3-1 加工材内部の円周方向の応力変化、および半径方向の変位

i) 溝による交番応力

図3のごとく、あらかじめ、総加工量(19.05mmφの銅管を10mmφに絞る)の約30%に円錐形に絞った銅管試料の内壁面に、円周方向に沿って二箇所、対称に歪みゲージを貼布し、これを対称に配置された2個の溝(溝面積=ダイス内壁面積の50%)をもつダイ

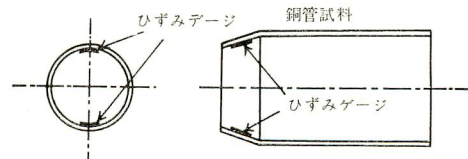


図 3 ひずみゲージ貼布部

スに軽く押しつけ、ゆつくりと回転させ、弾性的変形を起させたとき、1回転中に生ずる加工材内部の円周方向の応力変化を調べたのが図4である。

これから加工材は、溝つきダイスの回転により、溝数に対応した、圧縮と引張りの交番応力をうけながら加工されるものと考えられる。図中、I、IIIの期間は、溝部における加工材の応力変化で、これから、加工材

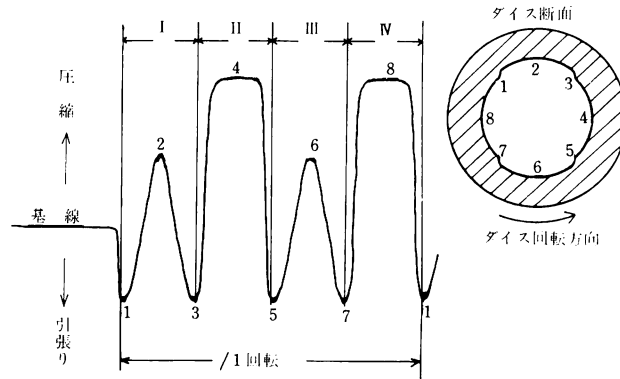


図4 加工機内部の応力変化（円周方向）

は、図5に示されるような変位をうけながら加工されるものと考えられる。

ii) 溝内における加工材の変形様相におよぼす溝形状の影響

溝の形状が加工性におよぼす影響を調べるために、図6に示すように、溝の形をA型（対称であるが溝端部が鋭利にしてある）、B型（非対称で、溝端部を片方は鋭利にし、片方は丸味をつけてある）、C型（対称にし、溝両端部とも丸味をつけてある）、の3種類に工作し、その各々の溝をもつダイスで i) と同じように、銅管試料を軽く押しつけ、実際に機械を回転して弾性的変形を起させたときの応力変化を調べた一例を図7に示す。また、それぞれの図の下に、これらの応力変化より推定される、溝内における加工材の変化を示すが、溝の形によりその変位の形が異なる。すなわ

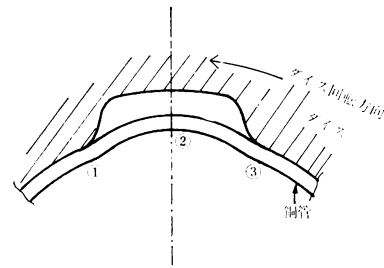


図5 加工材の溝部での変位

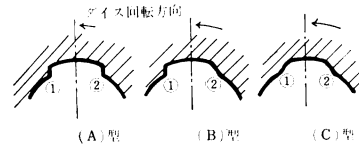


図6 溝形状

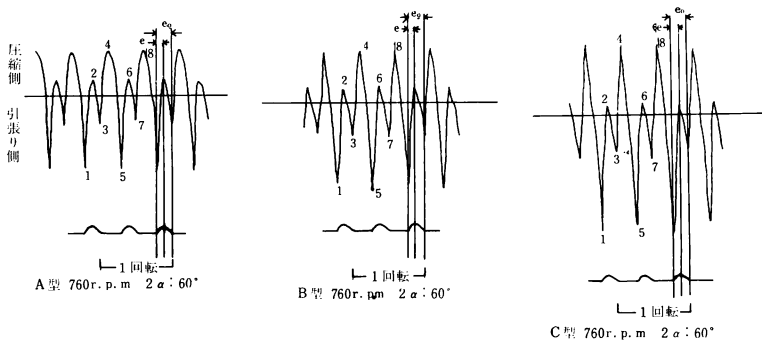


図7 加工材内部の応力変化（円周方向）と溝での変位

ち、A型、C型の溝のダイスでは、変位の頂点の位置が $e/e_0 \approx 0.43$ 、B型の溝のダイスでは、 $e/e_0 \approx 0.33$ となり、溝端部が非対称なB型溝のダイスでは、溝内における変位の頂点は、溝中心より①のほうえ片寄つ

た形の変形をなす。この変位の頂点のずれは、加工材が塑性域内に入ると更に大きくなるものと考えられ、この為、加工材は、実際の加工の場合には、溝内で屈曲され、あとで述べるように（図10）正しい円錐状と

ならず、多角錐状に絞られるものと考えられる。
 つぎに、実際に加工するとき、果してこのような(図5に示されるような変形)変形をうけながら加工されるものかを調べるため、図8に示されるような装置で、半径方向の加工材の変位を、実際に加工材を、加工したときに調べたのが図9である。これからも、加工材は半径方向に、ダイスの溝数に対応した、くり返し変位をうけながら加工されることがわかる。

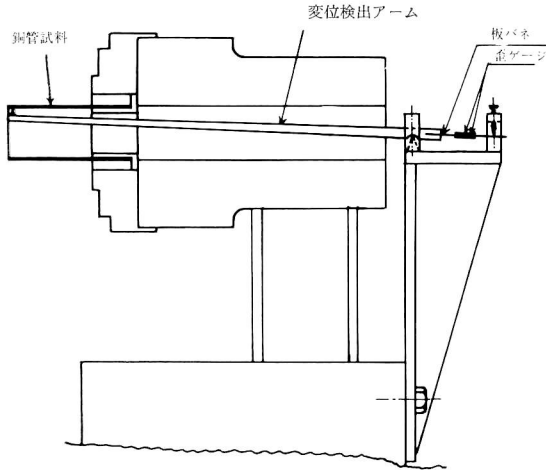


図8 半径方向変位測定装置

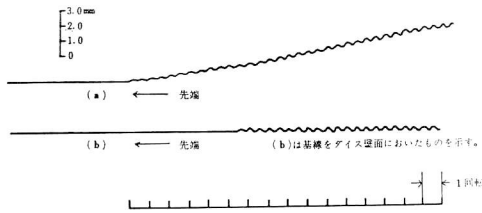


図9 加工材の半径方向の変位

表2は、A型、B型、C型の溝のダイスで、実際に表中に示す、それぞれの条件で加工したときの製品の良否をまとめたものである。A型の溝のダイスによる製品は、バリが多く、溝端部②(図6参照)の箇所では削られた跡があり、一般に加工部表面が荒れてきたない。B型の溝のダイスによる製品は、図10に示すように正しい円錐状とならず多角錐状を呈し、製品として使えない。これは、前述のごとく、B型溝では、加工

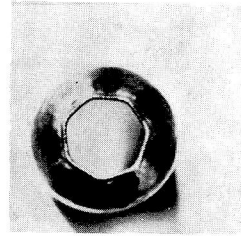


図 10

材の溝内における変位の頂点のずれが、A型、C型の溝の場合にくらべ大きく、これが実際に加工される場合、材料が塑性域に入ると、更にこの変位の頂点のずれは大きくなり、材料は、溝内で座屈を生ずる可能性が大きいためと考えられる。

C型溝のダイスによる製品は、いずれの条件のときでも良好な製品が得られる。したがって、本加工法においては、溝の形状はC型でなければならないことがわかる。

3-2 溝数が加工性におよぼす影響

本加工法においては、溝の数も加工状態、製品の良否に大きな影響をもたらすので、溝数2個と4個のダイス(溝面積比50%で一定)を用いて、その加工性を

表2 溝の形状による製品の良否

ダイス 回転数 (r.p.m.) 送り mm/rev	1220			1930			3000		
	0.1	0.23	0.5	0.1	0.23	0.5	0.1	0.23	0.5
溝形状									
A 型	※	○	○	※	※	○	○	○	○
B 型	×	×	×	×	×	×	×	×	×
C 型	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎

- ◎ 製品として良好
- バリが多いが製品としては使える
- × 正しい円錐状とならず多角錐状に絞られ製品として不適
- ※ 加工表面がある

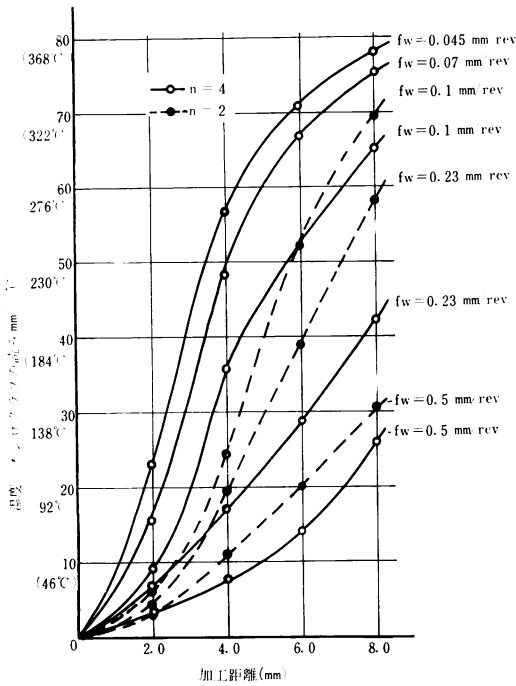


図11 加工中の温度変化

検討した。図11は、加工進行中の温度変化を示したもので、いずれも加工進行につれ温度は上昇し、同じ溝数であれば、送りの大きいほど、温度は低い。また、溝数4個のダイスによるほうが溝数2個の場合にくらべて低い。

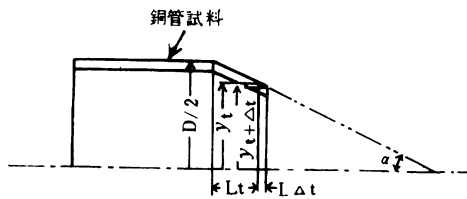


図 12

つぎに、加工中の歪み速度の変化を知るために、加工開始後 t 秒後の加工材先端の半径を y_t 、これより Δt 秒経過したときの加工材先端の半径を $y_{t+\Delta t}$ とすると(図12)、加工開始後 t 秒における歪み速度 ϵ_t は

$$\epsilon_t = \frac{2\pi y_t - 2\pi y_{t+\Delta t}}{2\pi y_t} \Big/ \Delta t \dots\dots\dots(1)$$

ここで

$$y_t = D/2 - L_t \cdot \tan\alpha \quad D: \text{加工前の管径 (mm)}$$

$$y_{t+\Delta t} = y_t - L_{\Delta t} \cdot \tan\alpha \quad \alpha: \text{ダイス半角}$$

いま L_t : t 秒後の加工距離 (mm)

$$L_t = f_w \cdot N \cdot \frac{1}{60} \cdot t$$

$L_{\Delta t}$: Δt 秒間の加工距離 (mm)

$$L_{\Delta t} = f_w \cdot N \cdot \frac{1}{60} \cdot \Delta t$$

f_w : 送り速度 (mm/rev)

とおけば (1) 式は、 N : ダイス回転数(rpm)

$$\epsilon_t = \frac{f_w \cdot N \cdot \frac{1}{60} \cdot \tan\alpha}{D/2 - f_w \cdot N \cdot \frac{1}{60} \cdot \tan\alpha \cdot t} \text{ (s}^{-1}\text{)} \quad (2)$$

で表すことが出来る。図13にダイス頂角 $2\alpha=60^\circ$ 、ダイス回転数 $N=3000$ rpm、試料の送り $f_w=0.1, 0.2, 0.5$ mm/rev のときについて、加工進行中の歪み速度の変化を示す。これからわかるように、送り速度が小さいときは、加工が進むにつれての歪み速度の変化はさほど大きくないが、送り速度が大きくなると加工終点に近づくにつれて大きくなる。

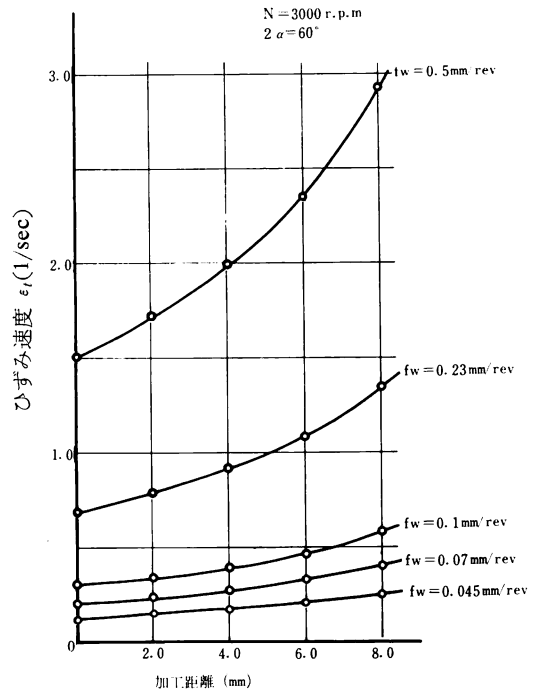


図13 加工中の歪速度

図14は、加工進行中のスラストによる単位面積当りの圧力 K_{mn} の変化を

$$K_{mn} = P \sin\alpha / A \dots(3)$$

P : スラスト (kg)

A : ダイス内壁と試料

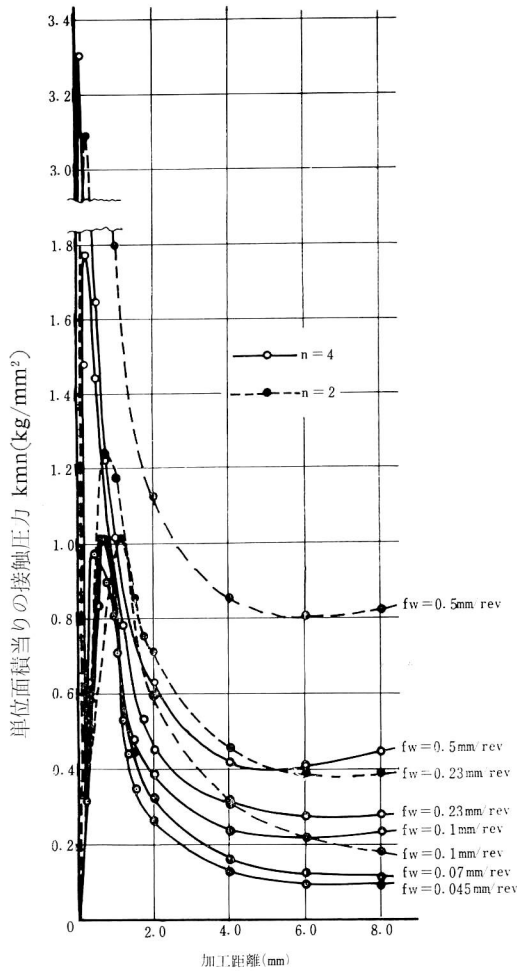


図14 単位面積当りの接触圧力 (K_{mn}) の変化

の接触面積 (mm^2)

で表わし、プロットしたものである。いずれも、加工開始直後一時 K_{mn} の値は大きくなり、以後、減少しながら一定値に落ちつく。また、加工の進行につれ、温度は上昇するにもかかわらず(図11) K_{mn} の値はその減少割合が小さくなり、送りの大きいほど、これが顕著であるのは、図13でわかるよう歪み速度の増加割合が加工の進行につれ大きくなり、送りの大きいほど、それが大であるためと考えられる。

つぎに、溝数が同じであるときは、送りが大きいほど K_{mn} の値は大きい、これは、図11でわかるように、送りが大きいほど、温度が低くなるためである。したがって、同一歪み速度であれば、変形に要する K_{mn} の値は温度が高いほど低くてよいことがわかる。

図14で、 K_{mn} の値が溝の数によつて、特に、送りの大きいとき (0.5, 0.23mm/res), その差が大きく、溝数2個のときにくらべ、溝数4個のほうが非常に小さくなつており、このとき、溝数4個のダイスで加工された絞り部は、しわを生じ多頂点を有する星形を呈している(図15)。これは、溝数が4個となると加工材の溝部における歪み速度が大きく、また全体としての加工温度も低いため、材料に座屈を生じたためと考えられ、したがつて、そのために K_{mn} の値も小さくなつたものと考えられる。

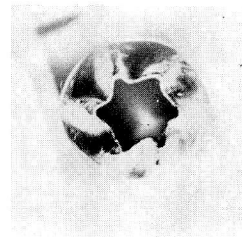


図 15

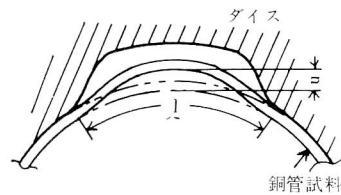


図 16

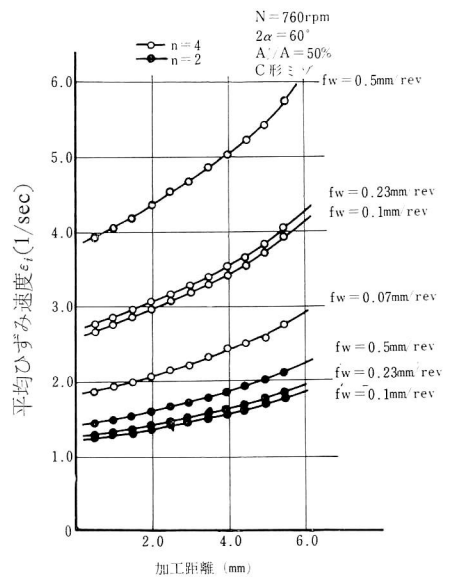


図17 ミソ内部における平均ひずみ速度 (1/sec)

図17は、加工中の加工材の溝部での半径方向の変位量 u (図16参照) を、図8の装置にて実測し、溝部での平均歪み速度 ϵ_i の加工進行中の変化を示したものである。

ここで

$$\epsilon_i = (u/l)/t (s^{-1}) \dots (4)$$

u : 加工材の溝内での変位量 (mm)
 l : 図16に示す
 t : 加工材の溝内の通過時間 (s)

これから、わかるように、溝数4個の場合は、溝数2の場合にくらべて、溝内での平均歪み速度は非常に大きい。

表3は、溝数4個のダイスと、溝数2個のダイスで表中に示す加工条件で実際に加工したときの製品の良否を示したもので、溝数4個のときは、溝数2個のときより、温度を上げ、溝内での歪み速度を小さくするために、試料の送りを小さくしなければならないことがわかる。

表3 溝の数による製品の良否

ダイス回転数 (r.p.m.)		1220					1930					3000				
送り (mm/rev)		0.045	0.07	0.1	0.23	0.5	0.045	0.07	0.1	0.23	0.5	0.045	0.07	0.1	0.23	0.5
溝	2	/	/	○	○	○	/	/	○	○	○	/	/	○	○	○
数	4	○	○	○	×	×	○	○	○	×	×	○	○	○	×	×

○ 製品として良好
 × 正しい円錐状とならず星形に絞られ製品として不適

4. 結 論

管端スピニング加工において

- 1) ダイスに設けた溝のために、加工材は、円周方向に溝数に応じた圧縮、引張りの交番応力を受けながら加工される。
- 2) 加工材は、半径方向にも溝数に応じた繰り返し変位を受けながら加工される。
- 3) 本加工法においてダイスに設ける溝の形状は、C型でなければならない。
- 4) 変形中の材料に生ずる座屈は、溝内における歪

み速度と、溝形状によるものと考えられるので、適当な溝形状、数、加工速度を選定する必要がある。

文 献

- 1) 岡村, 田中: 管端スピニング加工に関する研究第一報 鹿大工学部研究報告 8号 昭42-9.
- 2) 岡村, 田中: 管端スピニング加工に関する研究第二報 鹿大工学部研究報告 8号 昭42-9.