

# 管材のCNCスピニング加工機の開発

電気通信大学 機械制御工学科  
助教授 村田 眞  
(平成7年度研究開発助成 AF-95021)

キーワード：チューブフォーミング，縮管加工，形状制御

## 1. 研究の目的と背景

管材はその重量に対して曲げ剛性やねじり剛性が高いため，軽量化やコストの削減のため多用されており，これまで使用されなかった分野でも取り入れられるようになってきている。そのため管材を二次加工するチューブフォーミングにおいては，新しい加工法のニーズが生まれ，それに対する新しい技術開発の要望も増加している<sup>1)~3)</sup>。管材加工の製造工程においては，その加工法の特性から，断面形状や断面寸法が軸方向のどの部所においても均一にしか加工できないのが現状である。材料の有効な利用，部品の軽量化や製品の個別化のためには，管材の断面形状が異なるものへの要求に対応することが必要となってきている。さらに工業製品の多品種少量生産の要求への増大に対し，それに伴う加工技術の要求も高まっている。

そこで，任意断面形状を有する管材を加工するCNCスピニング加工機を試作・開発した。この加工法は管材を回転させながら，それと同時にローラを押し付けることにより加工を行う。これは逐次加工法であり，管材の加工すべき部分を一度に加工するのではなく，局部的な加工を繰り返して管の所要部を加工するので，他の加工法では不可能な加工を行え，加工限界を向上させることができる。また，製品形状の断面を任意に変形させることが可能であり，フレキシブルに対応できるという利点を有している。このことによって，種々の任意断面形状を有する管を製造することが可能となってくる。

スピニング加工そのものはすでに広く用いられている<sup>4),5)</sup>が，基本的研究がなされているとは言い難く，実験的・解析的検討がほとんどなされていないのが現状である。そこで，著者が試作したCNCスピニング加工機を用いて，管材のスピニング加工について実験的検討を加えた。つまり，加工条件が加工力，縮管率，加工精度およびひずみ分布等にどのような影響を与えるかについて調べ，このことによってスピニング加工の特徴をより明確にすることを本実験の目的とする。

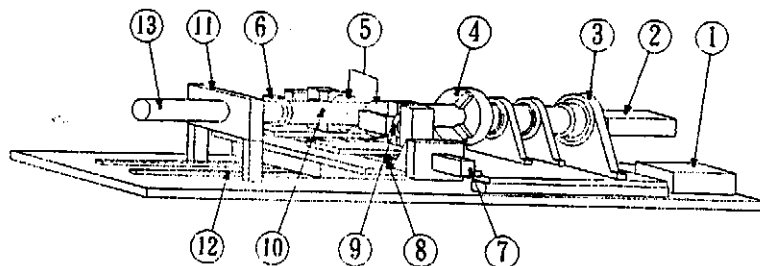
## 2. 加工法と実験方法

### 2-1 加工原理

管材を任意断面形状に加工することが可能なスピニング加工は，管材を回転させ，ローラが管材を押し付けていくことにより，縮管加工を行い，任意断面形状の管材を製造するものである。管の軸方向の位置に対する縮管の割合を変えることによって，断面の寸法や形状の制御を行う。つまりローラの位置を前後させることにより，ローラを回転させて，絞り量を制御することにより，任意断面形状の管を製造する。

### 2-2 CNCスピニング加工機

試作した加工機はFig. 1に示す構造となっている。この加工機について以下に説明する。縮管加工を行うとする管材⑩をチャック④に取り付ける。コンピュータに加工寸法の数値を入力すると，図に示すように加工用ローラ⑤が定めた原点に移動する。管材回転用ACサーボモータ



- |                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| ① ACサーボモータ (ローラ移動用) | ② ACサーボモータ (管材回転用)   |
| ③ 減速機 (1/11)        | ④ チャック               |
| ⑤ 加工用ローラ            | ⑥⑦ ACサーボモータ (ローラ移動用) |
| ⑧ LMガイド             | ⑩ 管材                 |
| ⑪ 管材支持棒             | ⑨ ロードセル              |
|                     | ⑫ LMガイド              |
|                     | ⑬ 管材支持台              |

Fig. 1 加工機全体図

②の回転を減速機③で1/11に減速させて、円管を回転させる。管を縮管加工させるために、加工用ローラは所定の位置まで移動すると、管材移動用ACサーボモータ④が図中の矢印(→)の方向に移動する。これらの工程を数回繰り返して、設定した断面形状を有する円管に加工する。この加工機の主要部分は、加工駆動部のACサーボモータ①、⑥、⑦と直動システムによって、構成される。駆動する部分はボールねじとLMガイド⑧で構成されている。

本実験ではACサーボモータ①⑥⑦で、加工用ローラ⑤が0.5mmずつ縮管し、設定したビード半径Rを描く。一加工行程が終了すると、加工用ローラは加工開始点に戻る。再び0.5mm縮管し、同じビード半径Rを描く。これを繰り返して、設定値まで加工する。加工が終わると、加工用ローラ⑤は、原点まで移動し停止する。それと同時に、管材の回転も停止する。

このCNCスピニング加工機の制御システムはFig. 2のようになっており、加工力の測定やACサーボモータの制御にはパーソナルコンピュータが用いられる。さらに、加工機によるスピニング加工は、Fig. 3のフローチャートに示す手順によってなされる。

### 2-3 実験条件

試験管材として、外径  $D_1=50.0\text{mm}$ 、肉厚  $t_0=1.0\text{mm}$  のアルミニウム(A1100)円管を使用した。管材の機械的性質は、引張り強さ  $\sigma_B=135\text{MPa}$ 、伸び  $\delta=3.3\%$  であり、熱処理を施していない。

加工用ローラは直径90mmの円盤状で、端部の半径  $r_1=5\text{mm}$  ものを使用した。その材質はS15Cである。ローラは、管材と接触することによって、回転するよう設置した。加工する円弧の半径をビード半径Rとし、本実験では  $R=10, 20, 30\text{mm}$  について検討した。縮管は軌跡を一回描くごとに片側0.5mmずつ行う。円管の回転数は270rpm、送りピッチは0.1mmで一定とした。

## 3. 実験結果

### 3-1 加工精度への影響

Fig. 4は、設置縮管量  $f$  と、実際に縮管された量  $\Delta D=D_1-D_2$  ( $D_2$ :加工領域の最小径)の関係を、ビード半径Rをパラメータにとり示す。縮管はビード半径R、設定縮管量  $f$  によらず、ほぼ設定値どおりに加工されている。加工初期に誤差が生じているのは、管材の弾性回復のため、加工後期に誤差が生じているのは、肉厚が増加したためである。

### 3-2 加工力への影響

ビード半径20mm時の15パス目での加工時間とローラ押し付け力  $P_r$  の関係をFig. 5に示す。押し付け力はチャックに近づくに従って増加する。これは、チャック側は拘束力が強いからである。

Fig. 6は、設定縮管量  $f$  と加工力  $P_{rm}$  (各設定縮管量での、最大ローラ押し付け力)の関係を、ビード半径Rをパラメータにとり示す。ビード半径Rが大きくなると加工

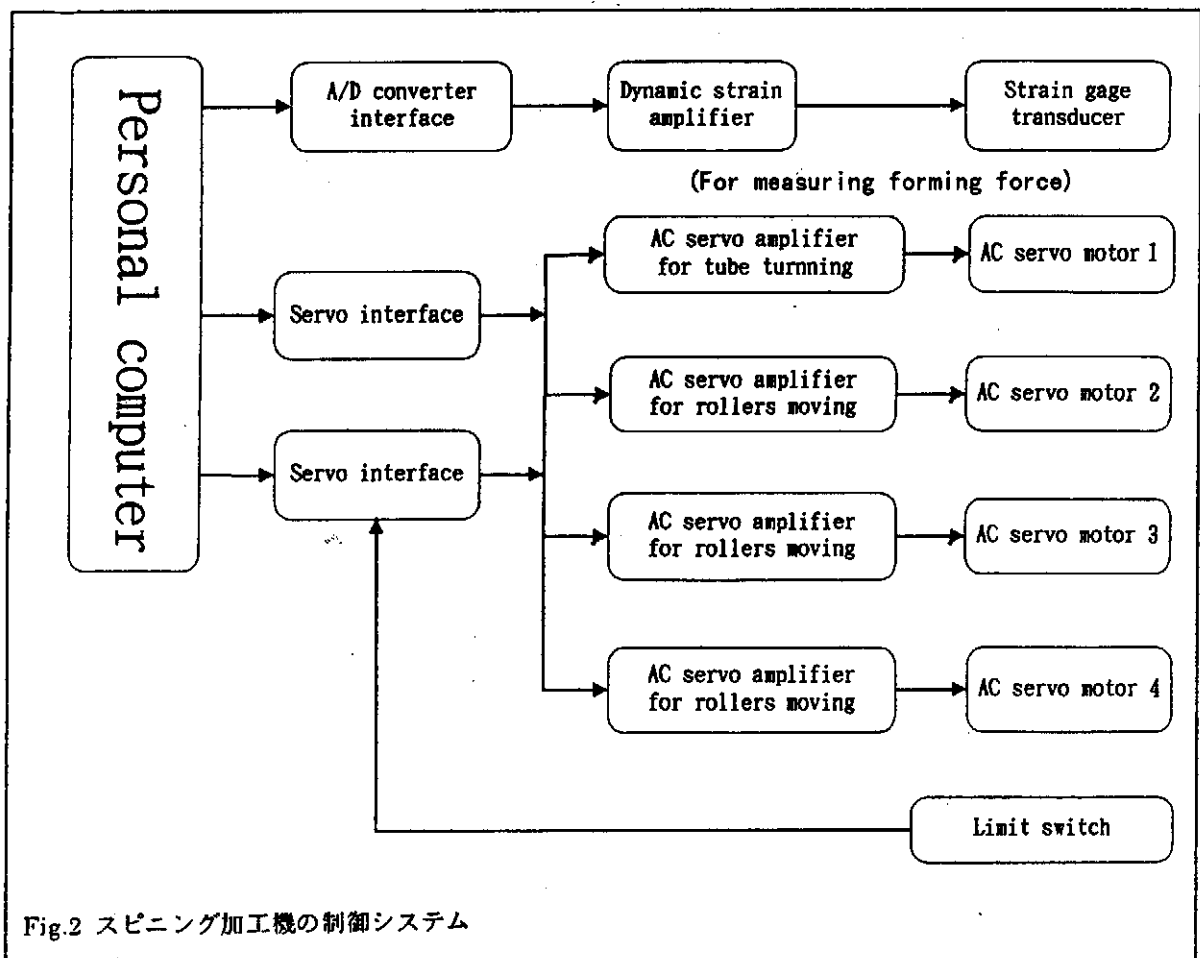


Fig.2 スピニング加工機の制御システム

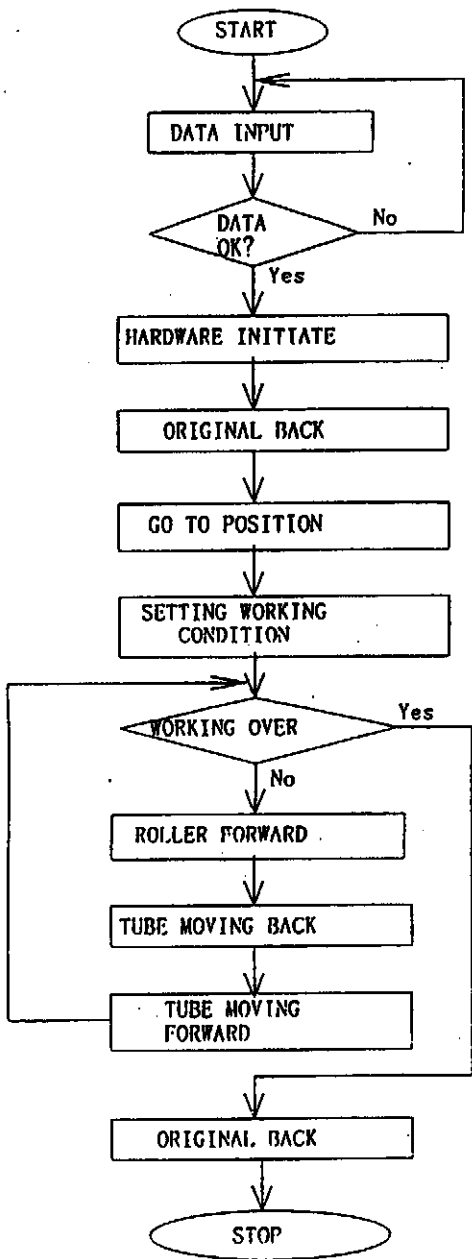


Fig.3 スピニング加工のフローチャート

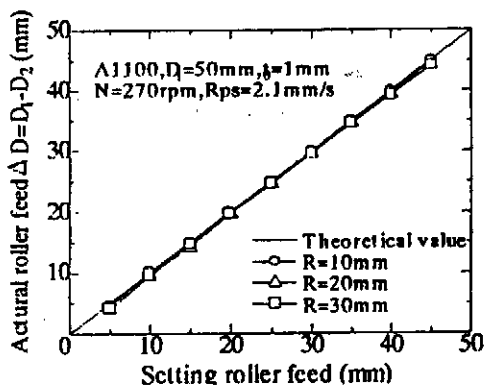


Fig.4 設定縮管量と実際に縮管された量の関係

部分が増し、ローラと管材の接触面積が増えるため  $P_{rm}$  が増加する。また、 $f=35\text{mm}$ 以上となると肉厚の増加に伴い加工力が増加する。

### 3-3 肉厚への影響

Fig.7は、加工領域の最小縮管部を加工部中心とし、中心からの距離と肉厚ひずみの関係を、パラメータに設定縮管量  $f$  をとって示す。(a)図がビード半径  $R=10\text{mm}$ 、(b)図が  $R=30\text{mm}$  の場合である。ビード半径  $R=10\text{mm}$  では中心を境にほぼ対称的に加工されているが、 $R=30\text{mm}$  になると、軸方向に伸びが生じる。また、 $R$ が増加するとチャック側の肉厚が増加する。これは、加工部分が増したことで、軸方向に変形する材料が増加したためである。加工部分の中心の肉厚を測定し、パラメータにビード半径  $R$  をとり、加工部分の中心からの距離と肉厚ひずみの関係 Fig.8に示す。同図より、ビード半径  $R$  が小さくなると肉厚は薄くなる。これは、 $R$  が小さくなると、管材に対してローラの接触角度が大きくなり、加工が厳しくなるためである。また、 $f=30\text{mm}$ 以上になると肉厚が増加する傾向が見られる。これは、管材が軸方向に伸びて、ローラと管材が加工部分の中心のみでの接触することとなり、平面ひずみ状態になるためである。

### 3-4 軸方向変形量への影響

Fig.9は、パラメータにビード半径  $R$  をとり、設定縮管量  $f$  と軸方向の変形量  $\Delta L$  の関係を示す。ビード半径  $R$  が増すと、軸方向変形量は増加する。これは、ビード半径が増加すると、加工部分が増すためである。また、 $R=10\text{mm}$

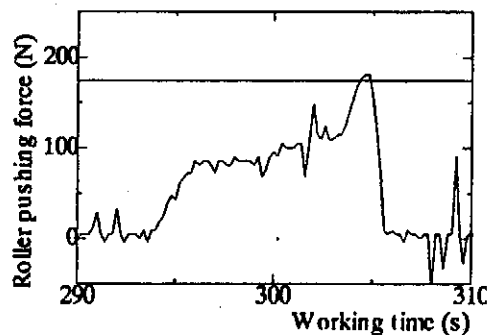


Fig.5 加工時間とローラ押付け力の関係

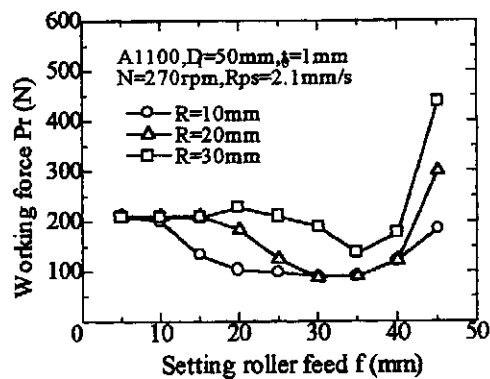


Fig.6 設定縮管量と加工力の関係

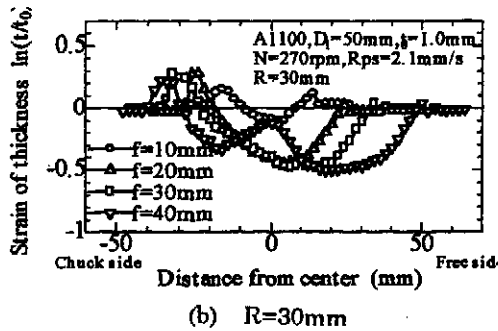
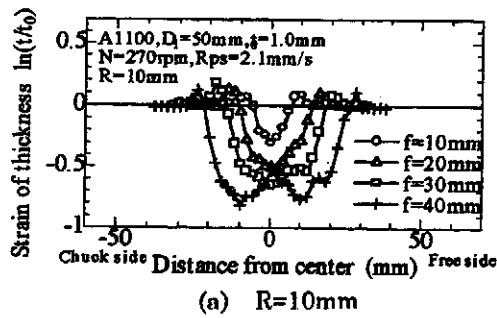


Fig.7 加工部中心からの距離と肉厚ひずみの関係

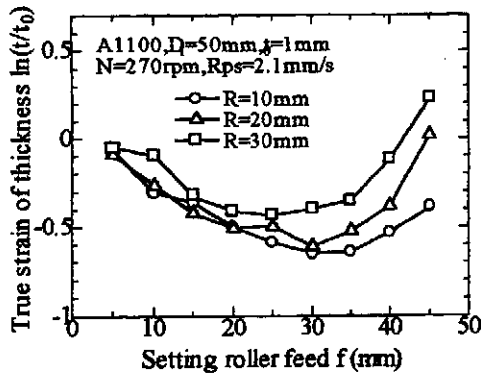


Fig.8 設定縮管量と肉厚のひずみの関係

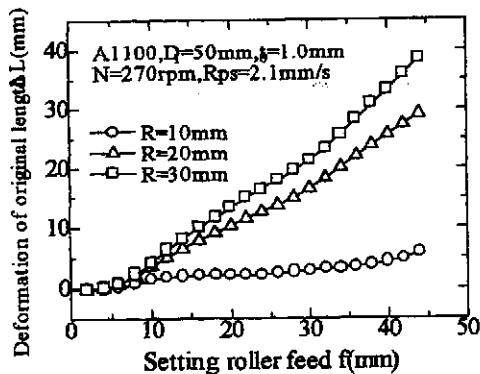


Fig.9 設定縮管量と軸方向変形量の関係

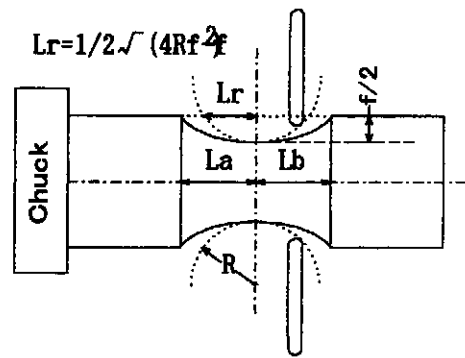


Fig.10 非対称性の設定

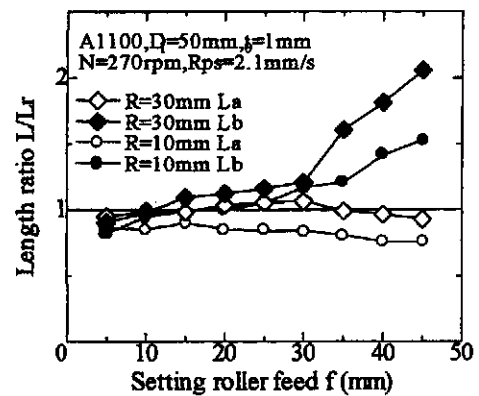


Fig.11 設定縮管量と非対称性を示す長さの比

では、軸方向の変形量はほとんど変化しない。これは、 $R=10\text{mm}$ の時、 $f=20\text{mm}$ 以降になるとローラが凹型の中で動くことになり、左右の拘束力が働くためである。

### 3-5 加工部分の非対称性

本実験では、管材は軸方向に変形が自由となっているため、軸方向に伸びや縮管が生じ、ローラの軌跡どりに加工されるとは限らない。そこで、加工部分の非対称性について検討した。ローラの軌跡どりに加工した時の弦の長さを $L_r$ 、加工後の加工部分の中心からチャック側への長さを $L_a$ 、フリー側を $L_b$ とした (Fig. 10に示す)。

Fig. 11はパラメータにビード半径 $R=10\text{mm}$ と $30\text{mm}$ での $L_a$ 、 $L_b$ をとり、設定縮管量 $f$ と長さの比 $L/L_r$ の関係を示す。 $L_b$ に比べ $L_a$ は設定縮管量 $f$ が増してもあまり変化しない。これは $L_b$ 側は軸方向への拘束がないのに対し、 $L_a$ 側はチャックにより軸方向に拘束されているためである。また、 $L_a$ では $R=30\text{mm}$ のほうが変形は少なく、ほぼ設定値どりの値を取っている。 $R=10\text{mm}$ では、縮管が進むと、ローラが加工部分内で動いてしまうため、少し縮む傾向にある。 $L_b$ では $R=30\text{mm}$ のほうが伸びは大きい。これは、ビード径 $R$ が増すと加工部分が增加するからである。

#### 4. 結言

試作したCNCスピニング加工機を用いて、円管ので凹型円弧形状スピニング加工を行い、この加工法の特徴を明らかにし、以下の結果を得た。

- 1) 縮管量はビード半径 $R$ や設定縮管量 $f$ に関わらず、ほぼ設定値どおりに加工された。
- 2) ビード半径 $R$ が大きいほど加工力は大きくなる。
- 3) 肉厚は $f=30\text{mm}$ までは、設定縮管量の増加に伴い薄くなる。
- 4) 加工中心部の肉厚は、ビード半径 $R$ が小さいほど肉厚は薄くなる。

5) 軸方向変形量はビード半径 $R$ が増すと正の方向に増加する。

6) 非対称性を示す量 $L_a$ ,  $L_b$  (ビード半径の弦の長さ) は、チャック側 $L_a$ の方が設定値に近い値を取る。

#### 参考文献

- 1) 淵澤定克：塑性と加工，35-398, (1994), 185.
- 2) 川井謙一：同上，34-345, (1993), 391.
- 3) 北澤君義：同上，30-345, (1989), 1385.
- 4) 葉山益次郎：新回転加工，(1992)，近代編集社.
- 5) 日本塑性加工学会編：スピニング加工技術，(1984)，日刊工業新聞社.