

プラネタリーローラーレデューサーに関する研究 第1報

Study on Pipe Reducing by Planetary Roller Reducer · 1st Report

木内 学*・新谷 賢*
Manabu KIUCHI and Ken SHINTANI

1. ま え が き

近年、ニーズの多様化に伴う多種少量生産、または多種多量生産への対応技術が強く要求されており、さまざまな技術開発が試みられているが、いずれの場合にも、その生産性と操業性の向上が重要な課題となっている。電縫管製造の分野では、この要求に対処するため、多機能を有する成形機や各種のロール兼用化技術、あるいはクイックロールチェンジ技術が提案され、利用されている^{1)~4)}。これらの技術は、溶接前の成形工程で上記目的を達成しようとする技術であるが、これに対し、溶接前の成形工程では限られた寸法の電縫管を成形し、それらを溶接後の工程で、生産性や操業性を損うことなく、各種寸法の電縫管へ再成形することが可能となれば、異種変量生産へのもう一つの対応技術となりうる。

本研究は、電縫管の製造に関連し、溶接後の工程でインライン、かつ連続的に管の絞り成形を可能とするプラネタリーローラーレデューサー（以下PRRと略す）の開発を目指している。このPRRは後述のごとく、加工を受ける管の外表面上に、複数のロールを管軸に対し傾斜または交差させて配し、管の外表面上を遊転運動させつつ圧下して、絞り成形を行う方法である。以下に、PRRの基本構造を提案し、これを試作し、実際に管材の絞り成形を試み、その際の加工限界や製品の形状特性について検討した結果を報告する。

2. PRRの基本構造

管・棒材の絞り加工（成形）については、すでに、回転ダイ⁵⁾、ロータリ・リングミル⁶⁾、遊星ボールダイス⁷⁾、3ロール・プラネタリーミル⁸⁾⁹⁾などが提案され、さまざまな角度から研究されると同時に、一部実用化されている。なかでも、3ロール・プラネタリーミルは、3個の円錐ロールを管・棒材の周りに遊転運動させつつ圧下し、管材についてはマンドレルを併用して、絞り圧延する生産性の高い実用技術として注目されている。

本研究で開発を目指しているPRRは、Fig. 1に示すよ

うに、管の外表面上に6～8本のロールを配置し、これらロールを管の軸方向に対し傾斜かつ交差させ、一体として遊転運動させ、各ロールを転動させつつ表面を圧下することにより、プラグまたはマンドレルを使用することなく、管の絞り成形を実行しようとするものである。以下、ロールの傾斜角(α)と交差角(β)をFig. 1に示すように定義する。

ロールの支持方法については片持ち支持、両持ち支持など種々の方式が考えられるが、PRRのもう一つの重要な機能として、(1)ロールを単に回転するホルダー（またはケーシング）内に適切な傾斜角と交差角をもって固定し、素管に一定のリダクションを与え、絞り成形を行うばかりでなく、(2)ロールホルダー内にリンク機構、軸方向・回転方向のスライド機構などを組み込み、外部からの制御により、インラインでロール位置を変更し、傾斜角、交差角およびリダクションを変化させ、絞り成形後の管の仕上り径を断続的、あるいは連続的に変化させることも可能である、と考えられる点を挙げる事ができる。

使用するロールの長手方向にみた形状に関しては、円筒形、回転円弧形、円錐形など、さまざまなものが考えられるが、いずれの場合も、加工を受ける管の表面と、その上を遊転・転動するロール表面との相対的な動きは複雑である。いま、円錐台ロールを例にとり、異なる傾斜角・交差角を有する場合の、管の表面に対するロール

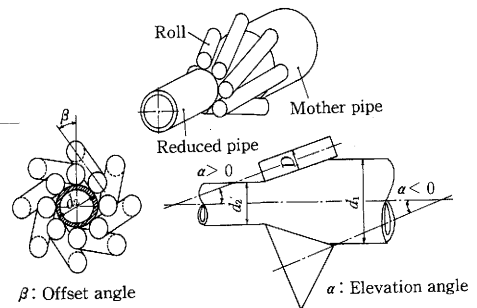


Fig. 1 傾斜角, 交差角

*東京大学生産技術研究所 第2部

Table 1 管表面とロール表面の相対的な動き

	Elevation angle	Offset angle, Revolution, Rotation
Type I		
Type II		
Type III		
Type IV		Impossible

表面の相対的な動きを、公転運動と自転運動に分けてベクトル表示すると Table 1 のようになる。いずれの場合も、公転による相対運動と自転による相対運動は、ロールの軸方向各位置で異なり、その結果として、管軸方向にみた管表面とロール表面との相対すべりも、ロール表面の各位置で異なる。これらの相対運動は管の変形を軸方向、あるいは周方向に拘束し、または助長し、かつ、ロール間への管の誘い込み、あるいは軸方向への管の送り力、または管軸方向へのロールの自走力を左右することになる。本報では、上記の力学的関係の詳細な検討は保留し、まず PRR の基本的特性とその可能性の概要について調査した結果を示す。

PRR におけるロール径と管材の仕上り径、および可能なロール本数との関係をまとめると Fig. 2 のようになる。当然のことながら、管の仕上り径を一定にすると、ロー

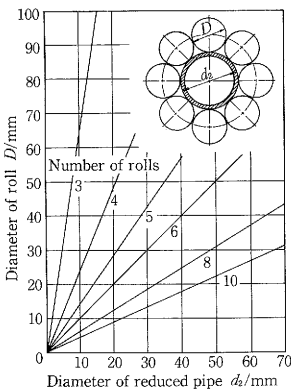


Fig. 2 ロール径、管材の仕上り径とロール本数との関係

Table 2 PRRロールユニットの仕様

	Type I	Type II
Elevation angle: α	$\alpha=10^\circ$, $\alpha=10^\circ$	$\alpha=-10^\circ$, $\alpha=-10^\circ$
Offset angle: β	$\beta=10^\circ$, $\beta=20^\circ$	$\beta=10^\circ$, $\beta=20^\circ$
Number of rolls	8	6
Barrel length of rolls mm	60	70
Shape of rolls	Flat roll, Circular roll, Taper roll	Cone roll
Diameter of rolls (max.) mm	24	40

ル本数が多くなるほど、可能なロール径は小さくなる。

以上の基本的な構造を前提として、実験機を試作した。

3. 実験方法・測定方法

Fig. 3は Table 1 に示したタイプ I とタイプ II の方式より、試作した PRR のロールユニットの概略図である。この試作ロールユニットの仕様を Table 2 に、ロール形状を Fig. 4 に示し、実験に使用した素管の材質、寸法、化学成分および機械的性質を Table 3 に示す。

実験方法は、駆動源として既存の設備を利用することとし、試作した PRR ロールユニットを旋盤のチャックに取付けて回転させ、これに素管を挿入して絞り成形を行った。素管は刃物台に取付けて固定し、軸方向への送りについては刃物台のスライド機構を用いた。なお、素管内側は自由表面のままとし、マンドレルは使用していない。

絞り成形後の製品の形状・寸法の測定方法については、周方向の肉厚変化はマイクロメータにより測定し、真円度の測定は、割出し盤上で管を回転させ、ダイヤルゲージを用いて表面変位の偏差を検出する方法を採用した。長手方向の伸縮は、素管に 80mm 間隔に 3 個所穴 ($\phi 1.0$) をあけ、焼鈍した銅線 ($\phi 1.0$) を埋込み、絞り成形の前後で穴の間隔を測定し、その結果より伸び率を算出した。長手方向のねじれについては、素管表面に幅 0.5mm、深

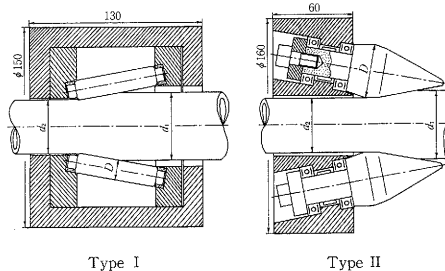


Fig. 3 PRRロールユニットの概略図

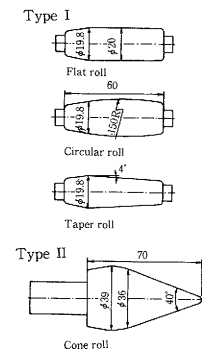


Fig. 4 ロール形状

研究速報

Table 3 素管の材質, 寸法, 化学成分, 機械的性質

Test material		A1050 TD-H								
Diameter of piper	mm	40, 42, 43, 45, 47, 48, 50								
Wall-thickness of pipes	mm	1, 2, 3								
Length of pipe	mm	300								
(%)										
Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al	Tensile strength MPa	Elongation %
0.01	0.08	0.10	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	99.79	117.6	6.6

さ0.5mm, 長さ200mmの溝を付け, 焼鈍した銅線(φ0.5)を埋込み, 成形後にこの銅線に沿うねじれ角を測定した。表面性状については, とりあえず目視による判別を行った。

4. 実験結果および考察

4-1 加工限界

Fig. 5には, タイプI ($\alpha > 0$) およびII ($\alpha < 0$) の方式によるPRR成形について, 素管の t/D と外径リダクション(r)が成形限界に与える影響を, 目視により判別した結果を示す。○印は絞り成形後, 管表面にスパイラル状のロールマークがつくものの, ほぼ正常に成形が行われたもの。△印は絞り成形の途中から座屈が発生し, 管断面が多角形化したもの。▲印は絞り成形開始直後から, 管表層部が削り取られ, いわゆるシェーピング状態で成形が進行し, 成形後管表面にスパイラル状の溝が残った場合を表す。×印は絞り成形開始直後に管断面が多角形化した場合を示す。ただし, 上記の多角形状はほとんどの場合, ((ロール本数)-1)角形になった。すなわち, 8本ロールの場合は七角形, 6本ロールの場合は五角形となった。なお, これらの実験の場合, リダクションの変化は素管外径を変化させることにより実現した。

ロール表面と素管との接触状態についてみると, タイプI ($\alpha > 0$)のPRR成形の場合, 採用したロールの幾何学的関係からも容易にわかるように, α, β が同一であっ

ても, 円錐台ロール, 平ロール, 円弧ロールの順に接触長さは軸方向に長くなる。また α =一定, β が大となると, 軸方向にみた接触長さは各ロールの場合とも短くなる。さらに, この場合, α の設定値が同一であっても, ロール形状の違いにより, 素管の噛み込み角(ロールとの接触域における長手(軸)方向の傾斜角)は, 円弧ロール, 平ロール, 円錐台ロールの順に大きくなることに注意されたい。

タイプIIのPRR成形の場合, α はタイプIの場合とは逆の傾斜($\alpha < 0$)であるが, ロールと素管との噛み込み角がタイプIの場合と同一になるように α の値を選んである。ロールと素管の軸方向の接触長さについてはタイプIの場合と同様なことがいえる。

タイプIとタイプIIの場合のロール表面と素管表面との相対的な動きについては, Table 1を参照されたい。

Fig. 5の結果より, 以下のことがわかる。(1)一般にリダクションが約3%以下であれば, t/D が小さくても, 正常な成形が可能である。当然のことながら, t/D が小さいと絞り成形に伴う周方向の座屈が起りやすく, リダクションの増加に伴い, 多角形化現象が発生しやすい。(2)各場合とも, 素管の t/D が増大すると, 正常な成形可能な加工条件の範囲が広がる。(3)タイプIの場合, β を大きくするほど, 正常な成形可能領域は広がる傾向にある。さらに, 円弧形ロールを用いる場合のほうが, 他の形状のロールを用いる場合に比較して正常な成形可能な条件の範囲が若干広いと判断される。(4)タイプIIの場合, β の小さいほうが正常な成形可能な条件の範囲が広いと思われる結果が得られているが, さらに検討が必要である。(5)△印は不安定な成形条件の範囲を示し, ▲印で示される範囲は, 素管の噛み込みが出来にくくなり, 素管を強制的に押し込むとロールの回転が阻害され, 結果的にシェーピング現象が発生する場合に相当する。

4-2 製品の形状特性

以下に, タイプIの $r=2.6\%$, $t/D=2.5\sim 7.5\%$ の範囲で正常に成形された製品について, 寸法・形状の測定結果を示す。

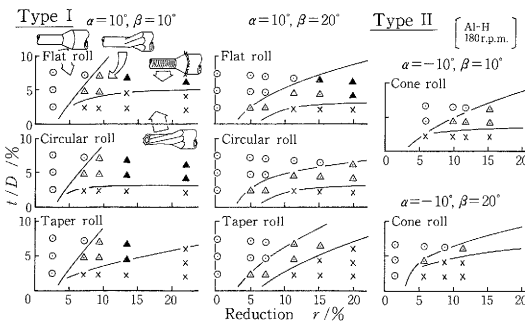


Fig. 5 t/D とリダクションが成形限界に与える影響

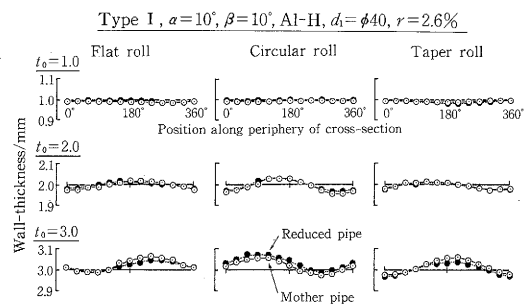


Fig. 6 周方向の肉厚分布

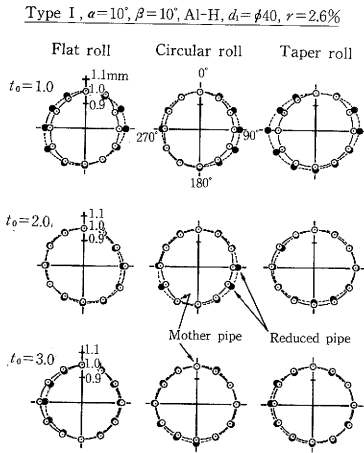


Fig. 7 真円度

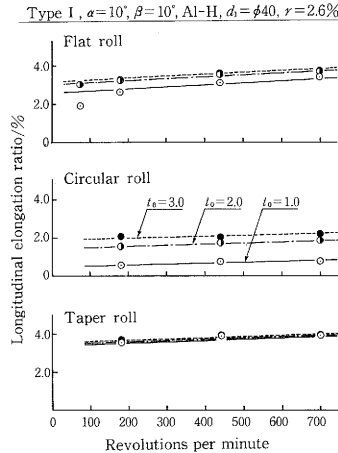


Fig. 8 長手方向の伸縮

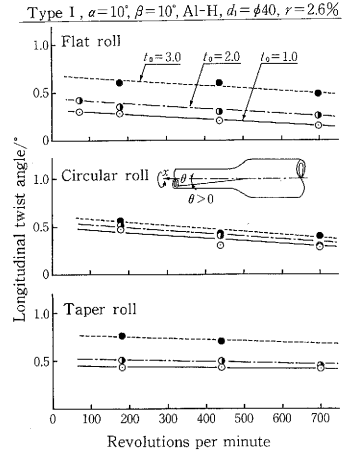


Fig. 9 長手方向のねじれ角

(1)肉厚変化

Fig. 6に絞り成形前後の周方向の肉厚分布の測定例を示す。リダクション r が小さいこともあって、ロール形状や素管の t/D 、または肉厚の違いによらず、成形前後で肉厚そのものの増減はほとんど見られない。図から明らかかなように、素管そのものは、厚肉のものほど偏肉しており、成形後の肉厚分布も同様の傾向を示し、偏肉の影響はそのままの形で残留していることがわかる。

(2)真円度

Fig. 7に絞り成形前後の管真円度の測定例を示す。ロール形状・ t/D の大小によらず、素管とほぼ同じ状態で、真円度は特に悪化していないことがわかる。

(3)長手方向の伸縮

Fig. 8にPRRの公転速度の違いによる、絞り成形後の長手方向の伸縮の変化を示す。周方向の肉厚変化がないこともあって、同一径で厚肉になるほど、長手方向への伸びが大きいことがわかる。ロール形状による違いをみると、素管との接触長さの長い円弧ロールで成形した場合のほうが、他のロールを用いた場合に比べ、伸びが少ない結果となっている。さらに、ロールの公転速度が速くなるほど、伸びは若干大きくなるがわかる。この原因についてはいまだ明瞭ではないが、後述するねじれの発生量の変化とも対応しており、今後の検討課題の一つである。

(4)長手方向のねじれ角

Fig. 9にPRRの公転速度の違いによる、絞り成形後の製品にみられる長手方向のねじれ角の変化を示す。絞り成形により、管表面にスパイラル状のロールマークはつくものの、成形によるねじれの発生は比較的少ない。素管が厚肉になるほどねじれ角は大きくなるが、ロール形

状の違いによるねじれ量の差はあまりみられない。ねじれ角はロール形状によらず、ほとんどの場合1度以下で極めて小さいが、ロールの公転速度が速くなるほど、ねじれは僅かに減少する傾向にある。

5. ま と め

電縫管のインラインでの絞り成形技術の開発を目指して、タイプIおよびIIの方式によるPRRロールユニットを試作し、基礎的な成形実験を行った。その結果、ロール形状によらず、リダクション約3%以下で、素管の t/D が小さい場合であっても正常に成形される加工条件が存在しうることがわかった。また、タイプIの場合、ロール形状としては円弧ロールを用いることにより加工限界が若干広がる可能性があることもわかった、さらに、製品の形状についても、満足できる結果が得られる可能性があることが判明した。今後、さらに実験を進め、望ましいロール形状や加工条件、あるいは加工限界、製品の形状特性について検討を行う予定である。

(1988年10月12日受理)

参 考 文 献

- 1) 水谷：塑性と加工、23-259 (1982-8), 739
- 2) 木内：日本の塑性加工 II (1986), 674
- 3) 豊岡・佐山・志賀・小林・渡辺・小野田：昭63春塑加講演論、(1988-5), 213
- 4) 豊岡・齊藤・橋本・杉江：昭63春塑加講演 (1988-5), 221
- 5) 井上・葉山・柴田・目代：塑性と加工、7-62(1966-3), 115
- 6) 吉原・川並：塑性と加工、26-299 (1985-12), 1163
- 7) 金山・吉岡・藤本・高倉・福田：塑性と加工、28-319 (1987-8), 825
- 8) 青柳・太田：塑性と加工、24-273 (1983-10), 1039
- 9) 西尾・野間・唐重・日野・篤・門田：昭58春塑加講演 (1983-5), 337