

電縫管の成形に関する研究 (第6報)

—フィンパスロールの成形機能と限界—

Study on Roll Forming Process of Electric Welded Pipes · 6th Report

—Forming Function and Its Limitation of Fin Pass Roll—

木内 学*・新谷 賢*・高田橋 俊夫*

Manabu KIUCHI, Ken SHINTANI and Toshio KOUHABASHI

1. ま え が き

筆者らは電縫管の成形過程における縁部ならびに突合せ面の形状不良の発生機構について、一連の基礎的研究を進めている。既報^{1)~5)}では、サイドロール(SR)・フィンパスロール(FR)による加工条件が製品形状に与える影響について種々検討した。本報では、フィンパス成形過程の単スタンド成形・タンデム成形において、フィン角度(θ)・リダクション(r)配分などの加工条件が周方向・長手方向の形状、板厚変化などに与える影響について総合的に検討し、FRのもつ成形機能とその限界について検討した結果を報告する。

2. 実験方法・実験条件

実験に用いた成形機ならびに実験方法は既報³⁾と同様であるので説明を省略する。実験条件をまとめて表1に示す。パススケジュールの詳細については図1、図2な

表1 実験条件

公称製品寸法	76.3×3.0, t/D≒3.9%
素板材質	SS41相当熱延板
素板板厚(t)	3.0mm
素板板幅(2b)	235.0~239.0mm
素板長さ(l)	2500.0mm
フィン角度(θ)	50°, 30°, 20°, 10°, 5°
リダクション(r)	0~6.0%, およびこれらの組み合わせ
駆動方式	上下軸直結駆動方式
圧下調整	定クリアランス方式
成形速度	約3m/min
潤滑	なし

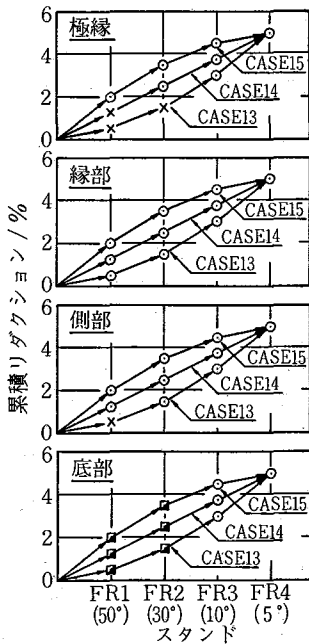


図1 タンデム成形による周方向形状の評価

○: 成形良好 □: 初期折れ曲がり ■: 圧縮しわ ▲: ふくらみ ×: 成形不十分

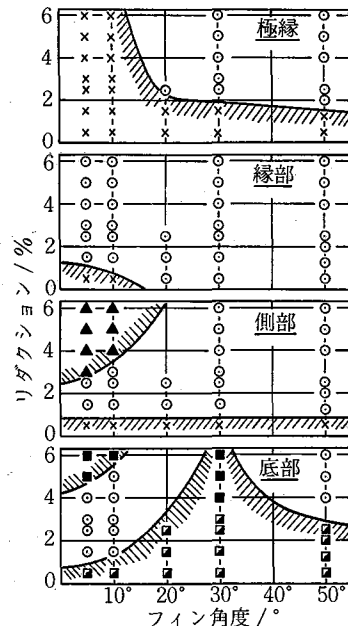


図2 単スタンド成形による周方向形状の評価

* 東京大学生産技術研究所 第2部

表2 タンデム成形のパススケジュールが製品横断面各部の形状に与える影響

周方向各部分	発生する形状不良	FR前段 (1) 50°, (2) 30°, (フィン角度大) (3) 50°+30° (FR-4st成形)	FR後段 (1) 10°, (2) 5°, (フィン角度小) (3) 10°+5°
極縁	ダレやヘタリを含む形状不良	(i) $r > 2.0\%$: 効率よく修正可 (ii) $r < 2.0\%$: 修正不十分の場合もある	$\sum_{i=1}^n r_i \geq 3.0\%$ とすると修正可能
縁部	成形不十分	(i) $r > 0.5\%$: 通常の場合良好な形状となる	
側部	成形不十分 ふくらみ	(i) $r < 0.5\%$: 成形不十分 (ii) $r > 1.0\%$: 成形良好	$\sum_{i=1}^n r_i \geq 3.0\%$ となるとふくらみが発生
底部	初期折れ曲がり 圧縮しわ	(i) $r < 0.5\%$: 初期折れ曲がり発生 (ii) $r > 1.0\%$: 初期折れ曲がり若干発生	$\sum_{i=1}^n r_i \geq 3.0\%$ (漸増形のr配分) としても修正不可, 圧縮しわとなって残留 $\sum_{i=1}^n r_i \geq 3.0\%$ (均等形・漸減形のr配分) とすると修正可能

どを参照されたい。なお、ブレードダウン (BR) 成形・SR 成形の条件は既報³⁴⁾と同様である。ただし、フィン角度 50° の成形では SRI だけを使用し、次の FRI (50°) のロール高さを 10 mm 上げていることに注意されたい。

3. 実験結果および考察

3.1 周方向の形状

周方向の形状は製品横断面の外周形状を 3 点法により測定した。曲率の正負は製品の内側からみて外に凸の場合を正、逆の場合を負とする。なお、板縁より 20 mm までの範囲は三次元座標測定機により細かく測定した。これらの測定結果より、製品の横断面を周方向にみて極縁・縁部・側部・底部の 4 つの部分に分けて、各部分の形状を評価した結果が図 1、図 2 である。ただし、評価の基準は、(1) 成形良好：周方向曲率がロール曲率に対して $\pm 1 \times 10^{-3}$ 以内にある場合、(2) 初期折れ曲がり：成形の初期 (低 r) に周方向曲率分布がロール曲率に対して $\pm 1 \times 10^{-3}$ 以上ある場合、(3) 圧縮しわ：成形の後期 (高 r) に周方向曲率分布がロール曲率に対して $\pm 1 \times 10^{-3}$ 以上ある場合、(4) ふくらみ：周方向曲率がロール曲率に対して 2×10^{-3} 以上高い場合、(5) 成形不十分：周方向曲率がロール曲率に対して 2×10^{-3} 以上低い場合、とする。

(a) タンデム成形におけるパススケジュールが周方向形状に与える影響：タンデム成形の際のパススケジュールが製品横断面各部分の形状に与える影響をまとめて図 1 および表 2 に示す。フィン角度と加える r 配分により、各部分にそれぞれ性質の異なる形状不良が発生したり、それらが修正されたりする様子が見られる。全体的にみて、FR-3 st 成形と FR-4 st 成形の製品の最終形状を比較すると、後者の方が周方向形状は良くなるのがわかる。これらの結果より、一般に SR 成形では板縁の立ち上がり角度を 100° 程度までとし、その後の FR 成形においてはフィン角度の大きい (50° 以上) ロールを用

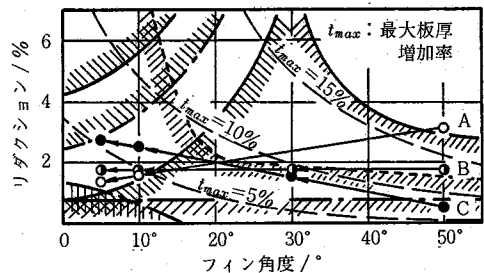


図3 周方向形状の評価曲線とパススケジュール

い、素板の周方向全体を拘束しつつ 4 スタンド程度の FR 成形を行ったほうが、周方向の形状は向上することができる。

(b) 単スタンド成形における各フィンロールの成形機能と限界：図 2 には種々の r のレベルでの各フィンロール単独の成形機能とその限界について調査した結果を示す。○印は成形後の形状が良好と判定された場合を示し、斜線部は種々の形状不良現象が発生した場合を表す。図より、フィン角度が小さいロールは極縁や側部に対する成形機能が劣ること、また、フィン角度 30° 前後のロールは底部に対する成形機能が良くないことがわかる。図 2 の周方向形状の評価曲線 (極縁・縁部・側部・底部) を重ね、さらに、縁部に発生する最大板厚増加率の度合を表す曲線を加えたものが図 3 である。この図は FR 成形のパススケジュールの設計に有用である。パススケジュールの設計思想はいろいろありうるが、たとえば、図中に示した A はフィン角度が 50°, 10°, 5° の 3 スタンド成形で、周方向形状が一貫して良好な範囲の漸減形の r 配分を特徴とするパススケジュールであり、B はフィン角度が 50°, 30°, 10°, 5° の 4 スタンド成形で、極縁の形状不良を有効に修正でき、底部に発生する初期折れ曲がりをフィン角度 10° 以下のロールで修正可能な均等形の r 配分を特徴とするパススケジュールであり、C はフィン角度 50°, 30°, 10°, 5° の 4 スタンド成形で、縁部の板

研究速報

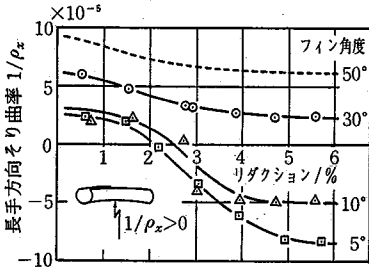


図4 リダクションが長手方向そり曲率に与える影響

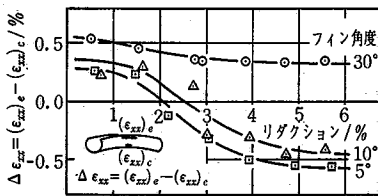


図5 リダクションが縁部の長手方向伸びひずみと底部中央の長手方向伸びひずみの差に与える影響

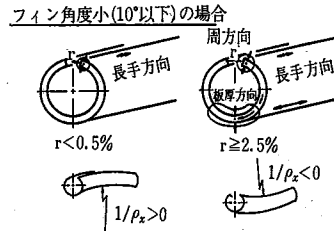
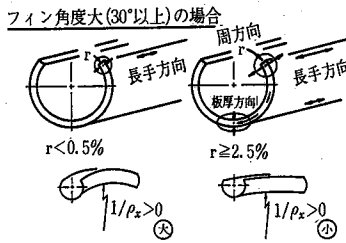


図6 加工条件が長手方向そりに与える影響

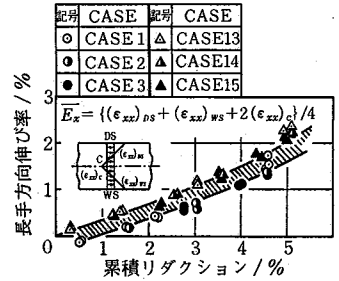


図7 累積リダクションと長手方向伸び率の関係

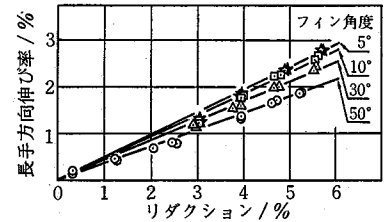


図8 リダクションと長手方向伸び率の関係

厚増加を極力抑え、しかも、極縁の形状不良を修正でき、底部に発生する初期折り曲がりをも修正可能な漸増形の r 配分を特徴とするパススケジュールを表す。

3.2 長手方向の形状

(1) 長手方向のそり

以下に各フィンロールが長手方向のそりに与える影響について検討する。図4に長手方向そり曲率 (1/ρx) の測定例を示す。一般に、水平なパスライン (ボトムラインコンスタント) で成形すると、板縁と底部中央の軌跡長差により、長手方向には正のそりが発生する可能性がある。しかしながら、FR 成形で r を加える場合には、周方向の圧縮変形に伴う長手方向の伸び変形の影響についても考慮しなければならない。後述する周方向の板厚分布の変化とも対応させて検討すると、r を加えることにより、板厚は縁部および底部で相当程度増加し、その際あわせて長手方向の伸び変形が発生することがわかる (図6参照)。一般的に、r が 0.5% 以下の場合、周方向の圧縮変形は縁部に集中し、板厚増加、長手方向には正のそりが発生、または残留する (図5、図9参照)。さらに、フィン角度の大きい場合のほうが縁部の圧縮変形も大きくなり、正のそりは大きくなる。r が 1.0% 以上になると、周方向の圧縮変形は周方向に広がり始める。r が 2.5% 以上になると、圧縮変形は縁部と底部で大きくなる。この場合、フィン角度 30° 以上のロールでは依然として底部より縁部の方が圧縮変形は大きく、長手方向伸びひずみの差 Δεxx は正でそれも正であるのに対し、フィン角度 10° 以下のロールでは縁部より底部の方が圧縮変形

域は広がり、Δεxx は負となりそりも負となる (図5、図9参照)。

(2) 長手方向の伸び

図7はFR 成形における r と長手方向伸び率 (Ex) の関係をみたものである (r、Ex とともに累積値)。Ex の定義は図中に示す。タンデム成形において r と Ex の関係は

$$\overline{E_x} \propto 0.35 \cdot r \quad (1)$$

で表される。ただし、r は 0~4.5%、フィン角度は 50°~5°、公称製品寸法は φ76.3×3.0 (t/D≒3.9%) である。図8は各FR 単独の r と Ex の関係をみたものである。各FR について r と Ex の関係は

$$\overline{E_x} \propto \alpha_0 \cdot r \quad (2)$$

で表される。ただし、α0 = (-2.5×10⁻³)·θ + 0.49、θ は 50°~5°、r は 0~6.0% である。同一の r ではフィン角度の小さいほうが長手方向の伸びは大きいことがわかる。

3.3 板厚の変化

図9(a)(b)に各FR 通過後の板厚増加率の周方向分布の測定例を示す。一般に、r が 0.5% 以下の場合、板厚増加は縁部のみに発生する。r が 1.0% 以上の場合、板厚増加は周方向全体に発生し、縁部での板厚増加が大きい。

(a) タンデム成形の場合：板縁から 1~2mm の位置で板厚増加率は最大となる。縁部での板厚増加が大きく、側部・底部とも同程度の板厚増加を示す。図10は累積 r の増加とともに最大板厚増加率の大きくなる度合が、FR-4st・FR-3st 成形で異なる様子を示し、漸減形の r 配分のほうが最終的な板厚増加率は大きくなるのがわかる。

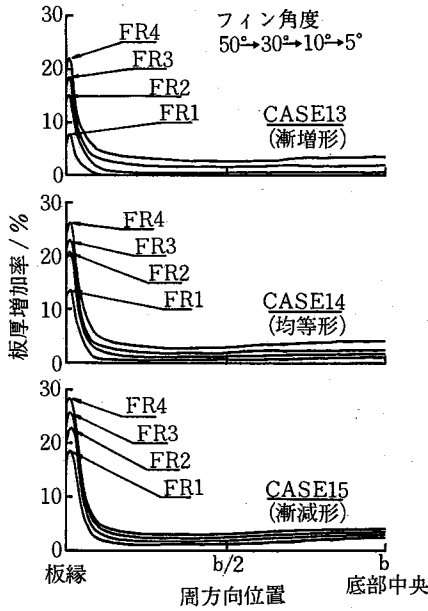


図 9 (a) 周方向の板厚増加率

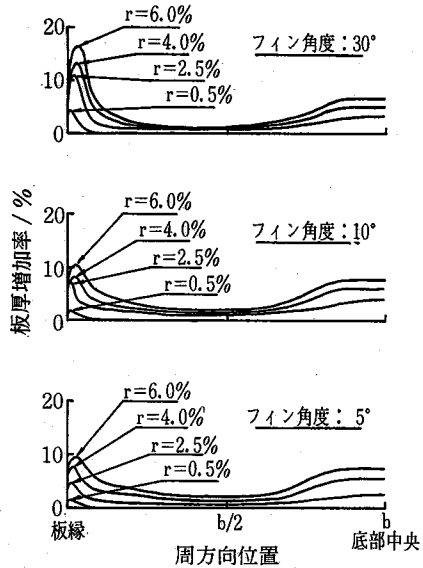


図 9 (b) 周方向の板厚増加率

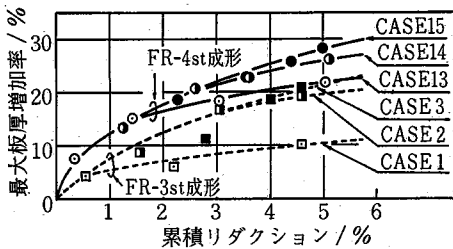


図 10 累積リダクションが最大板厚増加率に与える影響

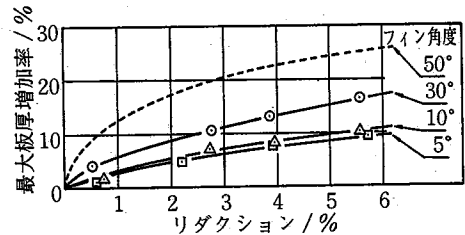


図 11 リダクションが最大板厚増加率に与える影響

(b) 各フィンロール単独の成形機能：通常、低 r から高 r になるにしたがい板厚増加率の最大値は側部側へ移動する。ただし、最大値の発生位置は板縁から(1.5~1.6)t mm 以内である。一般に、高 r になるほど縁部と底部での板厚増加が大きく、側部は小さい。フィン角度 10° 以下のロールでは r が 2.5% 以上になると、縁部より底部の板厚増加減が広がる。図 11 には r の増加に対する最大板厚増加率の大きくなる度合が、各フィンロールで異なる様子を示し、フィン角度の大きい方が板厚増加率は大きくなることわかる。

4. ま と め

電縫管の成形過程の重要な部分を構成する FR 成形において、FR の成形機能と限界について検討し、以下のことが判明した。(1)フィン角度 30° 以上のロールは極縁の形状を修正し、縁部の板厚増加に寄与する機能が大き

い。(2)フィン角度 10° 以下のロールは周方向全体の形状を向上させ、長手方向に伸びを与える機能が大きい。(3)FR 成形のパススケジュールとしては、(イ)周方向全体の形状を向上させる場合、(ロ)縁波の消去などの目的で長手方向の伸びを大きくする場合、(ハ)縁部の板厚増加を適正な範囲に抑える場合、などそれぞれの目的により異なるので、各フィンロールの成形機能の相違をよく理解し、正しいパススケジュールを採用する必要がある。
(1983年4月2日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内・新谷・江藤：昭 55 春塑加講論 287
- 2) 木内・新谷・江藤：31 回塑加連講論 315
- 3) 木内・新谷・江藤・高田橋：32 回塑加連講論 353
- 4) 木内・新谷・高田橋：昭 57 春塑加講論 675
- 5) 木内・新谷・高田橋：33 回塑加連講論 513