

電縫管の成形に関する研究 (第3報)

—フィンパス成形の検討 (3)—

Study on Roll Forming Process of Electric Welded Pipes • 3rd Report
Investigation into Deformation of Sheet in Fin Pass Roll (3)

木内 学*・新谷 賢*・江藤 文夫*・高田橋 俊夫*
Manabu KIUCHI, Ken SHINTANI, Fumio ETO and Toshio KOUDBASHI

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⁾²⁾では、サイドロールの押込み量の変化、フィンパスロール (単スタンド成形) の形状・寸法が製品形状に与える影響について検討した。本報ではフィンパスロールのタンデム成形において、各種成形条件因子が素板の変形挙動、あるいは縁部および突合せ面の形状に与える影響について検討した結果を報告する。

2. 実験方法・実験条件

試験用成形機は既報¹⁾と同様であり、成形は3段階に分けて行った (図1参照)。第1段階では、素板 (平板) は入口ガイド (ボックス形) から、ブレイクダウン成形 (BR成形) のBR1, BR2, BR3を経て半円形に成形される。この場合、BR成形では真直で縁波のない半製品を成形する。第2段階では、BR3, サイドロールのSR1, SR2, フィンパスロールのFR1を経て、素板はほぼ円形に成形される。第3段階では、ほぼ円形に成形された素板は、FR1, FR2, FR3を経て溶接前の最終形状に成形される。

実験条件をまとめて表1に、実験のパススケジュールを図2, 表2に示す。

3. 実験結果および考察

3.1 周方向曲率分布 ($1/\rho_{\theta}$)

図3 (a) ~ (c) に製品外表面の周方向曲率分布 (板縁から10mmまでの曲率は除く) の測定例を示す。曲率の率の正負は製品の内側からみて、外に凸の場合を正、逆の場を負とする。

SR1出側の製品形状の測定結果より、SR1での板縁の立上がり角度が $113^{\circ} \sim 114^{\circ}$ の場合に、素板が最もよくロールになじむことが判明した。さらに、SR2出側での製品形状をみると、SR2の押込み量の如何によらず、部分的に折れ曲がった状態になり易いことがわかる。したがって、SR成形では板縁の立上がり角度 $113^{\circ} \sim 114^{\circ}$ 程度までの成形を行うこととし、その後の工程はフィン角度の大きいFRを用いて、リダクションをあ

表1 実験条件

公称製品寸法	$\phi 76.3 \times t 3.0, t/D=3.9\%$
素板材質	SS41 相当熱延板
素板板厚 (t)	3.0 mm
素板板幅 (2b)	230.5 mm
素板長さ	2500.0 mm
フィン角度 (θ°)	$30^{\circ}, 20^{\circ}, 10^{\circ}, 5^{\circ}$
駆動方式	上下軸直結駆動
圧下調整	定クリアランス方式
成形速度	約 3 m/min
潤滑	なし

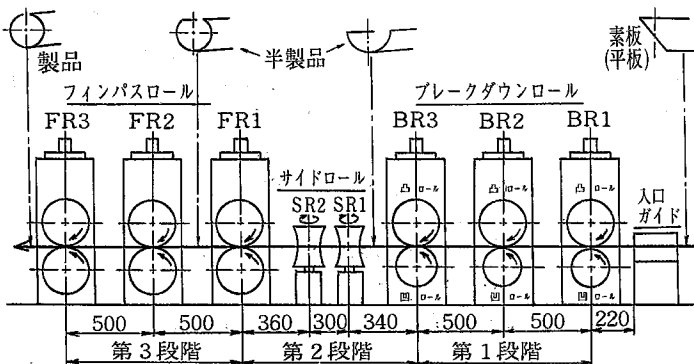


図1 タンデム成形実験概略図

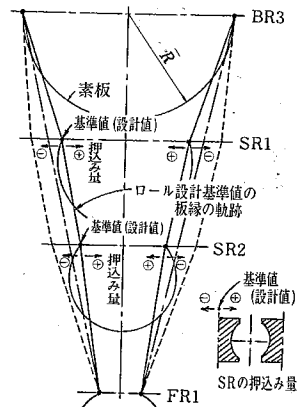
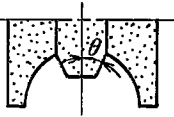


図2 板縁の軌跡

*東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報
表2 パススケジュール表

スタンド	BR1	BR2	BR3
ロールクリアランス (mm)	注) 3.0	3.0	3.0
パスライン (mm)	+20	±0	±0



注) 板厚圧下

スタンド		SR1	SR2	FR1	FR2	FR3
パスライン(mm)		±0	±0	±0	±0	±0
フィン角度 θ				30°	10°	5°
CASE1	リダクション(%)			2.0	1.0	0.5
	サイドロール	-6.5	-10.5	←上段: 図2の一点鎖線		
	押込み量(mm)	-13.5	-17.5	←下段: 図2の破線		
フィン角度				20°	10°	5°
CASE2	リダクション			2.0	1.0	0.5
	サイドロール	-4.5	-7.0			
	押込み量(mm)	-11.5	-14.0			
フィン角度				10°	5°	
CASE3	リダクション			2.0	1.0	
	サイドロール	-2.5	-3.5			
	押込み量(mm)	-9.5	-10.5			
フィン角度				5°		
CASE4	リダクション			2.0		
	サイドロール	-1.5	-1.5			
	押込み量(mm)	-8.5	-8.5			

まり加えないで、素板の周方向全体を拘束しつつ成形した方が、周方向の形状は良くなる可能性がある。

FRでは、管底部中央および縁部を除くロール拘束域における素板の曲率はロール曲率より大きく、オーバーバンド気味になる。これは本実験で用いているFRが2ロールタイプであるため、ロールへの進入過程で縦長の円形に成形された素板が上下から圧縮され、管側部が強く曲げられつつ、ロール孔形へと噛み込まれていくことに起因していると考えられる。管側部中央(フランジ部)で曲率の極値を示すが、これはロール孔形に素板が充満し、フランジ部が上下ロールにより噛み出される傾向を示すためと考えられる。FRタンデム成形(最終フィン角度5°)とFR単スタンド成形(フィン角度5°)の場合の周方向形状を比較すると、後者は部分的に折れ曲がった形状を示す。それ故、FR成形でも急激な成形は避け、フィン角度の大きいFRから順次適正な成形量配分で成形した方が、周方向形状の均一性が向上するといえる。

3.2 板縁部の形状

三次元座標測定機により板縁部の形状を細かく検討した結果を以下に示す。

図4(a)~(d)に素板の板縁より20mm幅、および、板縁より3mm幅の平均曲げ半径 \bar{R}_{20} 、 \bar{R}_3 の、成形の進行に伴う推移の一例を示す。

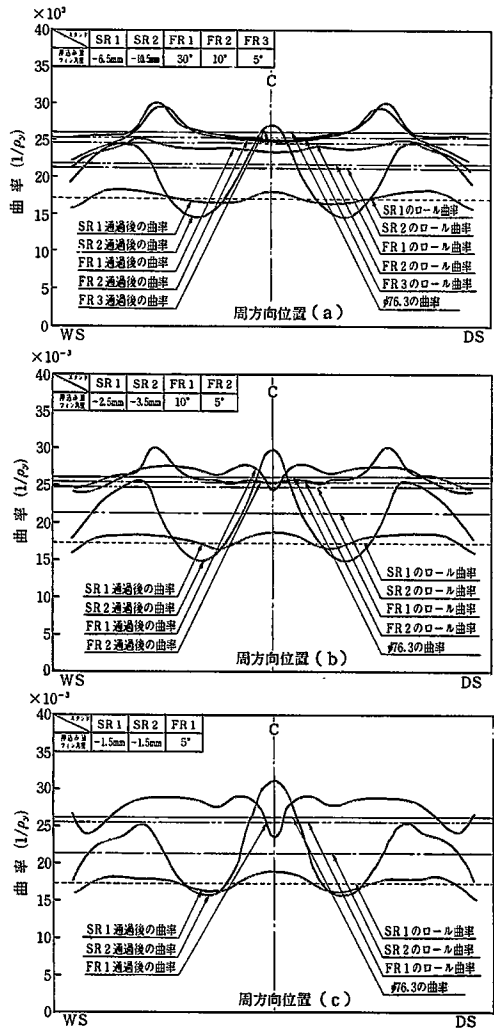
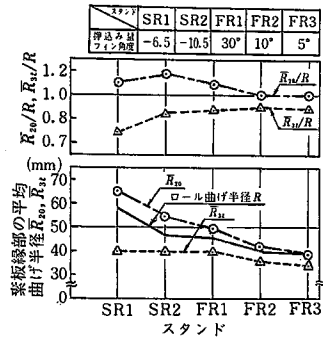
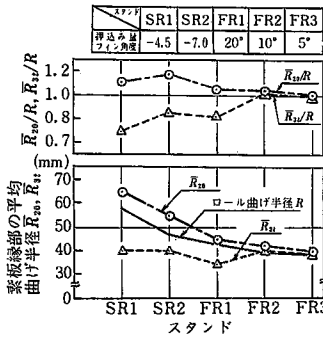


図3 周方向の曲率分布

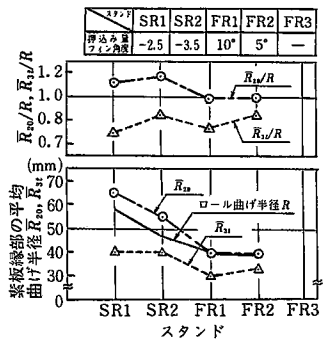
一般に、SR成形による \bar{R}_{20} はSRの押込み量の如何によらず、ロール曲げ半径 R より大きく、成形不十分である。次に、FR成形による \bar{R}_{20} はフィン角度が大きい段階(30°、20°)では成形不十分であるが、成形が進行してフィン角度が10°、5°の段階になるとロール曲げ半径 R に近づく。一方、 \bar{R}_3 についてみると、SR成形の段階ではSRの押込み量の如何によらず、オーバーバンドの状態となっている。ただし、この \bar{R}_3 の値は、素板極縁のダレあるいはヘタリの形状を含んでいるため、いわゆる曲げ変形のみによるオーバーバンドとは異なることに注意されたい。FR成形後の \bar{R}_3 は、フィン角度30°および20°の段階ではオーバーバンドが十分修正されないが、続いてフィン角度が10°、5°と成形の進行に伴い形状が修正されてロール形状に近づく。ただしFR成形で一気にフィン角度の小さい(10°、5°)ロールで



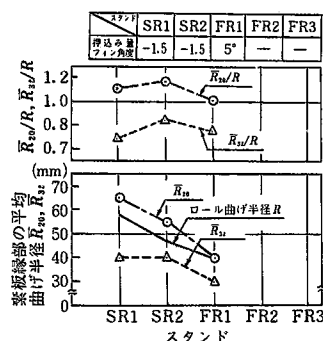
(a)



(b)



(c)



(d)

図4 素板縁部の平均曲げ半径 \overline{R}_{20} , \overline{R}_{31}

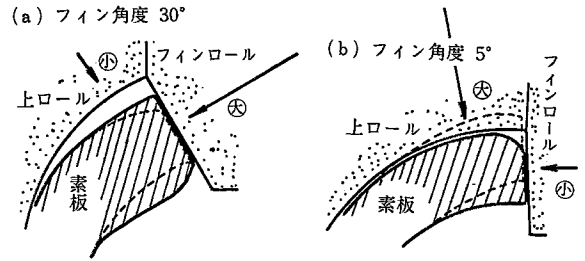


図5 FR内の素板縁部の変形状態

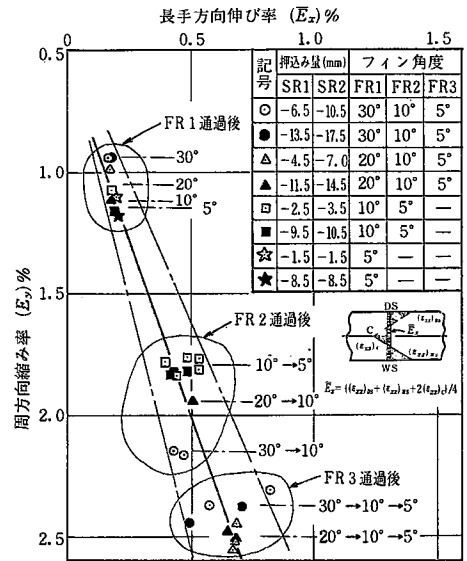


図6 周方向縮み率 (E_y) と長手方向伸び率 (E_x) の関係
 成形すると \overline{R}_{31} はオーバーバンドのままである。以上の測定結果より次のことがいえる。 \overline{R}_{20} に代表される素板縁部の平均的な曲げ成形は、フィン角度 10° 以下のロールによって適当なリダクションを加えることにより効率良く行われる。一方、 \overline{R}_{31} に代表される素板極縁のダレやヘタリを含む形状不良は、フィン角度の大きいロールを用いることにより可能であり、フィン角度の小さい (10° 以下) ロールのみでは修正できない。(図5参照)。

3.3 周方向縮み率 (E_y) と長手方向伸び率 (E_x) の関係

図6はFR成形での周方向縮み率 (E_y) と長手方向伸び率 (E_x) の関係をみたものである。 E_x の定義は図中に示す。

本実験では、FR 1のリダクション $r_1 = 2\%$ 、FR 2で $r_2 = 1\%$ ($\sum r_i = 3\%$)、FR 3で $r_3 = 0.5\%$ ($\sum r_i = 3.5\%$) を目標としたが、図より実質的には $r_1 \cong 1\%$ 、 $r_2 \cong 1\%$ 、 $r_3 \cong 0.5\%$ であることがわかる。FR単スタンド成形の場合には、SR成形から一気にフィン

研究速報

FR1	FR2	FR3
SR1	SR2	SR3
押込み量	-6.5	-10.5
フィン角度	30°	10°
積りダクシ	2.0	3.0
積りダクシ	3.0	3.5

$t_0 = 3.0$

FR1	FR2	FR3
SR1	SR2	SR3
押込み量	-11.5	-14.0
フィン角度	20°	10°
積りダクシ	2.0	3.0
積りダクシ	3.0	3.5

$t_0 = 3.0$

FR1	FR2	FR3
SR1	SR2	SR3
押込み量	-2.5	-3.5
フィン角度	10°	5°
積りダクシ	2.0	3.0
積りダクシ	3.0	—

$t_0 = 3.0$

FR1	FR2	FR3
SR1	SR2	SR3
押込み量	-1.5	-1.5
フィン角度	5°	—
積りダクシ	2.0	—
積りダクシ	—	—

$t_0 = 3.0$

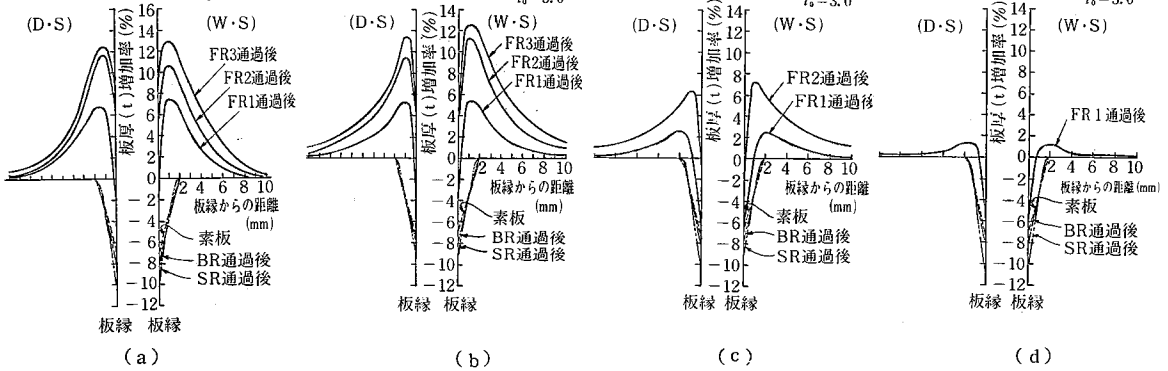


図7 周方向の板厚増加率

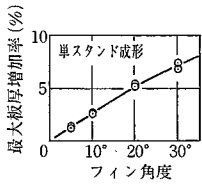


図8 フィン角度が最大板厚増加率に与える影響

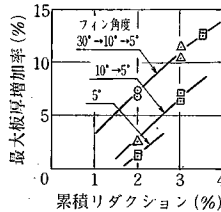


図9 累積リダクションが最大板厚増加率に与える影響

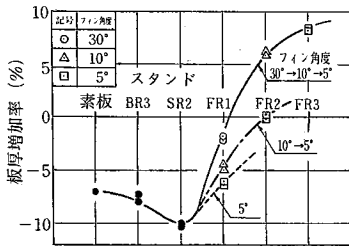


図10 板縁における板厚増加率の推移

角度の小さいFRで成形するほど、 E_y の増加に対する E_x の増加率が小さくなる傾向が見られるが、全般的にはFR成形において、成形の進行に伴い、 E_y と E_x とは約1:0.35の割合で発生することがわかる。通常、FR成形においては、BR成形やSR成形において発生した縁波を消去させるため、効率よく長手方向伸び率(E_x)を発生させることが重要な課題であるが、急激にフィン角度を小さくし、リダクションを大きくすることは前節で述べた縁部の形状不良の修正不十分の結果を招き、次に述べる極端な縁部の板厚増加の問題をひき起こすことにもなるので、これらを調和させる最適な成形条件を検討する必要がある。

3.4 板厚の変化

図7 (a) ~ (d)に $t_0 = 3.0$ mmの素板, BR・SR

・FR 通過後の板厚増加率の周方向分布の測定例を示す。ホットコイルよりスリットされた素板は、板縁端面において約7%、板縁より1mmの位置で約3%程度の板厚減少があり、それより内側はほぼ均一な板厚である。

BR 通過時に板縁は凹ロールによりしごかれ、累積値で約8%の板厚減少、SR 通過時に板縁はさらにしごかれて累積値約8~10%の板厚減少がみられる。

FR 通過後の板厚変化をみると、板縁から1~2mmの位置で板厚増加率は最大となる。図8はFR単スタンド成形時の最大板厚増加率に対するフィン角度の影響をみたもので、フィン角度の大きい方が最大板厚増加率は大きいことがわかる。このことについて、FR成形での板厚増加は、フィンロールから素板端面に加わる力(円周方向圧縮力)により発生するが、この圧縮力はフィン角度が大なる程大きくなることと対応している。図9は累積リダクションの増加とともに、最大板厚増加率が大きくなる度合が、3スタンド・2スタンド・単スタンドのFR成形(最終フィン角度5°)で異なる様子を示す。

図10は板端面における板厚の推移を示し、BR・SR成形で板厚減少の傾向がみられるが、FR成形の進行に伴い板厚の増加がみられる。同一のフィン角度のFR成形では、上流側のSRの押込み量の変化による板厚増加率の差はみられない。板縁から10mmの位置から管側部にかけての板厚増加は微量である。

4. まとめ

電線管の成形過程のSR成形、FR成形における素板の変形挙動、製品の形状などについて検討し、いくつかの基本的な特性を明らかにした。(1981年9月7日受理)

参考文献

- 1) 木内・新谷・江藤：昭55塑加春講論集，287(1980-5)
- 2) 木内・新谷・江藤：第31塑加連講論集，315(1980-11)