

電縫管の成形に関する研究 (第 4 報)

——フィンパス成形の検討 (4) ——

Studies on Roll Forming Process of Electric Welded Pipes·4th Report

——Investigation into Deformation of Sheet in Fin Pass Roll (4)——

木 内 学*・新 谷 賢*・高田橋 俊 夫*

Manabu KIUCHI, Ken SHINTANI and Toshio KOUJABASHI

1. ま え が き

筆者らは電縫管の成形過程で重要な問題となる縁部ならびに突合わ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)~3)}では、サイドロールによる加工条件、フィンパスロール (タンデム成形) の形状・寸法ならびに加工条件が製品の縁部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、リダクション配分の違いが素板の変形挙動、あるいは縁部および突合わ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

実験に用いた成形機ならびに実験方法は前報³⁾と同様であるので説明は省略する。実験条件をまとめて表 1 に、検討したパススケジュールを表 2 に示す、ただし、SR 成形の押込み量は基準値とし、他の条件は BR・SR 成形とも前報³⁾と同様である。

3. 実験結果および考察

3.1 周方向曲率分布 ($1/\rho_y$) 図 1 に製品横断面の周方向曲率分布 (板縁から 10 mm までの曲率は除く) の測定例を示す。曲率の正負は製品の内側から見て、外に凸の場合を正、逆の場合を負とする。これらの測定結果より、製品横断面を周方向にみて、縁部、側部、底部の 3 つの部分に分けて、各部分の形状を評価した結果が表 3

である。ただし、成形良好とは周方向曲率のロール曲率に対するズレが $\pm 1 \times 10^{-3}$ 以内にある場合、折れ曲がりとは局部的な周方向曲率分布の凹凸がロール曲率の $\pm 1 \times 10^{-3}$ 以上にある場合、成形不良 (成形不十分) とは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。

全体に、FR-3st 成形では、リダクション (r) 配分を漸増形 (CASE 1,4) にすると、製品の最終形状は周方向に折れ曲がった形状を示し、均等形 (CASE 2,5)、漸減形 (CASE 3,6) の r 配分によると、周方向形状は良くなる。他方、FR-2st 成形では、 r 配分が漸増形 (CASE 7)、均等形 (CASE 8) であっても、製品の周方向形状は良いが、後述する縁部の形状に問題が発生する恐れがある。ところで、FR-1st 成形のみでは、正常な成形は期待できず、無理な成形を行おうとして r を強くかけると、管底部の形状はロール曲率に沿うが、側部から縁部の形状は

表 1 実験条件

公称製品寸法	φ76.3×3.0, t/D≒3.9%
素板材質	SS 41相当熱延板
素板板厚(t)	3.0 mm
素板板幅(2b)	235.0 mm
素板長さ	2500.0 mm
フィン角度(θ)	30°, 20°, 10°, 5°
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 3m/min
潤滑	なし

表 2

㊸ FR-3st 成形					㊹ FR-3st 成形					㊺ FR-2st 成形				㊻ FR-1st 成形		
フィン角度 リダクション(%)	FR 1	FR 2	FR 3	Σr _i	フィン角度 リダクション(%)	FR 1	FR 2	FR 3	Σr _i	フィン角度 リダクション(%)	FR 1	FR 2	Σr _i	フィン角度 リダクション(%)	FR 1	
	r ₁	r ₂	r ₃			r ₁	r ₂	r ₃			r ₁	r ₂		r ₃	r ₁	
CASE 1	0.5	1.5	2.5	4.5	CASE 4	0.5	1.5	2.5	4.5	CASE 7	0.5	2.5	3.0	CASE 10	0.5	
CASE 2	1.5	1.5	1.5		CASE 5	1.5	1.5	1.5		CASE 8	1.5	1.5		3.0	CASE 11	1.5
CASE 3	2.5	1.5	0.5		CASE 6	2.5	1.5	0.5		CASE 9	2.5	0.5			CASE 12	2.5

* 東京大学生産技術研究所 第 2 部

研 究 速 報

表 3 製品の周方向形状

CASE	成形	フィン角度	管材の各部名称		
			底部	側部	縁部
CASE 1	FR-1st	30°	○	○	○
	FR-2st	10°	○	○	○
CASE 2	FR-3st	5°	○	○	○
	FR-1st	30°	○	○	○
CASE 3	FR-2st	10°	○	○	○
	FR-3st	5°	○	○	○
CASE 4	FR-1st	20°	○	○	○
	FR-2st	10°	○	○	○
CASE 5	FR-1st	20°	○	○	○
	FR-2st	10°	○	○	○
CASE 6	FR-1st	20°	○	○	○
	FR-3st	5°	○	○	○
CASE 7	FR-1st	10°	○	○	○
	FR-2st	5°	○	○	○
CASE 8	FR-1st	10°	○	○	○
	FR-2st	5°	○	○	○
CASE 9	FR-1st	10°	○	○	○
	FR-2st	5°	○	○	○
CASE 10	FR-1st	5°	○	○	○
	FR-1st	5°	○	○	○
CASE 11	FR-1st	5°	○	○	○
	FR-1st	5°	○	○	○
CASE 12	FR-1st	5°	○	○	○
	FR-1st	5°	○	○	○

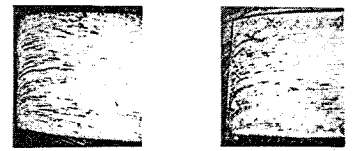


写真1 素板極縁のメタルフロー

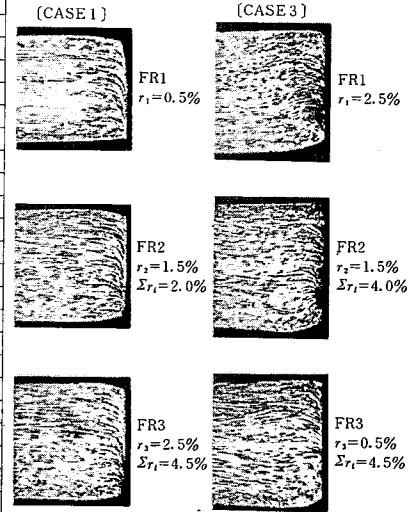


写真2 各FR通過後の板極縁のメタルフロー

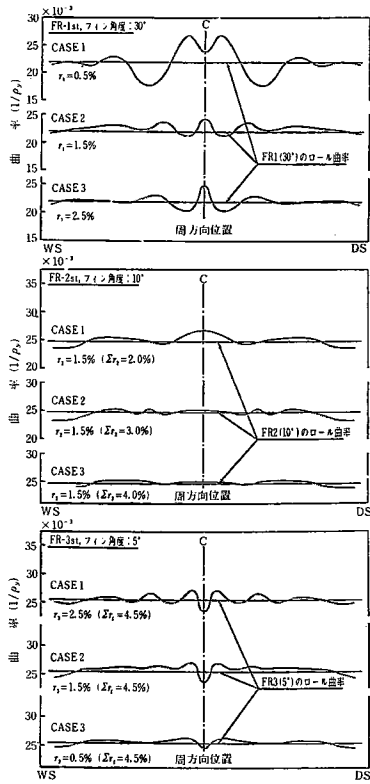


図1 周方向の曲率分布 (1/ρ_y)

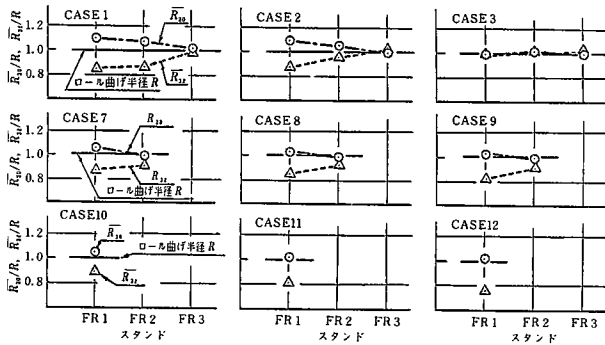


図2 板縁部の平均曲げ半径 \bar{R}_{20} , \bar{R}_{3t}

成形不十分となる。

3.2 板縁部の形状 (\bar{R}) 板縁部の形状については、上述の全体的な形状の検討とは別に、三次元座標測定機により細かく検討した。図2に板縁より20mm幅、板縁より3t mm幅の平均曲げ半径 \bar{R}_{20} , \bar{R}_{3t} の成形の進行に伴う推移の測定例を示す。さらに、板縁部の形状の評価についてまとめた結果を表4に示す。

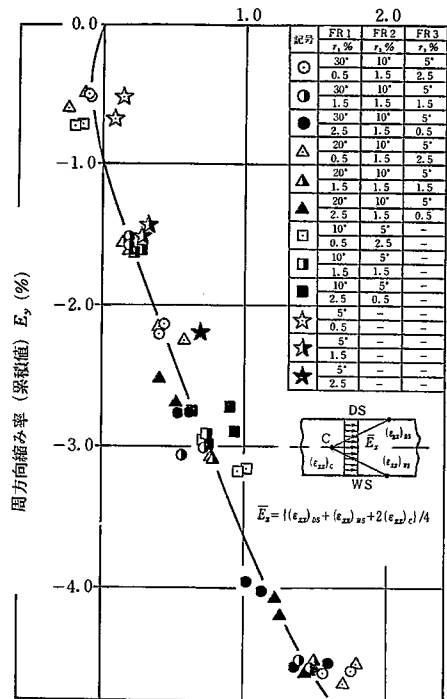


図3 周方向縮み率 (E_y) と長手方向伸び率 (E_x) の関係 (E_y , E_x とも累積値)

表 4 板縁部の形状

CASE	フィン角度		FR-1st	FR-2st	FR-3st
	\bar{R}_{10}	\bar{R}_{31}			
CASE 1	\bar{R}_{20}	●	●	○	○
	\bar{R}_{31}	○	○	○	○
CASE 2	\bar{R}_{20}	●	●	○	○
	\bar{R}_{31}	○	○	○	○
CASE 3	\bar{R}_{20}	○	○	○	○
	\bar{R}_{31}	○	○	○	○

CASE	フィン角度		FR-1st	FR-2st	FR-3st
	\bar{R}_{10}	\bar{R}_{31}			
CASE 4	\bar{R}_{20}	●	●	○	○
	\bar{R}_{31}	○	○	○	○
CASE 5	\bar{R}_{20}	●	●	○	○
	\bar{R}_{31}	○	○	○	○
CASE 6	\bar{R}_{20}	○	○	○	○
	\bar{R}_{31}	○	○	○	○

CASE	フィン角度		FR-1st	FR-2st
	\bar{R}_{10}	\bar{R}_{31}		
CASE 7	\bar{R}_{20}	○	○	○
	\bar{R}_{31}	○	○	○
CASE 8	\bar{R}_{20}	○	○	○
	\bar{R}_{31}	○	○	○
CASE 9	\bar{R}_{20}	○	○	○
	\bar{R}_{31}	○	○	○

CASE	フィン角度		FR-1st
	\bar{R}_{10}	\bar{R}_{31}	
CASE 10	\bar{R}_{20}	○	○
	\bar{R}_{31}	○	○
CASE 11	\bar{R}_{20}	○	○
	\bar{R}_{31}	○	○
CASE 12	\bar{R}_{20}	○	○
	\bar{R}_{31}	○	○

○：成形良好，●：成形不十分，●：オーバーベンド

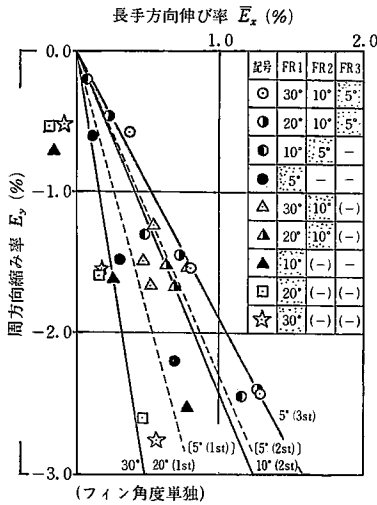


図 4 周方向縮み率 (E_y) と長手方向伸び率 (E_x) の関係 (各フィン角度単独の E_y , E_x の値)

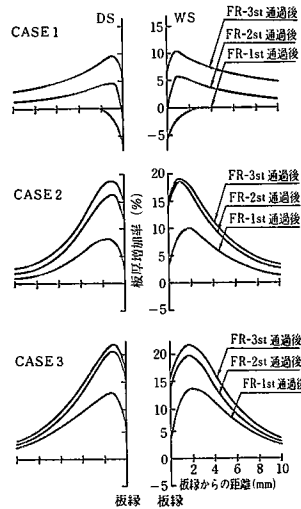


図 5 周方向の板厚増加率

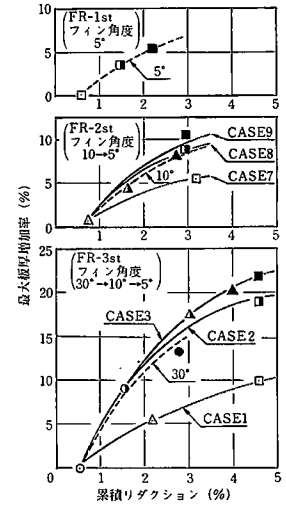


図 6 累積リダクションが最大板厚増加率に与える影響

これらの測定結果より、 \bar{R}_{20} に代表される板縁部の平均的な曲げ成形は、FR-3st 成形において、フィン角度の大きい (30°, 20°) 前段で r を概略 2.5% 以上加えると効率よく成形される。ただし、前段で r が 2.5% 以下でも後段のフィン角度 10° 以下のロールで十分な r を加え、 $\sum r_i \geq 3.0\%$ とすることにより十分成形できる。さらに、FR-2st・FR-1st 成形において、フィン角度 10° 以下のロールで急激に成形する場合でも、 r のいかんによらず \bar{R}_{20} は成形出来る。

\bar{R}_{31} に代表される素板板縁のダレやヘタリを含む形状不良は FR-3st 成形において、フィン角度の大きいロールを用いることにより修正可能であり、FR-2st・FR-1st 成形において、フィン角度の小さい (10° 以下) ロールで r を加えても十分修正できない。

以上のことより、比較的肉の薄い管の FR-3st 成形では、板縁部はロールになじみやすいこともあって、 r 配分を漸減形とした場合はもちろん、均等形か漸増形で成形した場合でも \bar{R}_{31} を十分修正できるが、比較的肉の厚い

管の場合には、板縁部の形状がでにくいことから、FR 成形の前段で高 r を加える漸減形で成形することが、板縁部の形状の向上に必要となることが考えられる。

3.3 板縁部の形状および突合わせ面の形状 (S) 写真 1 に素板板縁の形状 (S_m) およびメタルフローを示す。 S_m はダレが発生しており、素板端面は剪断面が大部分を占めている場合と相対的に大きな破断面が存在している場合とがある。両者のメタルフローを比較すると、前者の方が素板端面近傍で急激に下側へ流れていることがわかる。

写真 2 に各 FR 通過後の板縁部の形状 (S_p) およびメタルフローを示す。FR-3st 成形の場合、前段で r が 0.5% 程度以下では、突合わせ面はフィンロールに全面で当たらず、形状が修正されていない。あるいは、漸増形の r 配分で成形しても、 S_p は必ずしも十分修正されないことがわかる。成形の前段で r を 1.5% 程度以上加え、均等形か漸減形で成形すると S_p は十分ロールになじむことがわかる。一般に、板縁部のメタルフローは板厚方向

研 究 速 報

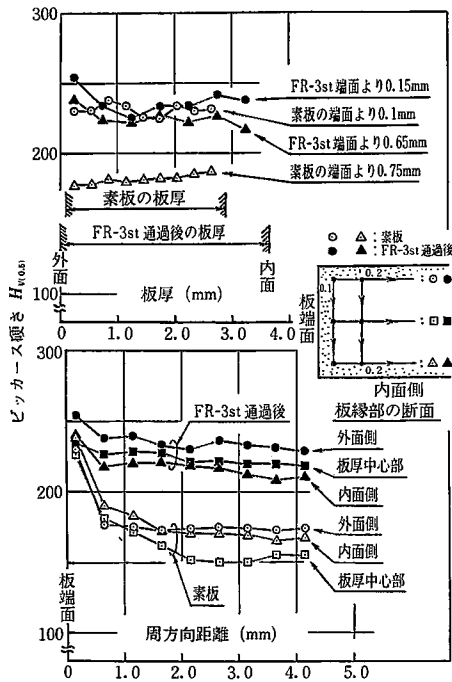


図 7 板厚方向・周方向各位置の硬度分布

にみて、 $t/2$ 以下(管内面側), 突合わせ面より 2~3 mm の範囲で変化しており, 管内面側で板厚増加の傾向もみられ, 後述する周方向の板厚分布の測定結果とよく一致している。

素板端面に破断面の突起がある素板を成形すると, FR 通過後もその突起は突合わせ面に残留し, メタルフローは渦巻状になる。もし, 溶接後も上記の突起が残留すれば, 溶接欠陥の原因になる可能性がある。

3.4 周方向縮み率 (E_y) と長方向伸び率 (\bar{E}_x) の関係
図 3 は FR 成形での周方向縮み率 (E_y) と長方向伸び率 (\bar{E}_x) の関係をみたものである (E_y, \bar{E}_x とも累積値)。 \bar{E}_x の定義は図中に示す。

FR 成形の前段で, フィン角度 10° 以上, $r \leq 1.0\%$ の場合, \bar{E}_x はわずかに縮む傾向を示すが, 全般的に FR 成形において, 成形の進行に伴い, E_y と \bar{E}_x とは約 1:0.35 の割合で発生していることがわかる。 $\sum r_i$ が同じで, r 配分の違う場合についてみると, フィン角度 5° 以下のロールで r を高くした方が \bar{E}_x は大きくなる傾向を示す。 図 4 にそれぞれのフィン角度単独の E_y と \bar{E}_x の関係をみたもので, フィン角度 $30^\circ \cdot 20^\circ$ よりも $10^\circ, 10^\circ$ より 5° の方が \bar{E}_x は大きいことがわかる。さらに, 破線は最終フィン角度が 5° の場合についてみたもので, FR-1st 成形よりも FR-2st 成形, FR-2st 成形より FR-3st 成形の方が

\bar{E}_x は大きくなることわかる。

3.5 板厚の変化 図 5 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。 FR 通過後の板厚変化をみると, 板縁から 1~2 mm の位置で板厚増加率は最大となる。 図 6 の破線は FR-1st 成形後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きくなるほど大きくなること, r が高くなるほど大きくなることと対応している。 また, 図中の実線は累積 r の増加とともに, 最大板厚増加率が大きくなる度合が, FR-3st・FR-2st・FR-1st 成形(最終フィン角度 5°) で異なる様子を示し, r 配分は漸減形の方が最大板厚増加率は大きくなる。

3.6 板縁部の硬度分布 図 7 に素板および FR-3st 成形後の製品の板厚方向・周方向各位置における硬度分布の測定例を示す。

素板の板幅方向(周方向)にみた硬度分布は, 素板端面近傍で硬度が高く ($H_{V(0.05)}230$), 端面より 1~2 mm の位置から内側へかけて一定の硬度(板厚中心部で $H_{V(0.05)}150$) 分布を示す。 板厚方向の硬度分布は端面近傍ではあまり変化しないが, 端面より 1~2 mm の位置から内側では, 板厚中心部より表層部(素板上下面)の方が高いことがわかる。 これらのことから, スリットによる加工硬化の影響は端面より 1~2 mm の範囲であることがわかる。

FR-3st 成形後の板縁部の周方向にみた硬度分布は, 突合わせ面近傍でやや高く(素板の状態より少し硬い), 突合わせ面より 1 mm 前後の位置から周方向に向かって一定の硬度(板厚中心部で $H_{V(0.05)}220$) 分布を示す。 板厚方向の硬度分布は突合わせ面近傍ではあまり変化しないが, 突合わせ面より 1 mm 前後の位置から管側部になければ, 管内面側から管外面側に向かって高くなる傾向を示す。

4. ま と め

電縫管の成形過程の FR 成形において, リグクシオン配分の検討を行い, 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。

(1982年4月5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)
- 3) 木内・新谷・江藤・高田橋: 第 32 塑加連講論集 353 (1981-11)