

電縫管の成形に関する研究 (第5報)

—フィンパス成形時の縁部のメタルフロー—

Study on Roll Forming Process of Electric Welded Pipes · 5th Report
— Behaviour of Metal-flow in Fin Pass Roll—

木内 学*・新谷 賢*・高田橋 俊夫*
Manabu KIUCH, 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)~4)}では、サイドロール・フィンパスロール(タンデム成形)による加工条件が製品の横断面ならびに縁部の形状、および長手方向・周方向・板厚方向の伸縮に与える影響について検討した。本報ではフィンパス(FR)成形において、フィン角度・リダクション(r)配分などの加工条件が縁部のメタルフロー(塑性流動)の挙動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、検討したパススケジュールを表2に示す。他の条件はBR成形・SR成形とも既報³⁾と同様である。なお、本実験では素板のスリット加工により発生するダレ・かえり

面がそれぞれ製品の外面側・内面側にくるように成形した。

3. 測定方法

各FR通過後の製品の中央部を長さ40mmに切断し、

表1 実験条件

公称製品寸法	φ76.3×3.0, t/D≒3.9%
素板材質	SS41相当熟延板
素板板厚(t)	3.0mm
素板板幅(2b)	235.0mm
素板長さ	2500.0mm
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 パススケジュール表

Ⓐ FR-3st成形

スタンド	FR 1	FR 2	FR 3	Σr ₁
フィン角度 リダクション(%)	30°	10°	5°	
CASE 1	0.5	1.5	2.5	4.5
CASE 2	1.5	1.5	1.5	
CASE 3	2.5	1.5	0.5	

Ⓒ FR-2st成形

スタンド	FR 1	FR 2	Σr ₁
フィン角度 リダクション(%)	10°	5°	
CASE 7	0.5	2.5	3.0
CASE 8	1.5	1.5	
CASE 9	2.5	0.5	

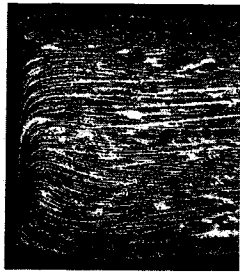
Ⓑ FR-3st成形

スタンド	FR 1	FR 2	FR 3	Σr ₁
フィン角度 リダクション(%)	20°	10°	5°	
CASE 4	0.5	1.5	2.5	4.5
CASE 5	1.5	1.5	1.5	
CASE 6	2.5	1.5	0.5	

Ⓓ FR-1st成形

スタンド	FR 1
フィン角度 リダクション(%)	5°
CASE 10	0.5
CASE 11	1.5
CASE 12	2.5

* 東京大学生産技術研究所 第2部



CASE 3
FR-3st
 $\Sigma r_i = 4.5\%$

図 1 製品縁部のマクロ組織

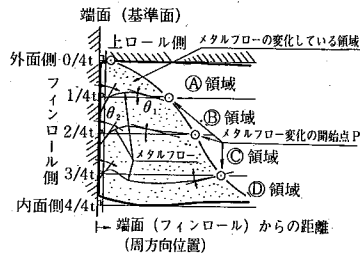


図 2 縁部の横断面

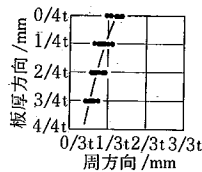
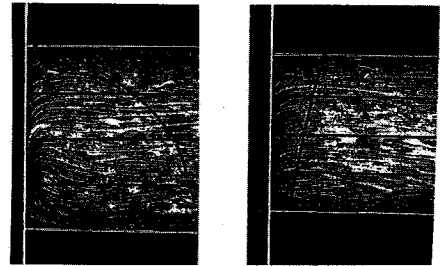


図 3 メタルフロー変化の開始点



CASE 3 FR-3st CASE 7 FR-1st

図 4 製品のメタルフローおよび変化の開始点

その両端面を研磨・腐蝕後、縁部のマクロ組織を顕微鏡観察した。素板縁部についても同様の方法で観察した。図 1 に製品縁部のマクロ組織の一例を示す。このマクロ組織の図より、メタルフローの挙動を測定した。

メタルフローの測定は図 2 に示すように、フィンロールによる圧縮変形を受けた端面を基準面とし、それと直交し、かつ内・外表面と接する直線ならびに端面に垂直な直線により、縁部を板厚方向に 4 等分し、各領域 A・B・C・D について行った。メタルフローの挙動としては、まず周方向にみてメタルフローの変化が始まる点 P とその変化量について検討した。すなわち、点 P はメタルフローのズレが発生した領域の広さに対応し、端面からの距離で表す。メタルフロー立上がり角度 (θ_1) は板厚方向の $1/4t \cdot 2/4t \cdot 3/4t$ 面上でメタルフローがこの垂線に対してなす角度の最大値とする。ただし、 $1/4t \cdot 2/4t$ 面上の θ_1 は外面側に向かって時計回りを、 $3/4t$ 面上の θ_1 は内面側に向かって反時計回りを正とする。次に、縁部のメタルフローの特性として、端面となす角度 (θ_2) の測定を行った。 θ_2 は板厚方向各位置で相当程度異なるので、A から D 領域についてそれぞれ数ヵ所測定し平均値を求めた。ただし、端面そのもの上でのメタルフローは、素板のスリット加工時に発生する端面上の凹凸がフィンロールでつぶされることにより、変化が不規則であるため除外し、実際の測定に当たっては端面より 0.1 mm の位置から 1.0 mm の範囲での測定を行った。

4. 実験結果および考案

4.1 メタルフロー変化の開始点 (P)

図 3 に成形前の素板の点 P の測定例を示す。図より、素板の点 P は板厚方向にみて、外面側で端面より遠く、内面側に向かってほぼ直線的に端面に近づく。このこと

は素板のスリット加工において、ダレの開始点が端面より遠く、かえりの開始点が端面に近いことを意味している。

図 4 に製品のメタルフローおよび点 P の一例を示す。図 5(a)(b)(c) に各 FR 通過後の点 P の測定例を示す。0/4t (外表面) 面上の点 P はダレの開始点あるいは FR 成形により修正された後の残留ダレの開始点に相当しているため、点 P (0/4t) の移動を測定することは、成形過程における極縁の形状の変化を測定することと等しいと考えられる。CASE 1 (FR-3st 成形、漸増形の r 配分) の場合、点 P (0/4t) は成形の進行とともに端面に近づく傾向を示すが、その移動は必ずしも十分ではなく、極縁の形状は十分修正されていないことがわかる。CASE 2・3 (FR-3st 成形、均等形・漸減形の r 配分) の場合、点 P (0/4t) は成形の進行とともに急速に端面に近づく。すなわち、極縁の形状は十分フィンロールの付け根の隅部になじんでくることがわかる。CASE 7・8・9 (FR-2st 成形、漸増形・均等形・漸減形の r 配分) および CASE 10・11・12 (FR-1st 成形) の場合、点 P (0/4t) は端面より離れた位置にとどまり、極縁の形状は十分修正されないことがわかる。これらのことは前報⁹⁾の縁部の形状および極縁の形状の推移の測定結果とよく対応している。

以上は外表面またはその直下のメタルフローの変化と極縁の外形状との対応についてみた結果であるが、板厚方向全体にみた点 P の移動については一般に、FR 成形の r が 0.5% 程度以下の場合、フィン角度の如何によらず、フィンロールによる端面の圧縮変形は端面とその直下に限定され、FR 成形の r が 1.5% 程度以上になると、フィン角度大、かつ内面側ほど、点 P は端面より遠ざか

研究速報

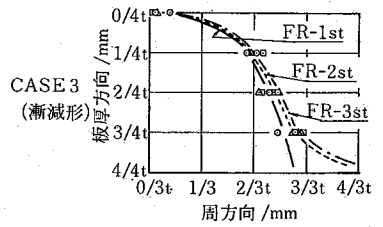
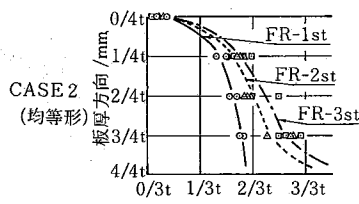
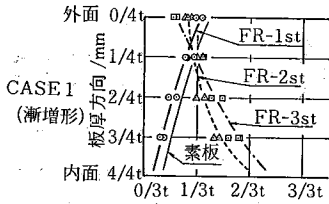


図5(a)メタルフロー変化の開始点

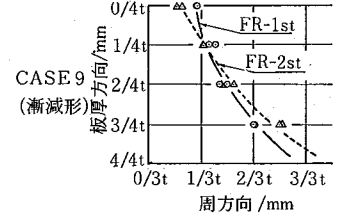
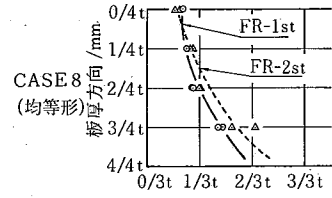
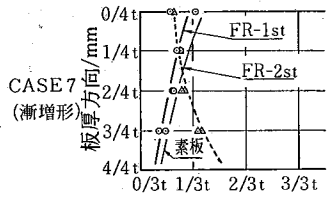


図5(b)メタルフロー変化の開始点

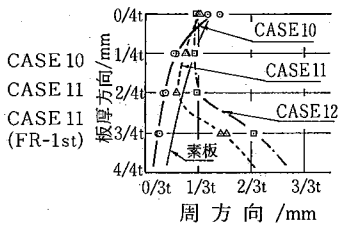


図5(c)メタルフロー変化の開始点

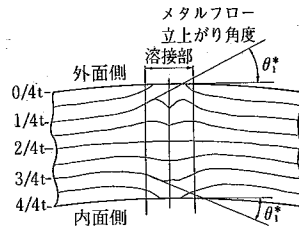


図6 溶接部のメタルフロー

る傾向を示す。このことは端面の圧縮変形により余った材料が肉ぶとりとなり、内面側に集まってくることに対応している。

4.2 メタルフロー立上がり角度 (θ_1)

一般に、電縫管の溶接部の板厚方向1/4tまたは3/4t面上のメタルフロー立上がり角度(θ_1^*) (図6参照)は溶接部の品質評価の因子として用いられ、 θ_1^* が60°~70°以上になるとビードカット後のクラックの発生、 θ_1^* が10°~20°以下になると溶接部の強度不足、などの問題があるといわれている。 θ_1^* に影響する加工条件は溶接入熱、溶接速度、アセット量、 t/D 、など⁵⁾があるが、FR成形後のメタルフロー立上がり角度(θ_1)も大きな影響を与えるものと考えられる。そこで以下にその測定結果を示す。

図7に各FR通過後の θ_1 の測定例を示す。FR-3st成形では、漸減形のr配分で成形した方が1/4t・2/4t・3/4t面上に発生する θ_1 は大きい。これらの場合、溶接前の θ_1 の値は10°前後である。FR-2st・FR-1st成形では、1/4t・2/4t面上でのメタルフローの立上りはほとんど認められず、3/4t面上でのみ θ_1 が最大5°程度発生している。これらの θ_1 の値は溶接時の端面の突合わせにより増大することが予想されるが、その際の変形挙動については未だ検討されておらず、FR成形後の θ_1 として上述の値

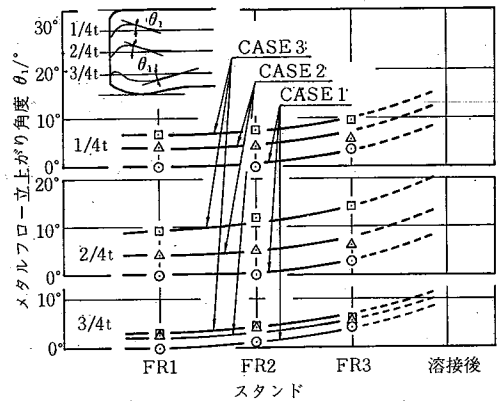


図7 各FR通過後のメタルフロー立上がり角度

が適正であるか否かの判断する基準がない。この点については今後検討する予定である。

4.3 メタルフローの対端面角度 (θ_2)

塑性流動発生域(端面と点Pとの間の領域)内でのメタルフローの端面に対する角度(θ_2)の周方向にみた分布の測定結果を以下に示す。図8は端面より0.1mmの位置における θ_2 の測定例を示す。図より、端面の θ_2 は外面側ほど小さく、内面側ほど大きい。この結果より、外面側の領域ほど端面のメタルフローは急角度に内側に曲げ

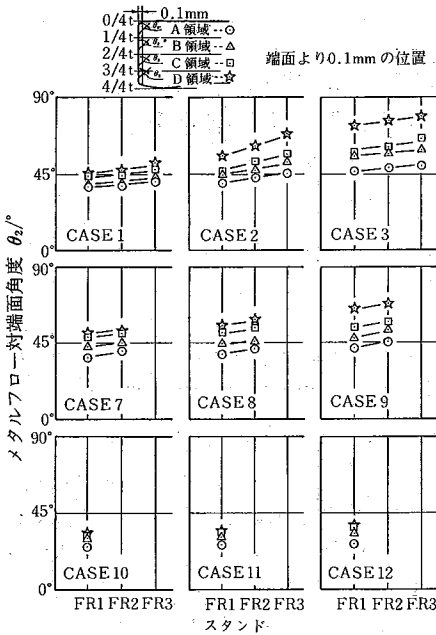


図8 端面のメタルフロー対端面角度

られていることがわかる。さらに、フィン角度が大きいくほど、漸減形の r 配分で成形するほど、端面の θ_2 は大きくなる。ただし、一般にFR成形において端面の θ_2 の値は 90° 以上にはならず、メタルフローは常に内側に向かっていることがわかる。

図9(a)(b)に周方向各位置における θ_2 の測定例を示す。FR成形の進行に伴いメタルフローの内側への傾きはしだいに修正され、端面から遠ざかるにしたがって θ_2 の値は 90° に近づく。かつまた、漸減形の r 配分で成形するほど、修正の度合は大きい。ところで、A領域からC領域にかけては端面から遠ざかるとともに θ_2 は単調に 90° に近づくが、D領域では $\Sigma r_i \geq 1.5\%$ になると端面より遠ざかるにつれ、 θ_2 は増大して一度 90° 以上になった後に再び減少して 90° に戻る傾向を示す。このことは板厚増加の最大値が端面より 1.0 mm 前後の位置にあることと対応している。

5. まとめ

電線管の成形過程のFR成形において、縁部のメタルフローの挙動について検討し、以下のことが判明した。

(1)FR成形における r が約 0.5% 以下の場合、フィン角度の如何によらず、メタルフローの変化は端面とその直下に限定されており、FR成形の r が約 1.5% 以上の場合、フィン角度大、内面側ほどメタルフローの変化は周方向に伝播していく傾向を示す。(2)FR-3st成形で $1/4t \cdot 2/4t \cdot 3/4t$ 面上において、漸減形の r 配分で成形した

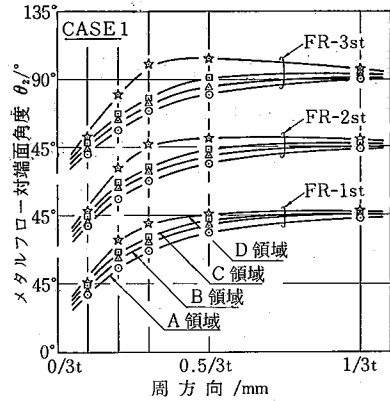


図9(a)周方向のメタルフロー対端面角度

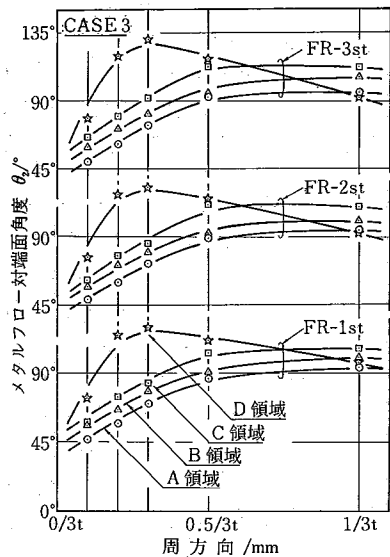


図9(b)周方向のメタルフロー対端面角度

方がメタルフロー立上がり角度 θ_1 は大きく、FR-2st成形・FR-1st成形では、 $1/4t \cdot 2/4t$ 面上において r の如何によらずメタルフローの立上がりは認められず、 $3/4t$ 面上のみ発生する。(3)メタルフローの対端面角度 θ_2 は、端面で外面側の領域ほど急角度に内側へ曲げられ、 45° 以下となる場合が多い。 $\Sigma r_i \geq 1.5\%$ になるとD領域の θ_2 は一度 90° 以上になった後再び減少して 90° に戻る傾向を示す。
(1982年9月16日受理)

参考文献

- 1) 木内・新谷・江藤：昭55 塑加春講論 287 (1980-5)
- 2) 木内・新谷・江藤：第31 塑加連講論 315 (1980-11)
- 3) 木内・新谷・江藤・高田橋：第32 塑加連講論 353 (1981-11)
- 4) 木内・新谷・高田橋：昭57 塑加春講論 675 (1982-5)
- 5) 神崎：第50・51 回西山記念技術講座 183 (1978-2・3)