

討18 電縫鋼管のフルケージロールフォーミングの成形特性

川崎製鉄 技術研究所 ○豊岡高明 榎並禎一
 知多製造所 南谷昭次郎 渡辺修三
 山梨大学 工 学 部 小野田義富 植松 司

1 緒 言

従来中径電縫鋼管の製造には孔型ロール成形方式が多く採用されてきたが、最近における中径電縫鋼管の高強度化、大径化傾向にともない、ケージロール成形方式の有効性が再確認されはじめた。当社のフルケージ成形方式の電縫鋼管ミルは、フィンパス成形にいたるまでの曲げ成形ラインに数10個の対になったケージロールを配列し、あわせてダウンヒル成形を採用することにより、従来の孔型ロール成形に比べて拘束の弱い自然な空間成形を行いエッジストレッチを低減し、生産性の向上と製造範囲の拡大をはかったものである。電縫鋼管の溶接品質を向上するには、溶接条件はもとより、ブレイクダウン、フィンパスおよびスクイズロールにいたる成形条件の最適化がきわめて重要である。本報告では、フルケージロール成形の成形過程での材料の変形挙動、エッジウェーブ発生に及ぼすフィンパス及びダウンヒル成形条件の影響などについて報告する。

2 実験方法

実験には26インチの電縫鋼管ミルと4インチのモデルミルを用いた。いずれもケージロール成形方式のミルであり、それらのロール配列をFig.1およびFig.2に示す。

26インチミルではAPI 5L X X 5 2およびX 6 0用熱延鋼板を用いた。成形中の相対ひずみはFig.3に示すように成形材コイルのエッジ、センターおよびエッジ板厚端面へひずみゲージをはりつけて測定した。

4インチミルに用いた供試材は、315W × 1.0 t × 4000 ℓ mm、 $\sigma_y \approx 34$ (kgf/mm²)相当の冷延鋼板であり、製品外径は約100mmでt/D約1%の薄肉管である。4インチミルでは、フィンパスロール成形での素管の増肉現象、エッジウェーブ発生に及ぼすフィンパスおよびダウンヒル成形条件の影響などについて調査した。

3 実験結果及び考察

3-1 成形過程でのひずみ変化

26インチミルにおける各成形過程での材料の長手方向および幅方向の相対ひずみ変化をFig.4に示す。最終ケージロールから第1フィンパスロール(1F)にかけての成形域で帯板エッジの急激な圧縮変形が認

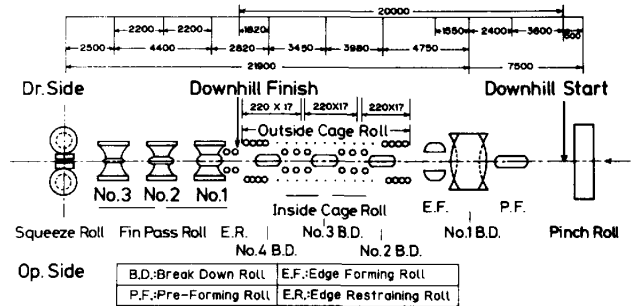


Fig.1 Layout of 26 inch cage forming ERW pipe mill

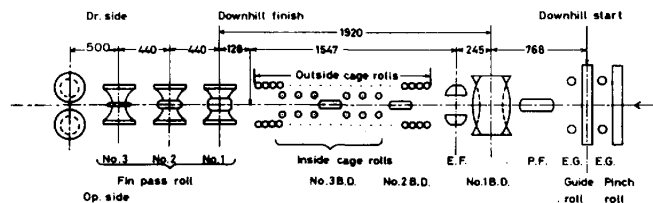


Fig.2 Layout of cage forming model mill

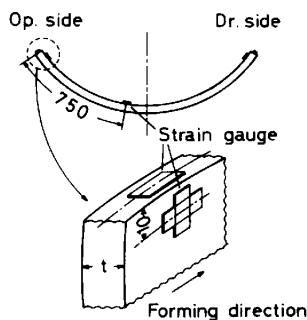


Fig.3 Strain gage position on the surface of sheet material

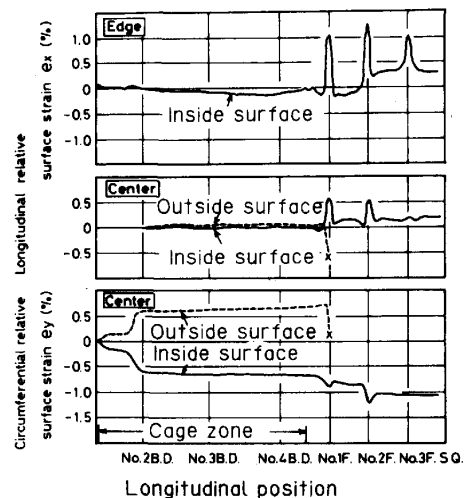


Fig.4 Longitudinal and circumferential surface strain in cage and fin pass forming

められる。これは³⁾、ロール直下前後におけるロールへのなじみによる成形材の曲げ-曲げ戻し成形、成形材各部(たとえばエッジとセンター)での空間的軌跡長差にもとづく長手方向への圧縮・引張変形、エッジの無拘束によって生じる材料の周方向(C方向)スプリングバックに伴う長手方向の変形などの成形要因が重複して発生しているものと考えられる。エッジへの急激な圧縮ひずみの付加は、エッジバックリングを招来する危険がある。エッジ拘束ガイドロール(E.R.)の設置は、Fig.5に示すように圧縮ひずみの発生防止に効果が認められる。

通常の孔形ロールミル(Mckay 20インチミル)と本ケージロールミル(IHI-Yoder 26インチミル)における成形造管時のエッジ長手方向相対ひずみ変化をFig.6に比較して示す。孔形ロール成形においては、ロール進入前後に急激な引張-圧縮変形が認められエッジストレッチの増大が予想されるが、ケージロール成形では、わずかなひずみ変化を示すのみであることからその有効性が予測される。

3-2 最終ケージロール出側における成形フラワー

ケージロールフォーミングはC方向のポイント成形であるため、最終ケージロール出側の成形フラワーがFig.7に示すように角張る傾向にある。

薄肉管では後工程のフィンパス成形によって、この角張りフラワーは容易に矯正されるが、厚肉管では矯正の際、大きな成形荷重を必要とし、エッジは過大な増肉を伴う。厚肉管のこれらの問題点について検討を加えたところ、エッジバンド長さの短縮、ケージ内インサイドロールの張出し量を少なくすることにより、Fig.8に示すように最終ケージロール出側フラワーの角張り量が少なくなり成形荷重、エッジの増肉が軽減されることがわかった。

3-3 フィンパスロール成形での増肉特性

各フィンパスロール成形後の増肉率分布をFig.9に示すが、エッジ周辺において大きく増肉し、しかもそれが1Fで起っていることがわかる。1F、2Fでの外周長変化による絞り量がそれぞれ0.93%、0.18%と前者の方が大きい(Table 1)のに対して、1F、2Fでのセンター幅方向表面ひずみ変化は、それぞれ0.12%、0.23%とかえって後の方が大(Fig.4)であった。2Fでの場合、実測内表面ひずみ(曲げひずみ+圧縮膜ひずみ)の差(0.23%)が、フィンパスボトムロールカリバーから求めた1F~2F間の曲げひずみの差(0.05%)と外

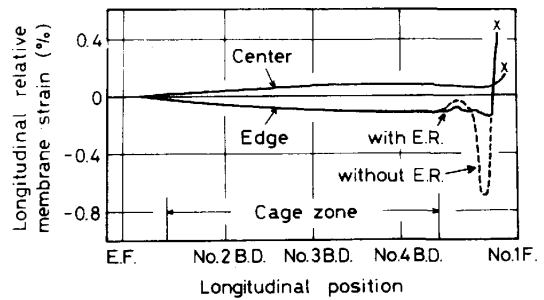


Fig.5 Longitudinal relative membrane strain in cage forming process

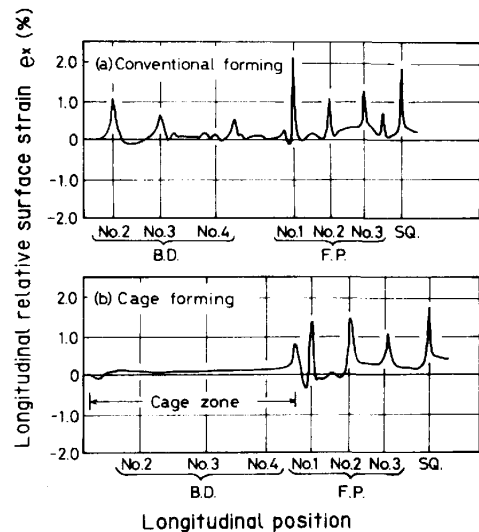


Fig.6 Comparison of longitudinal surface strain at the sheet edge between conventional and cage forming process (18in.# x 0.312 in.t x 52)

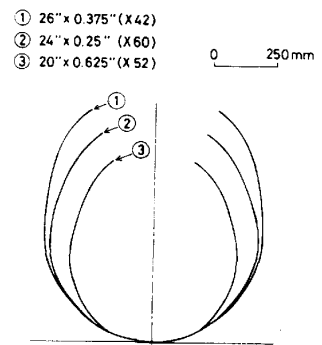


Fig.7 Forming flowers at the exit side of the last cage roll

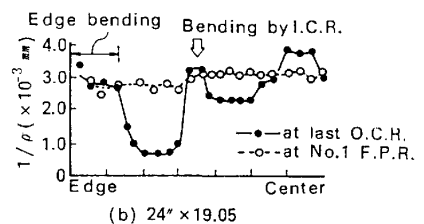


Fig.8 Circumferential curvature

周長基準絞り率 (0.18%) との和によく一致していることから、圧縮膜ひずみは円周方向に均等に分布しているといえ、このために 2 F では円周方向にほぼ均等に増肉すると考えられる。1 F の場合についても同様に考察すると圧縮膜ひずみのほとんどがエッジ周辺に集中していることがわかり、このためにエッジの増肉が大になると考えられる。

3-4 エッジウエーブの急峻度と長手方向のそり曲率に及ぼすダウンヒル量、フィンパス成形の影響

エッジウエーブ急峻度 (D/P) (D: エッジウエーブの深さ、P: エッジウエーブのピッチ) と素管の長手方向のそり曲率 (1/ρ) に及ぼすダウンヒルおよびフィンパス成形条件の影響について、4 インチのモデルミルを用いて調査した。

本実験での管底のダウンヒル曲線は 26 インチミルのダウンヒル係数の変化をもとにして、ダウンヒル量が 0.4、0.6、0.8、1.0 × O.D. の 4 条件のものとした。フィンパス成形条件を Table 2 に示す。フィンパスリダクション条件としてはトータルリダクションを 3 条件 (0.789、1.106、1.424%) フィンパス圧下配分を 3 条件 (A: ほぼ均等圧下、B: 1 F やや強圧下、C: 1 F 強圧下) とし、合計 9 条件を設定した。

Fig.10 より、エッジウエーブの激しさはダウンヒル量ならびにフィンパス成形条件によって大きく影響されることがわかる。これは、エッジウエーブの発生原因と考えられる比較的エッジ近傍での長手方向ひずみ分布がダウンヒル量ならびにフィンパス条件によって変化するためと考えられる。本結果より、エッジウエーブ防止の適正条件としてはダウンヒル量を 0.6 ~ 1.0 × O.D.、フィンパス成形条件をトータルリダクション約 0.8 ~ 1.1% の 1 F 強圧下配分とすることが望ましい。

管周方向全体の長手方向ひずみ分布に起因すると考えられる管の長手方向のそりは Fig. 12 に示すように、特にフィンパスロール圧下配分に大きく影響されることがわかる。そり量の少ない条件は、1 F 強圧下の漸減型リダクション配分でありエッジウエーブ発生防止の条件と同じである。

Table 2 Fin pass forming condition of model mill experiment

Fin pass forming condition	Reduction (%)			Σ r _i (%)	
	r ₁	r ₂	r ₃		
①	A	0.346	0.253	0.190	0.789
	B	0.473	0.221	0.095	
	C	0.694	0.095	0	
②	A	0.473	0.348	0.286	1.106
	B	0.662	0.317	0.127	
	C	0.979	0.127	0	
③	A	0.599	0.444	0.382	1.424
	B	0.852	0.413	0.159	
	C	1.265	0.159	0	

Downhill height D.H. = η × O.D.
η = 0.4, 0.6, 0.8, 1.0

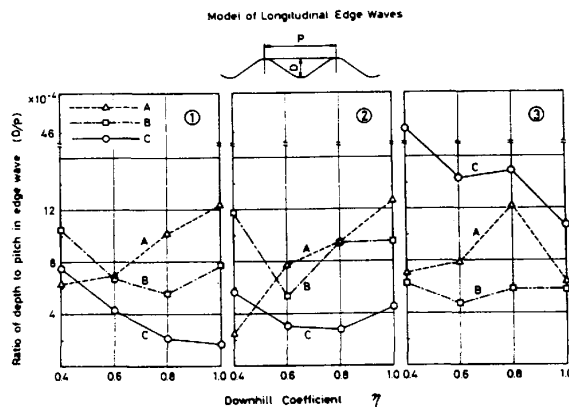


Fig. 10 Effect of downhill and fin pass forming conditions on edge wave in cage forming mill

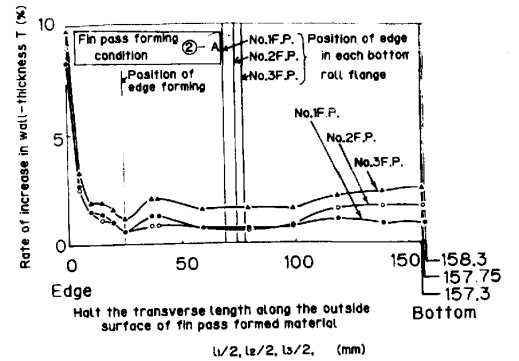


Fig. 9 Distribution of (T) at the exit side of each fin pass roll in model mill

Table 1 Forming conditions on circumferential length of sheet along the outside surface

Measured Positions		Circumferential Length (mm)	Reduction (%)
P.F.	Entry Side	1927.3	-0.89
No.1 F.P.	Entry Side	1944.5	
No.1 F.P.	Exit Side	1926.5	0.93
No.2 F.P.	Exit Side	1923.0	0.18
No.3 F.P.	Exit Side	1923.1	≈ 0
S.Q.	Exit Side	1922.0	

P.F.: Pre-Forming Roll, F.P.: Fin Pass Roll

S.Q.: Squeeze Roll

(Pipe size : 24in. × 0.25in. API 5LX X60)

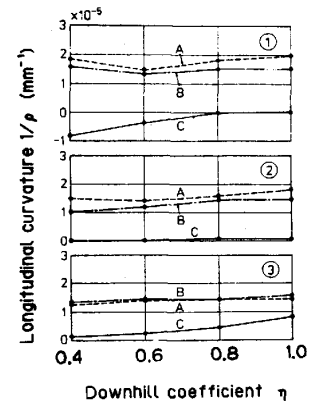


Fig. 11 Influence of downhill and fin pass forming condition on longitudinal curvature of pipe

3-5 フィンパス成形における素管先後端の成形特性

4インチモデルミルで素管先後端の成形特性を調査した⁵⁾。フィンパススタンド成形後の素管の開口幅W及びオーバリティに及ぼす1Fの絞り率の影響をFig.12、13に示す。素管先端部は各フィンパスロール通過後、スプリングバックによりエッジ開口幅が大きくなり横長化する。そのため、次工程のフィンパスロール(又はスクイズロール)に進入する際に押し込み成形となり、エッジに大きな圧縮力が作用し、エッジウエーブが発生すると考えられる。

各スタンド間のエッジガイドロールおよびサイドロールの設置は、Fig.13に示すようにエッジウエーブを防止するのに有効である。

4 まとめ

フルケージロールフォーミングの成形特性について、26インチと4インチミルを用いて検討を加え、つぎのような結果を得た。

- (1) ケージロール成形では、通常の孔型ブレイクダウンロール成形にくらべるとケージゾーン内の相対ひずみはきわめて小さく、かつ滑らかな変化を示す。
- (2) ケージロール成形では、エッジ長手方向ひずみはケージゾーン内で圧縮ひずみが漸増するが、以後第1フィンパスロールに進入する直前でやや大きな引張-圧縮変形を受ける。
- (3) ケージロール成形では、ケージゾーン内でC方向のポイント成形がなされるため、最終ケージロール出側の成形フラワーが角張る傾向にある。
- (4) フィンパス成形過程中、エッジが大きく増肉するが、そのほとんどが第1フィンパスロールで起る。
- (5) エッジウエーブの激しさおよび管のそりの程度は、ダウンヒル量およびフィンパス成形条件によって大きく影響される。
- (6) エッジウエーブ、そり防止のための最適条件としては、ダウンヒル量を $0.6 \sim 1.0 \times O.D.$ 、フィンパス成形条件をトータルリダクション $0.8 \sim 1.1\%$ の1F強圧下配分とすることが望ましい。
- (7) 素管先端部は、各フィンパススタンド間でスプリングバックにより横長かつ開口幅大の形状となる。そのため、次工程のロールに進入する際に押し込み成形となり、エッジに大きな圧縮力が作用し、エッジウエーブが発生する。

参考文献

- 1) 田村、細川、吉本、大出、近藤、黒崎、杉本：川崎製鉄技報、11(1979)3、143
- 2) 本城、中村、磯部：石川島播磨技報、19(1979)2、67
- 3) 鈴木、木内、中島、市田山：塑性と加工、11(1970)112、315
- 4) 富永、豊岡、渡辺、南谷：鉄と鋼、13(1984)70、S1160
- 5) 富永、豊岡、河津、南谷、小野田、植松、：鉄と鋼13(1984)70、S1161

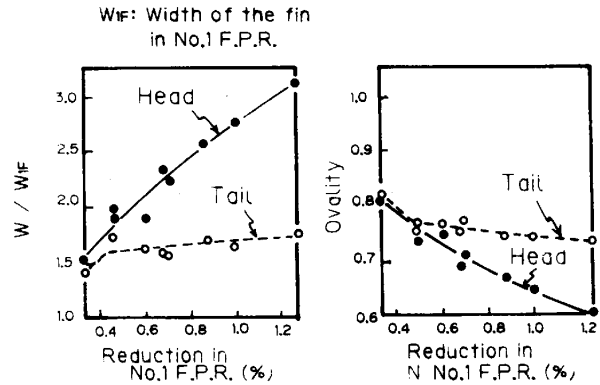


Fig.12 Spring back of the head and tail in the pipe after passing through No.1 F.P.R.

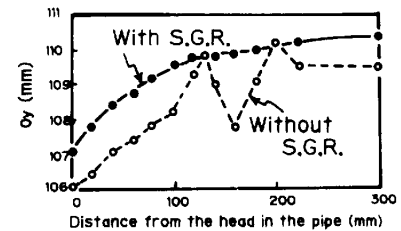


Fig.13 Decrease of edge wave side guide rolls