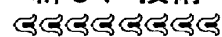


新しい技術

UDC 669.14-462.3 : 621.774.3



プレスロール穿孔法の工業化による新継目無鋼管製造法の開発

合 田 照 夫*

Development of New Seamless Rolling Method by Industrializing Press Roll Piercing Method

Teruo GÔDA

1. 緒 言

中径継目無鋼管の製造において、連続鑄造角鋼片の直接使用による素材コストの低減および寸法精度、表面性状等製品品質の飛躍的向上を目的として、プレスロール穿孔法の工業化による新継目無鋼管製造法を開発実用化した。その技術的概要は次の通りである。(1)昭和47年～昭和49年の3年間にわたり、連続鑄造鋼片を使用する穿孔法の工業化研究を行い、多くの改善技術を開発して新日鉄方式によるプレスロール穿孔法として実用化に成功した。(2)さらに、その工業化研究において、傾斜ロール圧延法により、プレスロール穿孔法とプラグミル圧延法を結合した新継目無製管プロセスを開発実用化した。本製管プロセスは新日鉄生産技術研究所、八幡製鉄所ならびに東京製造所における開発工業化試験により完成したもので、昭和52年10月以降、八幡シームレス鋼管工場に適用され、ほぼ100%の連続鑄造角鋼片を使用し、今日まで100万tを超えた生産実績を得ている。また、中径継目無鋼管の難点とされていた寸法精度、特に偏肉率は平均3～4%、最大10%以下に維持されており、これは極めて優れた品質水準にあるといえる。ここにその新技術の概要を紹介する。

2. 開発の背景

継目無鋼管製造法としては、ドイツのマンネスマン兄弟によつて1885年に発明されたいわゆるマンネスマン穿孔法が今日まで約1世紀にわたり大量生産用の穿孔技術としての地位を占めてきた。この間多くの改善がはかられ、現在では完成された技術として世界大半の継目無鋼管工場で採用されている。

マンネスマン穿孔法は、素材をパスラインに対して傾斜したロールで回転圧延しその軸芯部に孔があきやすい状態にしてプラグで穿孔する方法である。そこで使用される素材は極めて苛酷な加工を受けるため、素材に対す

る品質要求は厳しく、一般に分塊圧延により十分鍛錬したものを更にピーリングして用いられることが多い。連続鑄造ままの素材を傾斜ロール穿孔法で穿孔する場合には、写真1に示すごとくプラグの前でもみ割れが生じやすく、これが内面疵の原因となる。また傾斜ロール穿孔に伴う大きな剪断変形により疵が助長されやすい。従つて連続鑄造鋼片の直接使用は品種および最大サイズの制限を受け、中径継目無鋼管用素材としての100%使用には画期的な技術開発を必要とすることが明らかとなつた。また中径継目無鋼管製品の寸法精度特に肉厚精度は電縫管に比較して劣つており大幅な改善が望まれていた。

3. プレスロール穿孔法の開発工業化

3.1 プレスロール穿孔法の起源

プレスロール穿孔法は材料に押込力を使用させてプラグ上に押し込んで穿孔し、ロールカリバーによつて外面を成形する方法であり、ホリングスの1897年独特許にその起源を見ることが出来る。カルメス¹⁾が1963年に西独に出願した特許技術は、角鋼片に軸線方向圧力を加えて、プラグ上に押し入ると同時に円形カリバーによつて成形する方法でありPPM法と呼ばれている。先行技術との差異は、先行技術がプラグにより穿孔したのちカリ

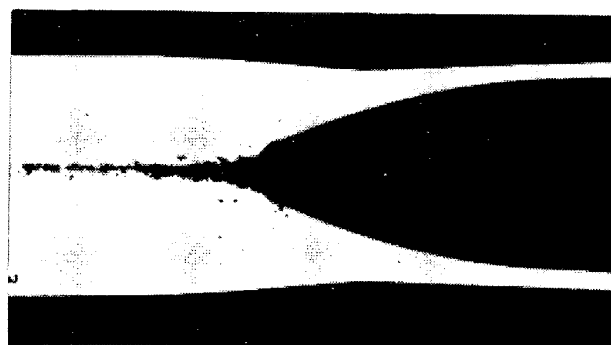


写真1 傾斜ロール穿孔法に発生するもみ割れ

昭和56年1月26日受付 (Received Jan. 26, 1981) (依頼新しい技術)

* 新日本製鉄(株)八幡製鉄所 (Yawata Works, Nippon Steel Corp., 1-1-1 Edamitsu Yawatahigashi-ku Kitakyushu 805)

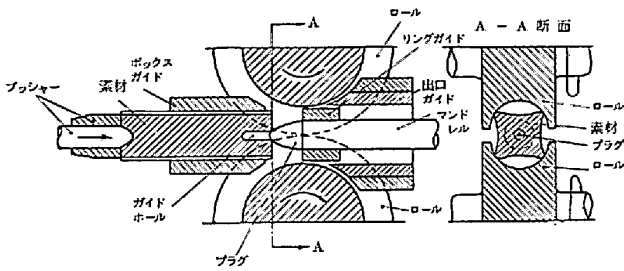


図 1 カルメスの PPM 穿孔法の特許技術

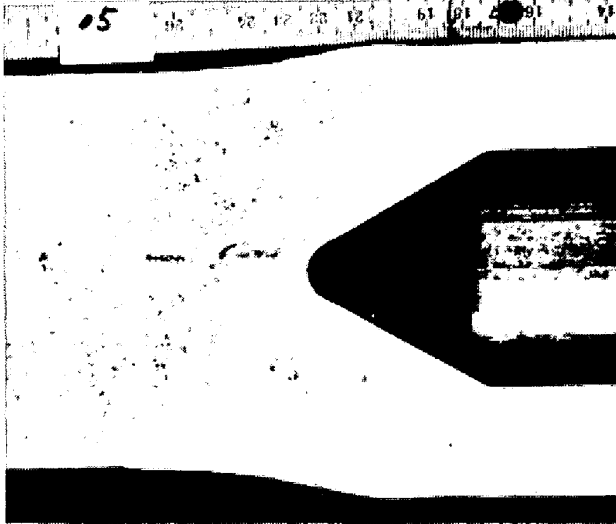


写真 2 連続鋳造材のセンターポロシティ圧着状況

パーで圧延するのに対し、カルメスの特許技術は穿孔と圧延が同時に開始されることにある。

3.2 プレスロール穿孔法の原理解明と基礎的研究

プラスチックモデルミルと小型熱間モデルミルによる研究結果を反映して、1/3 スケールの工業化試験用プレスロール穿孔機を設計製作し基礎的研究²⁾を行った。

プレスロール穿孔においては写真 2 に連続鋳造材のセンターポロシティの圧着状況を示すように、センターポロシティはプラグの先端で完全に圧着されている。これはプレスロール穿孔が圧縮応力によって行われていることを示している。この連続鋳造材を引き続き 1/4 スケールの工業化試験用傾斜ロール圧延機で圧延し、メタルフロー・疵の変化・形状寸法の変化を評価した。その結果連続鋳造材から内面性状のすぐれた素管が得られ、傾斜ロール圧延などの通常の製管プロセスに十分適用できることを確認した。

また工業化試験用プレスロール穿孔機の実験結果を、方向余弦を利用する三次元変形解析により理論検討して圧延負荷計算式を作成した。この結果適正規模の生産用プレスロール穿孔機のミル設計基準が確立された。

3.3 プレスロール穿孔法の工業化への課題

工業化試験用プレスロール穿孔機のテスト結果から、プレスロール穿孔法は低歪み圧縮応力の有利な変形であること、及びプラグ寿命は従来の技術で十分対応可能で

あることが明らかとなったが、操作性及び品質に関する次の 3 項目が課題として残った。

3.3.1 噛み込み性

押込応力 σ_k が素材の降伏応力 σ_m 以下の値では、プラグによる穿孔力が確保できず、噛み込み不良になる場合がある。図 3 に示すように押込応力 σ_k が降伏応力 σ_m 未満では、噛み込み不良が 10% 以上発生するが、降伏応力 σ_m 以上に設定して穿孔すれば、噛み込み性は著しく改善される。

3.3.2 通管性

噛み込み性を向上させるため降伏応力 σ_m よりも大きな値に設定すると、素材は膨脹を起こす場合がある。

プレスロール穿孔法で穿孔途中止めた素材の断面寸法を測定すると、膨脹量は両端付近で特に大きく最大 7~10% にも達する。図 2 のボックスガイドと素材のクリアランスが小さいと素材とガイドが接触して摩擦力が発生する。その結果押込力がロール直下まで伝達されず穿孔が不可能となり途中止りをおこす。この現象を防止するためには、ボックスガイドとのクリアランスを 10% 程度まで大きくとることが必要となる。

3.3.3 偏肉

偏肉率とは素管の横断面内の素管肉厚を測定し、最大肉厚を t_{max} 、最小肉厚を t_{min} 、平均を t_{mean} として (1) 式で求めた値である。

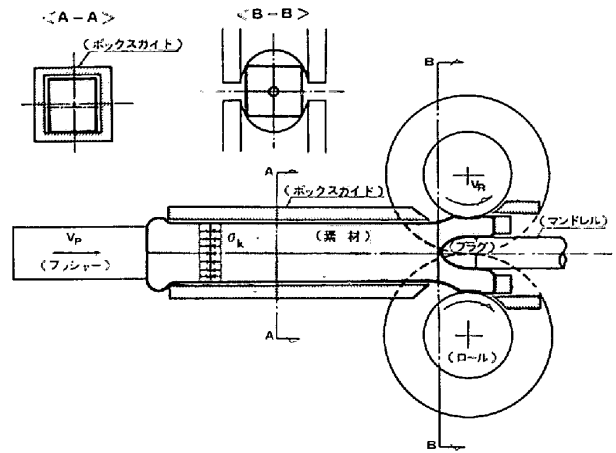


図 2 プレスロール穿孔法の課題

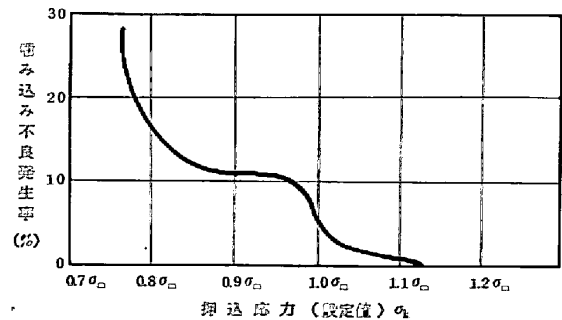


図 3 噛み込み不良発生率と押込応力

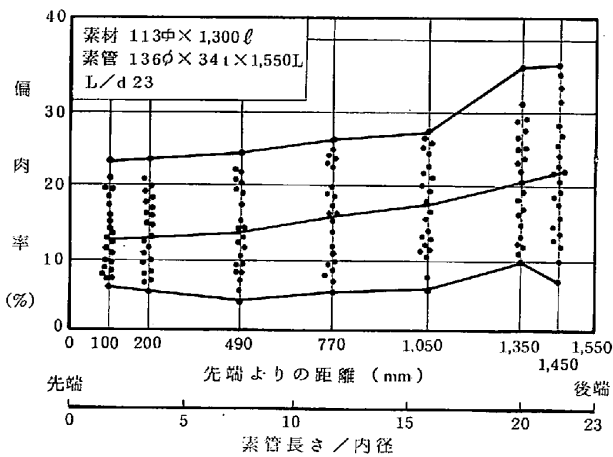


図4 プレスロール穿孔における偏肉現象

$$\text{偏肉率} = (t_{\max} - t_{\min}) / t_{\text{mean}} \times 100(\%) \dots (1)$$

前述の途中止りを防止するためガイドとのクリアランスを増加させると偏肉率は悪化する。また素管の先端から後端になるに従い偏肉率は悪化する。そこで素管長さ/内径 (L/d) が 20~24 程度になると後端の偏肉率は平均 20% を越え実用上問題となる。

新製管プロセスの製品製造範囲において通常製品で 12 m 製品長さを確保するためプレスロール穿孔にて長尺素管が必要とされ、 L/d で 40 まで確保する必要がある。また製品偏肉率最大 10% 以内、平均 3~4% を目標とすると、次にのべる傾斜ロール圧延での偏肉矯正効果を考慮して、プレスロール穿孔後の素管偏肉率を平均で 18% 以下、最大 25% 以下を確保することが必要である。

3.4 プレスロール穿孔法の工業化技術

プレスロール穿孔法工業化への主要開発技術項目は下記 3 点である。これらの開発技術により完成されたプレスロール穿孔法を図 5 に示す。

3.4.1 プッシャーとロールの速度制御法

前述の噛み込み不良及び途中止りの現象は、素材の押込応力の経時変化にかかわる問題である。図 6 にプッシャー速度 V_P とロール速度 V_R の比を変えてテストした穿孔状況を模式的に示すが、プッシャー速度 V_P とロール速度 V_R の比が素材押込応力 σ_k を主体的にきめており、操業性を支配していることが明らかとなった。

(1) V_P/V_R が大きすぎる場合：プッシャー速度 V_P がロール速度 V_R よりも著しく速いと、素材押込応力 σ_k は降伏応力 σ_m を常にこえる結果、素材の膨脹は著しくなり、ガイド内で素材が詰る途中止り現象を生じる。

(2) V_P/V_R が適正な場合：噛み込み時、押込応力 σ_k が降伏応力 σ_m を超える値に設定して、穿孔開始すれば 100% 正常に噛み込む。噛み込み完了以降は押込応力 σ_k を降伏 σ_m 未満の値になる様にプッシャー速度 V_P とロール速度 V_R を制御して穿孔すれば素材の膨脹は少なく正常な穿孔ができる。この条件は(2)式によって達成できる。

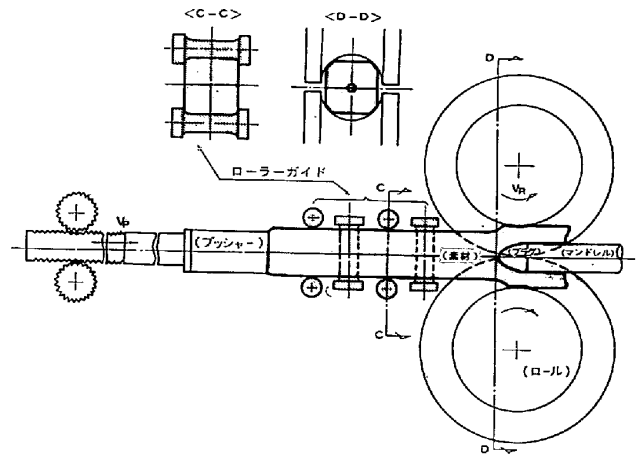


図5 開発されたプレスロール穿孔法

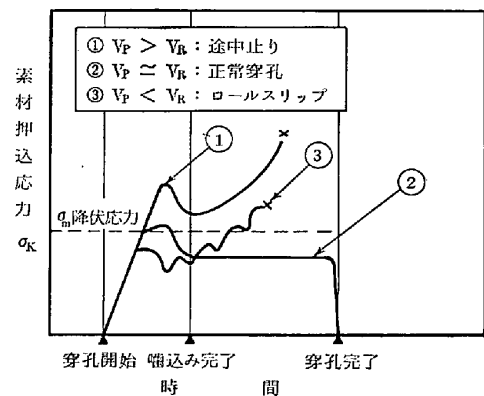


図6 プレスロール穿孔条件と穿孔過程の関連模式図

$$V_R = K \times V_P \dots \dots \dots (2)$$

ただし $K = \alpha \times \beta$ (α は圧減比, β は鋼種, 温度, 素材位置などによる定数)

(3) V_P/V_R が小さすぎる場合：プッシャー速度 V_P が著しく遅いと、穿孔開始時素材の押込応力 σ_k は降伏応力 σ_m 以下となる。穿孔条件が整えば (例えば素材先端温度, 摩擦係数などの条件) そのまま低応力でもうまく穿孔完了する場合があるが、ロールと素材の間でスリップ現象を起こして穿孔作業が不安定になりやすい。

図 7 に開発した V_P, V_R 制御例を示すがその特徴は ①穿孔開始時素材は圧延方向に降伏応力以上の押込応力を受ける。従って素材は圧縮変形を受けるので素材の先端速度 V_K はプッシャー速度 V_P よりも遅くなり、素材とロールの間でスリップを生じる。そこでロール速度を ΔV_R だけ下げても噛み込ませてスリップを防いでいる。更に ②噛み込み完了後は(2)式に従って制御し穿孔することである。本法の開発によって噛み込み不良を完全防止し、素材の後端部の膨脹を極小にすることが可能となった。

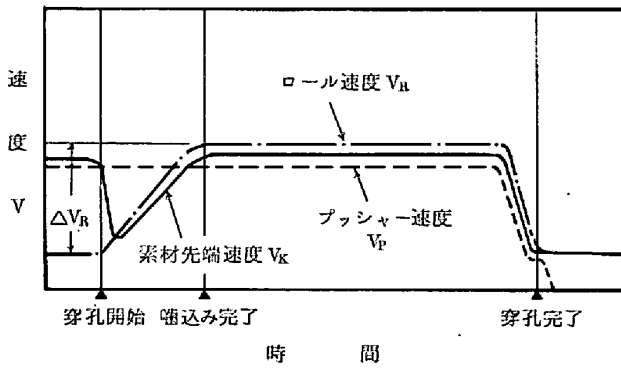


図 7 開発した V_P , V_R 速度制御法

3.4.2 ローラーガイド法

入側ガイドにボックスガイドを用いると、素材の膨脹分と素材のばらつき分のクリアランスをとる必要があり素材をパスラインに保持する機能は少ない。この問題を解決するためローラーガイド法の開発を行った。本法は図5に示すように圧延機入側に複数のローラーを水平と垂直に交互に配置した整形能力を有する強制ガイドである。押込力による素材の膨脹分とばらつき分をローラーにて圧下するのでクリアランスをゼロにしても通管性は全く問題なくなつた。ガイド機能も十分にロールキャリア中心に強固にセンタリングできるため長尺穿孔も可能となつた。

3.4.3 ロールによる素材のセンタリング法

素材がロールと接触すると同時にプラグにて穿孔すると、素材をロールキャリア中心にセンタリングすることは困難であり、その結果偏肉率は満足できるレベルになつた。この問題を解決するため素材がプラグと接触する前に素材をロールにより圧延保持させて素材をセンタリングする方法を開発した。

ローラーガイド法及びロールによる素材のセンタリング法の併用によつて偏肉率は平均 18% 以下、最大 25% 以下を確保でき、長尺穿孔 ($L/d=40$) が可能となり、新製管プロセスにおける通常製品 12m の製品長さが確保された。

これらの開発技術によつてプレスロール穿孔法工業化の見通しが得られた。

4. プレスロール穿孔法を適用した新製管プロセスの開発

新製管プロセスでは中径継目無鋼管の難点とされる肉厚精度の大幅改善を開発目標とした。

4.1 プレスロール穿孔法とプラグミル圧延法を結合するプロセスの必要機能

中径継目無鋼管の新製管法の主ミルとしては生産性、品質面から「プレスロール穿孔」→「傾斜ロール圧延」→「プラグミル」を基本プロセスとして選択した。プレスロール穿孔後の素管は、肉厚/外径=25%の超厚肉で

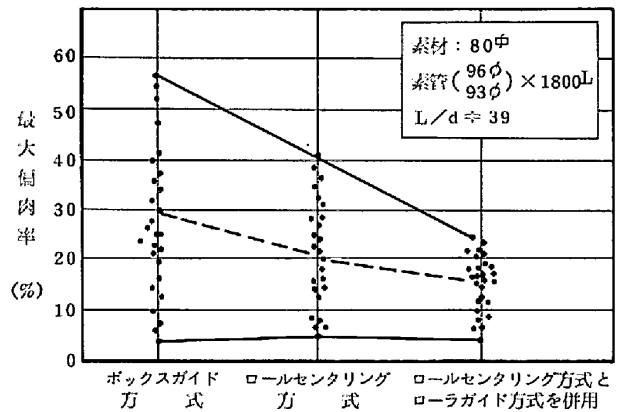


図 8 偏肉改善技術の開発効果

あり、前述のごとく素管偏肉率は平均 18% 以下、最大 25% 以下である。一方プラグミルは、圧減比も少なく偏肉矯正効果も期待できない。従つてプレスロール穿孔とプラグミルを傾斜ロール圧延で結合するには、その傾斜ロール圧延では圧減比最大 5 までとることが必要であり、また製品品質目標値平均 3~4% 以下、最大 10% 以下を達成するには大幅なる偏肉矯正効果をもつことが必要となる。

4.2 傾斜ロール圧延における偏肉矯正効果

従来傾斜ロール圧延における偏肉矯正効果については公表されたものは少なく、技術的に未知な点が多かつた。そこで工業化試験用傾斜ロール圧延機を用いて、傾斜ロール圧延における偏肉改善条件について研究開発を進めた。ローリングスケジュール、素管条件、ミルセット条件などの適正な値を選定すれば、傾斜ロール圧延において著しい偏肉矯正効果の得られることが判明した。

4.2.1 圧減比 (図9)

傾斜ロール圧延の圧減比を 2~3 にすると素管偏肉率 40% の場合でも圧延後偏肉率は 10% 以下になり、大幅なる偏肉改善が期待できる。圧減比を 5 程度まで大きくすると偏肉改善は大幅には期待できない。

4.2.2 素管条件 (図10)

素管の肉厚/外径が大きいほど偏肉矯正効果があり、プレスロール穿孔による素管条件である肉厚/外径=25% は、偏肉矯正効果の点で極めて有利である。

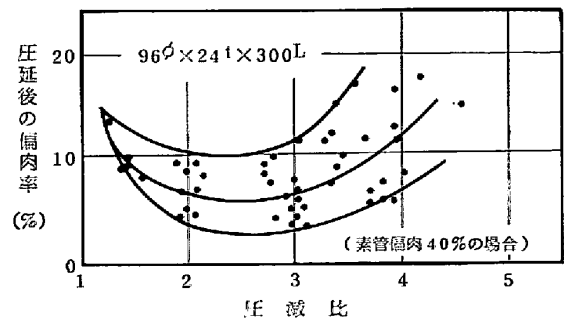


図 9 傾斜ロール圧延における圧減比と偏肉率

4.2.3 ミルセット条件

ロール圧下セット，ロール傾斜角，ガイドシューセットについて研究を進めたが，外径圧下率が大きいほど，ロール傾斜角が小さいほど偏肉矯正効果は大きい。

4.3 新製管プロセスの完成

図 11 に完成した新製管プロセスを示すが，その特徴は傾斜ロール圧延機を 2 基としている点である。傾斜ロール圧延機を 2 基とすると圧減比は 1 基あたり最大 2～3 となり偏肉矯正効果を大幅に期待でき，目標値を達成できることが明らかとなった。また工業化試験用プレスロール穿孔機と小径管工場の製管テストにおいて，疵の発生，圧延材の形状など問題のないことを確認した。

本法を採用した八幡シームレス鋼管工場における偏肉率の実測値例を図 12 に示すが平均 3～4%，最大 7～

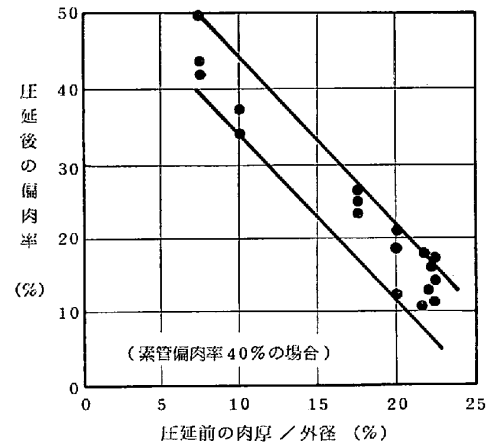


図 10 素管肉厚／外径と偏肉矯正効果

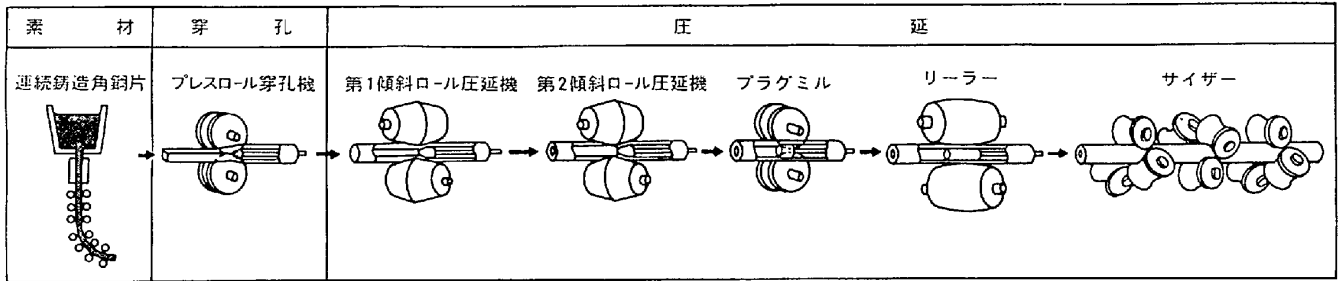


図 11 完成した新製管プロセス

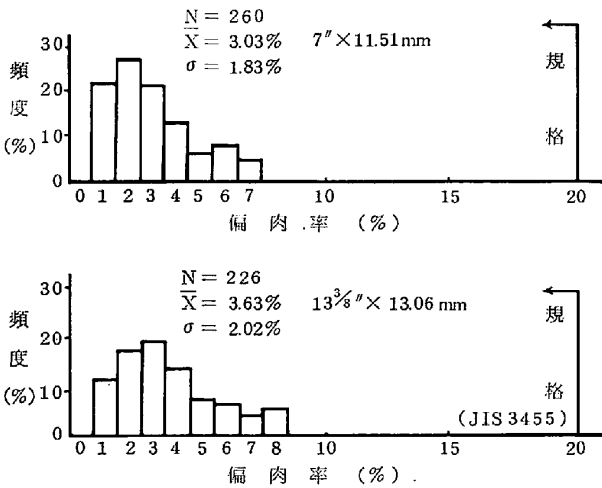


図 12 実機における製品の偏肉率の例

8%となっており，従来法に比べて大幅に改善されていることがわかる。

また同工場における連続鋳造角鋼片の使用比率はほぼ 100% に達しており，省エネルギー・省資源において著しい効果をあげている。

5. 結 言

今回開発実用化したプレスロール穿孔法を軸とした新継目無鋼管製造法は世界で最初に工業化された画期的なものであり，連続鋳造技術の進歩普及とあいまって，継目無鋼管製造技術の歴史に新たなページを開いた技術として評価できる。とくにプレスロール穿孔法は 1977 年八幡に 1 号機が稼動³⁾して以来 1978 年スペイン，1979 年イタリアと相次いで実用機が稼動⁴⁾をはじめており，マンネスマン穿孔法とならぶ主要穿孔技術として世界的な脚光をあびている。

文 献

- 1) カルメス：特許 504527
- 2) 柳本左門，中島浩衛，河原田実，神田光雄，上野正勝，甲谷知勝，尾形昌彦，伊藤亀太郎：製鉄研究 (1979) 297 12808/12813
- 3) 甲谷知勝，木村達也，中俣伸一，小田島雅也，長阪哲男，杉山隆雄，板橋義則，塚原 壱：製鉄研究 (1979) 297 12820/12824
- 4) M. DVORAK: Bollettino Tecnico Finsider (Jan.-Feb. 1980)