
継目無鋼管における 2, 3 の品質改善について

Some Improvements on the Quality of Seamless Tube Produced by the Mandrel Mill

辻 正幸 (Masayuki Tsuji) 平野 豊 (Yutaka Hirano) 佐山 泰弘 (Yasuhiro Sayama)

要旨：

マンドレルミルによる縦目無鋼管製造技術における諸問題について調査した結果を示した。管材の品質、とくに、表面に残存する欠陥、内在する大型非金属介在物および熱間加工性が管の内外面疵に著しく影響することを明らかにした。同時に、管材としての連鑄材の適用性についても論じた。さらに、製造上では管の寸法および内外面疵とピアサ、マンドレルミルおよびストレッチレデュース各段階における諸条件との関係を調査し、適正な製造条件を求めた。これらの諸問題を解決することによって、すぐれた品質の管を安定して供給している。

Synopsis：

Several technical problems caused during the production of seamless steel tube by mandrel mill are discussed. Influences on the outside and bore defects of tube by defect depth on the billet surface, amount of large size non-metallic inclusions and hot workability of the billet are clarified, with emphasis on the characteristics of the billet produced by continuous casting for seamless steel tube. In addition, influences of various factors of production techniques on defects and dimensions of tube are also investigated. Knurling of piercer roll, material of guide shoe, surface quality of mandrel mill roll and heating time in furnace have an important effect on the outside defects of tube. The bore defects of tube are largely influenced by heating temperature of billet, quality of plug and lubricant oil for mandrel bar. A study is also made in particular, on wall thickness variation such as eccentricity, asymmetry, cusps, polygonization, crop end and stomach affected by tool conditions and rolling schedule of mandrel mill and stretch reducing mill. High quality tubes have been manufactured by improved quality of billet and by controlled production techniques.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

継目無鋼管における2, 3の品質改善について

Some Improvements on the Quality of Seamless Tube Produced by the Mandrel Mill

辻 正 幸*

Masayuki Tsuji

平 野 豊**

Yutaka Hirano

佐 山 泰 弘**

Yasuhiro Sayama

Synopsis:

Several technical problems caused during the production of seamless steel tube by mandrel mill are discussed.

Influences on the outside and bore defects of tube by defect depth on the billet surface, amount of large size non-metallic inclusions and hot workability of the billet are clarified, with emphasis on the characteristics of the billet produced by continuous casting for seamless steel tube.

In addition, influences of various factors of production techniques on defects and dimensions of tube are also investigated. Knurling of piercer roll, material of guide shoe, surface quality of mandrel mill roll and heating time in furnace have an important effect on the outside defects of tube. The bore defects of tube are largely influenced by heating temperature of billet, quality of plug and lubricant oil for mandrel bar.

A study is also made in particular, on wall thickness variation such as eccentricity, asymmetry, cusps, polygonization, crop end and stomach affected by tool conditions and rolling schedule of mandrel mill and stretch reducing mill.

High quality tubes have been manufactured by improved quality of billet and by controlled production techniques.

1. 緒 言

近年における技術革新のめざましい進歩にともなう、発電用の大型火力ボイラ用鋼管、油井用鋼管、および産業機械、自動車用の機械構造用鋼管などに代表される継目無鋼管の需要が急速に増

大してきた。その動向に対処するため、当社では、昭和45年知多工場にマンドレルミルを設置し、この分野にはじめて進出した¹⁾。

継目無鋼管の製造においては、管内外面疵の発生防止および寸法精度の向上などが、基本的な問題としてあげられる。これら技術的問題を解決するために、当社では、稼動以来4年間にわたって

* 知多工場造管部部長

** 技術研究所知多研究室主任研究員

その原因を究明し、対策を講じ、製造および検査体制の完全化につねに努め、今日すぐれた品質の鋼管を自信をもって供給しうるまでになった。その経過および2, 3の研究事項についてのべる。

2. 製造概要

2.1 設備

当社における縫目無鋼管は、マンドレルミル方式により製造している。その設備の特色、配置および主要設備の概略についてはすでに報告されている¹⁾ので省略するが、その他の付帯設備として、連続熱処理炉、冷間引抜機、アップセッタ、焼入・焼もどし設備およびネジ切機などを設置し、高級品の需要に応じている。

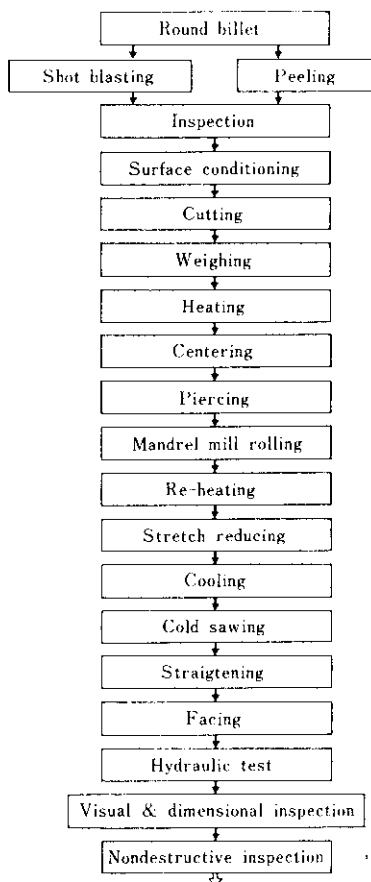


Fig. 1 Production process (an example of ordinary hot finished tube)

2.2 製造工程

水島製鉄所より供給された丸鋼片(110φ, 175φ, 207φの3種類)を管材とし、Fig. 1に示したような工程で製造している。

管の非破壊検査は、渦流探傷装置(Photo. 1),



Photo. 1 Eddy current test equipment



Photo. 2 Ultrasonic test equipment



Photo. 3 Magnetic particle test equipment

超音波探傷装置 (Photo. 2) および磁粉探傷装置 (Photo. 3) を採用し、管種および用途に応じてそれぞれの特性を生かし、十分な品質保証を行っている。

2.3 製造可能寸法

製造可能寸法範囲を Fig. 2 に示す。さらに冷間引抜機を使用し、最小外径 15.0mmφ、最小肉厚 1.5mm までの管を製造することができる。

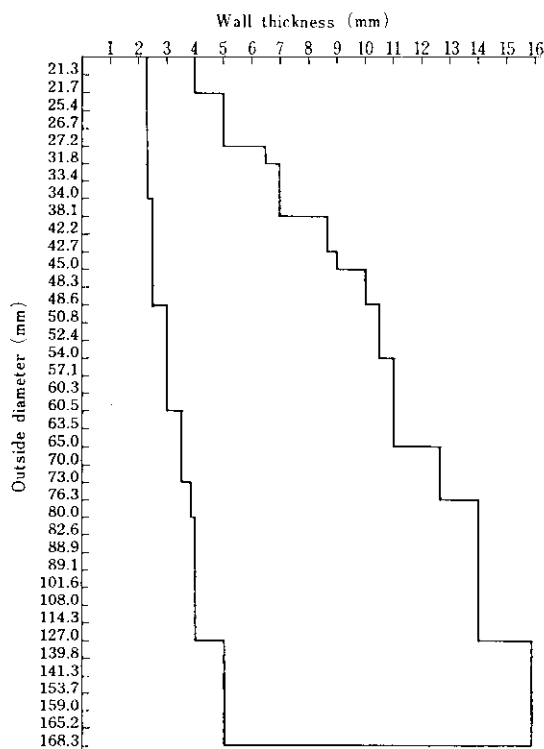


Fig. 2 Size of availability (hot finished)

2.4 製造品種

製造品種は、Table 1 に示すように低炭素鋼から 5%Cr 合金鋼までのすべての鋼種にわたっている。

Table 1 Grade of tubular products

Application	Grades of steel
Boiler and heat-exchanger tubes	Plain steel(0.07~0.22%C)
	Alloy steel($\frac{1}{2}$ Mo~5Cr- $\frac{1}{2}$ Mo) ($\frac{3}{4}$ Ni)
Tubes for mechanical and structural purpose	Plain steel(0.07~0.60%C ≤1.5%Mn)
	Alloy steel(1Cr- $\frac{1}{4}$ Mo)
Tubing and casing for oil well	Plain steel(0.15~0.50%C 0.85~1.7%Mn)
Line pipe for ordinary and special use	Plain steel(0.07~0.31%C ≤1.5%Mn)
	Alloy steel($\frac{1}{2}$ Mo~5Cr- $\frac{1}{2}$ Mo)

3. 管材の品質

管材の品質が、製品の内面疵および外面疵におよぼす影響が大きいことはあらためていうまでもない。したがって、管材の製造には細心の注意を払わねばならない。以下、その工程、品質に対する考え方をのべる。

3.1 管材の製造概要

管材の製造工程の概略を Fig. 3 に示す。欠陥の原因となる非金属介在物除去を目的に、全チャ

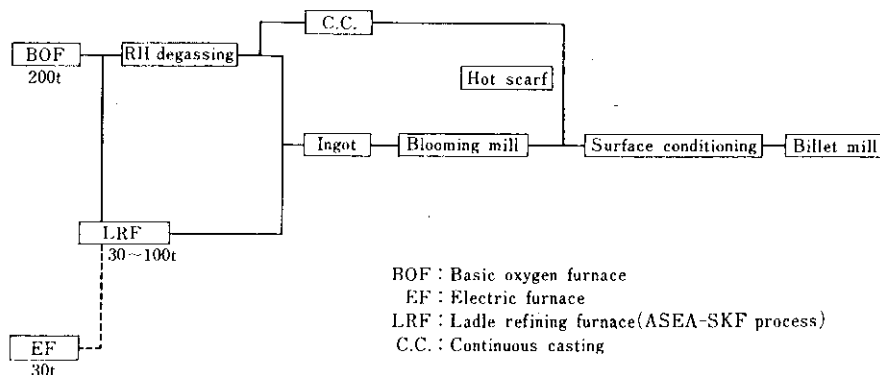


Fig. 3 Process of producing round billets (at Mizushima Works)

ージ真空脱ガス処理を実施しているのが特徴である。その結果、ボイラ用管材のように、低 Al 脱酸材についても十分に酸素量を低下させ、つねに安定した品質を供給できる体制としている。

合金鋼については、LRF (Ladle Refining Furnace)²⁾ により成分調整、脱酸、脱水素を実施し、「電炉—真空脱ガス」工程の材料と同等以上の品質を得ている。

鑄込み条件は全数下注法を採用し、鑄型は 7 ~ 11 t を使用している。

連鑄材は、わが国において最初に実用化したのが、分塊材と差のない清浄性良好な品質の製造技術確立し、満足すべき結果を得ている。これらのマクロ組織を **Photo. 4** に示す。現在は、低炭素鋼材のみに適用しているが、Cr-Mo 合金鋼についても問題なく製造しうることを確認している。

製品の外面疵発生は、あらためていうまでもな

く管材表面の状況がもっとも重要であり、その意味から角鋼片段階で、ホットスカーフもしくはチップングにより徹底的に手入れを実施している。この操作により欠陥のない管材が製造されるが、加熱炉装入前に再度疵検査・手入れをする体制となっている。また、合金鋼に対しては、ピーリングにより全面皮削りを実施し無欠陥管材の装入に努めている(**Fig. 1** 参照)。

3.2 管材品質

3.2.1 表面疵

管材の表面欠陥が製品の欠陥となることは、すでによく知られた事実^{3,4,5,6)} だが、管材の表面疵のうち、どのような疵が鋼管の欠陥となるか否かは簡単には結論をだせない。すなわち、表面疵にはいろいろな種類と程度があり、浅い疵は加熱炉内でスケールアウトされ無害である場合が多い

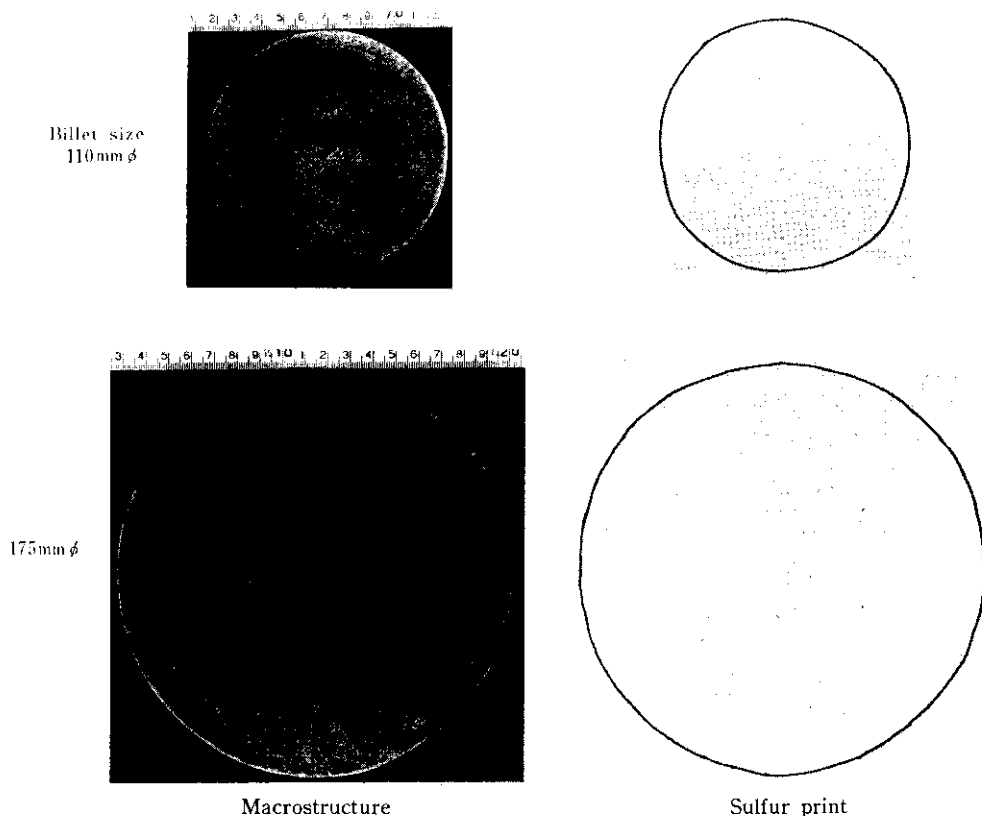


Photo. 4 Macrostructure and sulfur print of round billets by continuous casting

と考えられる。したがって、有害と無害の境界がどこにあるかを明らかにすることが、実際作業上必要である。そこで製管過程における表面疵の変化を追跡するとともに、加熱炉内でのスケール生成量を管材に埋めこんだボルトの深さ変化から測定した。結果を **Table 2**, **Fig. 4** に示す。管材表面疵の深さが0.45mm以下では、製品ではまったく疵とならず無害であり、0.95mm以上のものはほとんど疵として残ることが明かである。いっぽう、スケール生成量の管材円周上の変化は大きく、炉床に接する部分がきわめて少量であるのが特徴的である。このように、スケール生成量が不均一なのは、管材の加熱炉装入が直接炉床土におく方法によっているため、炉床に接する部分の

Table 2 Results of surface defect trial

Billet defect depth (mm)	Number of billet	Number of the finished tubes with surface defects	Reject rate (%)
<0.45	50	0	0
0.45~0.54	51	3	5.9
0.55~0.64	26	3	11.5
0.65~0.74	13	1	7.7
0.75~0.94	11	1	9.1
≥0.95	5	3	60.0

Table 3 Critical depth of acceptable billet defects

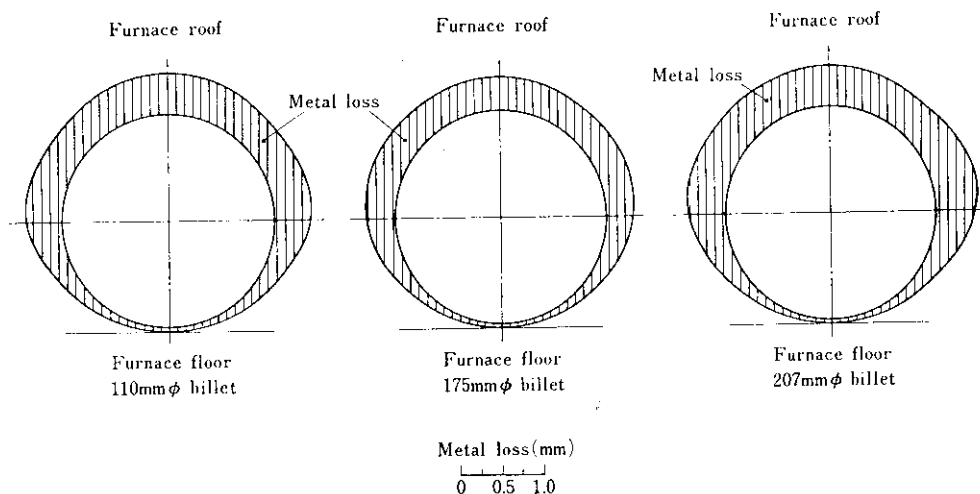
Billet size (mm)	Metal loss by scaling (mm)	Soaking time of the rotary hearth furnace (min)	Critical depth of acceptable billet defects (mm)	Critical depth of unacceptable billet defects (mm)
110φ	0.1~0.65	81~100	≤0.45	≥1.00
175φ	0.1~1.0	116~166	≤0.45	≥1.35
207φ	0.1~0.95	138~146	≤0.45	≥1.30

温度上昇が上面に比較して遅れ、目標温度での保持時間が相対的に短くなるためであると推定される。

以上から、管材表面疵の有害限界は **Table 3** のようにまとめられる。すなわち、スケールによる除去後深さ0.35mmが無害の限界で、疵の有害・無害の変動はスケール生成量の変動に左右されるという結論になる。この結果から、管材の表面手入れ基準は、深さ0.45mm以上の疵すべてを除去することとしている。

3.2.2 大型非金属介在物

管材中の大型非金属介在物は、表面疵とくに内面疵発生に影響をおよぼすが^{7,8)}、疵の発生との関係において介在物を簡便に判定する方法については報告が少ない。とくに連铸材についてはまったく見当らない。そこで、連铸材を含めて適用できる簡便な方法を種々検討した結果、下記に示す方

**Fig. 4** Variation of metal loss by scaling during the billet heating

法を決め、必要に応じて使用している。

- (1) 検査法 ; 目視, 超音波探傷併用
- (2) 試験片 ; 管材軸方向より切り出した直角に交叉する2枚の板 (Fig. 5 参照)
- (3) 検査範囲; 長さ 250mm × 幅 $\frac{1}{4} D_0$ × 厚さ $\frac{1}{4} D_0$ の範囲 (D_0 ; ピレット直径)

試験片厚みおよび検査範囲は、内面の疵発生に影響をおよぼす管材部分が中心から $\frac{1}{4} D_0$ までとされていること⁷⁾ にもとづいて定めた。また、連铸材では中心軸上に未圧着部が残存する場合があるので、この部分をさける意味から、中心線 $\pm 10\text{mm}$ の範囲を非検査部分としている。品質の判定は、地疵および超音波探傷欠陥数の総和により行っている。本検査法による結果の例を示すと Fig. 6 のとおりで、内面疵発生率との良い対応が

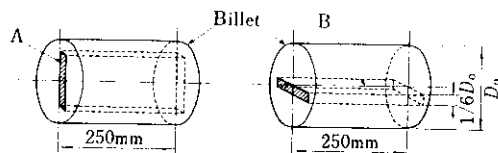


Fig. 5 Design of ultrasonic test pieces

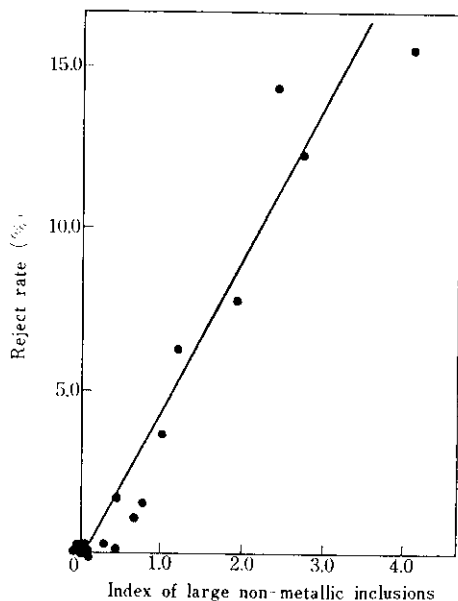


Fig. 6 Relationship between large non-metallic inclusions and reject rate due to bore defects (175mm ϕ billets by C.C.)

得られている。

本検査法の場合、介在物組成、管材の圧下率などが異なると、内面疵発生率との回帰直線が変わるので、脱酸法、分塊材、連铸材それぞれの条件について求める必要がある。

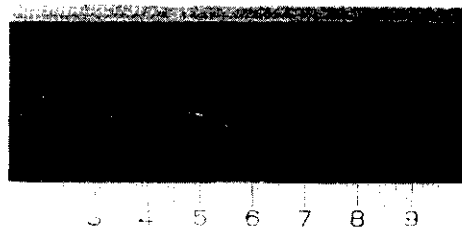
超音波探傷検査で認められた代表的な大型介在物、およびこれらの介在物により生じたふくれ状のラップ疵を Photo. 5 に示した。

3.2.3 熱間加工性

管材の熱間加工性は、内面の疵発生に対して大型非金属介在物と相互に関連し、きわめて重要な



(a) Typical inclusion $(\times 100) \times \frac{2}{3}$



(b) Bore lap $(\times 100) \times \frac{2}{3}$

Photo. 5 Typical inclusion found in billet and bore lap of tube produced by inclusion of the type shown in (a)

要因としてあげられる^{9,10)}。この加工性を判断する方法として、一般に熱間ねじり試験法が用いられる。本試験は、ある温度で材料をねじった時の破断にいたるまでの回数によって、その温度における材料の加工性を評価している。この値が、製品の内面疵発生傾向と対応するといわれている^{9,11,12,13)}。現行の製管設定条件での試験結果をFig. 7に示す。内面疵発生率と明瞭な関係があり、回転数80回以下では発生率の顕著な増加が認

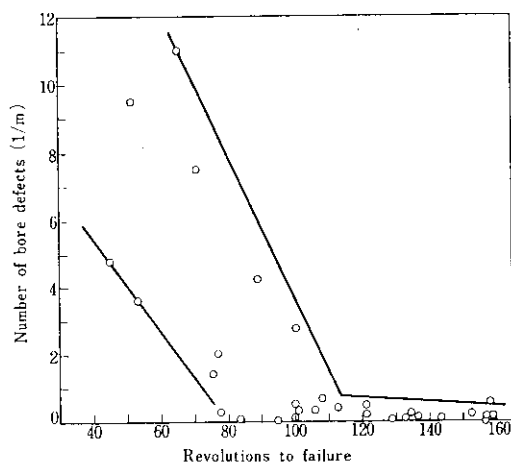


Fig. 7 Relationship between bore defects of tube and revolutions to failure in the hot torsion test at 1250°C

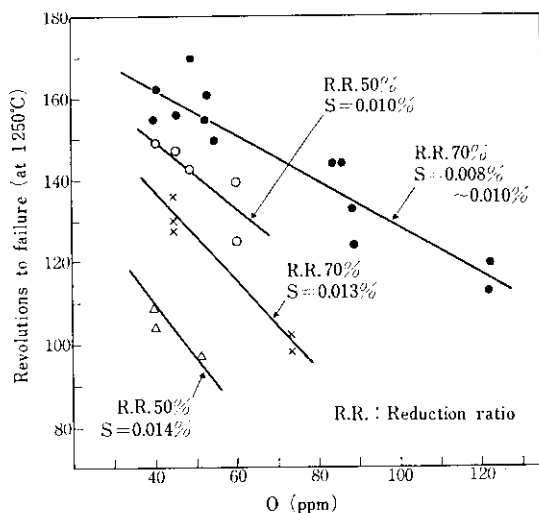


Fig. 8 Relationship between the hot ductility and O content of billets with various reduction ratios and S contents

められる。したがって、加工性の劣る材料の場合には、設定条件を変更して製管することが必要である。

連铸材については、分塊材と比較して、管材になるまでの圧下率が非常に小さい。そのため、Fig. 8に示したように、特徴ある結果が得られ、O, S, 圧下率など相互の関係による加工性の変化が認められる。この観点から、圧下率の小さい管材では、S, Oの管理を十分に行うとともに、製管条件の変更も考慮すべきであろう。さらに、Oについては、同一含有量の場合でも、生成する非金属介在物の組成によって熱間加工性が異なってくる¹⁴⁾。すなわち、Fig. 9にSi脱酸材とAl脱酸材との結果を示したが、Al脱酸材の破断回転数が著しく低いことが確かめられ、脱酸法の重要性が、連铸材の場合とくに大きいことも留意すべきである。

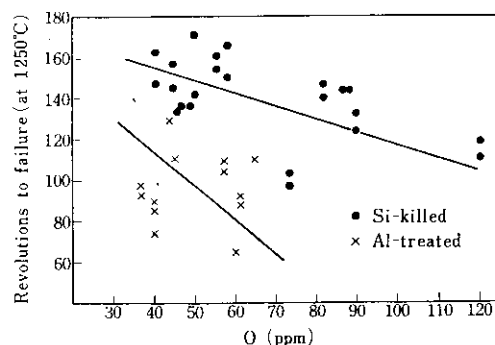


Fig. 9 Influence of deoxidation process on the hot ductility of C.C. billets

4. 製管技術の改善

管材が製品の品質に大きく影響をおよぼすことはすでに述べたが、製管工程中にも製品の品質を左右する要因が数多く存在する。製造工程で生ずる品質上の問題点としては、主として管の内外面疵、および寸法があげられる。以下に、これらに対する技術改善事項の代表的なものについてのべる。

4.1 内面疵

製管工程で発生する内面疵は、穿孔時ならびにマンドレルミル圧延時に発生するものが大部分である。穿孔時に発生する疵は、主として管材の加熱温度、プラグの材質およびその設定条件によって大きく影響をうける。また、マンドレルミル圧延時に発生する疵は、マンドレルバー潤滑油による浸炭ならびに圧延温度不良に起因するものが多い。

4.1.1 管材加熱温度

材料の熱間加工性は温度により変化する。そのため、内面疵の発生率は管材の加熱温度によって大きく影響をうける^{15,16)}。したがって、管材の穿孔温度は、それぞれの材質によって定まる最適温度範囲内に十分よく管理されていなければならない。

Fig. 10 は、当社における低炭素鋼管の内面疵発生率（1%および3%以上の内面疵が発生するロットの現出確率）とビレット穿孔温度との関係を示したものであるが、内面疵を防止するために要求される最適温度範囲はきわめて狭い。最適穿孔温度は管材の材質によって影響をうけ、低炭素鋼から高炭素鋼、低合金鋼の順に高くなっている。合金鋼の最適穿孔温度は、低炭素鋼のそれよりも約15°C高い。

穿孔温度が最適基準温度よりも低い場合には熱間加工性が劣化するために、また高い場合には主として過熱現象によって内面疵の発生頻度が高くなる傾向がみられる。過熱は、ビレットが加熱時および穿孔発熱時に高温にさらされた場合、CやSの偏析している粒界が半溶融もしくは溶融状態となり、粒界割れを起こす現象である。したがって、高炭素鋼のように融点が低く、かつ Liquidus Solidus Loop の大きい材料ほど過熱の限界温度は低くなる。A. Preece ら¹⁷⁾によれば、C%と過熱限界温度との間には、Fig. 11 に示す関係が認められている。したがって、油井用鋼管などのような高炭素鋼を製造する場合には、穿孔温度のとくに上限をきびしく管理することが重要である。

いっぽう、管材の加熱温度は、あとでのべるようなマンドレルミル圧延時の浸炭にもとづく内面

疵の発生にも大きく影響をおよぼすことが確かめられている。

以上のべたように、管材の加熱温度管理はきわめて重要であり、当社では、単に加熱炉の設定温度だけでなく、穿孔直前のビレット温度ならびに穿孔直後のホローブルーム温度を同時に測定し、十分な温度管理を行っている。

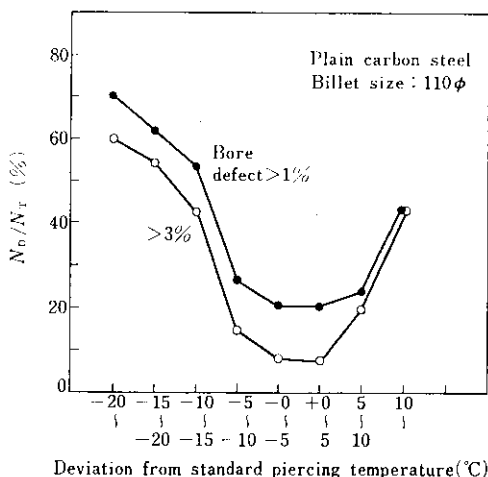


Fig. 10 Relationship between bore defects and piercing temperature. N_T : Number of lots pierced at any given temperature range, N_b : Number of lots having bore defects more than 1 or 3%

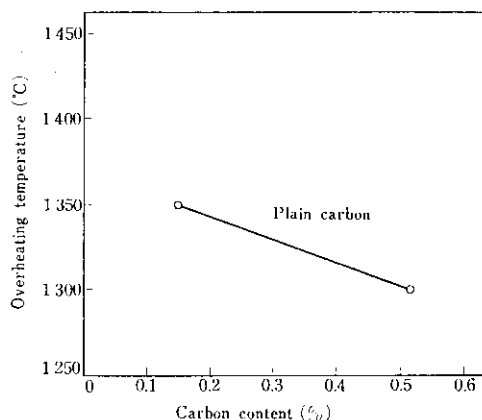


Fig. 11 Effect of carbon content on overheating temperature¹⁷⁾ (constant cooling rate)

4.1.2 プラグ設定位置

傾斜圧延方式で穿孔する場合 (Fig. 12 参照), ビレットはロール間を通過する際に回転鍛造効果を受け、内部割れが発生する傾向を示す。回転鍛

造効果による内部割れの発生傾向は、材料の熱間加工性（穿孔温度）や各種の穿孔条件（たとえば、ロール傾斜角、ロール間隔、シュール間隔およびプラグ先進量など）によって大きく影響を受ける。このような内部割れは、製品の内面疵となる危険性があるので、穿孔条件の設定に十分な配慮が必要である。なかでも、プラグ先進量はもっとも大きく影響する因子の一つといえる。そこで、プラグ先進量と製品の内面疵との関係を調査した。その結果を **Fig. 13** に示す。先進量が増加するにしたがって内面疵の発生率が大幅に減少するのが明瞭に認められた。先進量が増加すれば、ピレットの内部が回転鍛造効果による割れを生ずる以前にプラグによる穿孔が行われることになり、好結果をもたらすものと考えられる^{15,18)}。この結果にもとづいて、当社ではホローブルームの肉厚ごとにプラグ先進量を改善した。

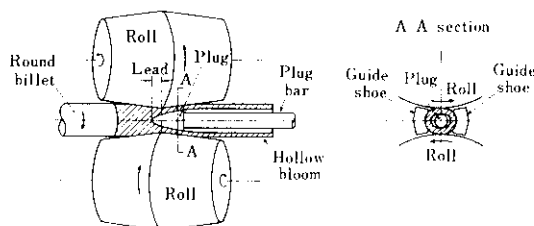


Fig. 12 Schematic diagram of Mannesmann piercing operation

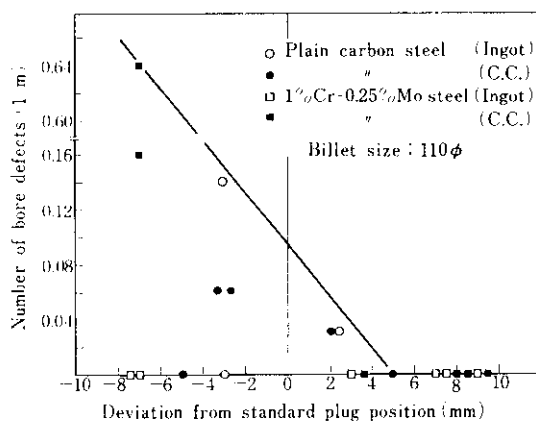


Fig. 13 Influence of plug position on bore defects

4・1・3 プラグ表面性状

プラグは穿孔時に急激な熱と荷重をうけるために熱間工具鋼が用いられる。現在当社では3%

Cr-1%Ni 鋼のプラグを使用している。それにもかかわらず、穿孔回数が増加するにしたがってプラグ表面のマクロ的な凹凸がはげしくなる。

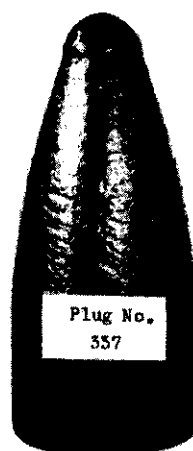
Table 4 はプラグ表面の凹凸の程度と管内面疵発生率との関係を示したものであるが、プラグの穿孔回数が増加し表面凹凸がはげしくなるにしたがって、内面疵の発生率は高くなる。プラグの表面不良によって発生したホローブルーム内面の疵の一例を **Photo. 6** に示す。このような観点が

Table 4 Influence of surface roughness of plug on the bore defect of tube

Degree of roughness	Number of bore defects
Smooth	0.002 1/m
Medium	0.03
Rough	0.09



(a) Inner surface of the hollow bloom



(b) Plug used

Photo. 6 An example of bore defect printed by rough surface of plug

ら、現場ではプラグの限界見本を置き、それにもとづいて使用管理を行っている。

プラグの性状は、表面温度が高くなるにしたがって著しく劣化するので、温度上昇をできるだけ少なくすることが重要である。すなわち、プラグ表面に熱伝導率の低い、緻密な酸化スケール^{19,20)}を形成させるとともに、ピレット長さの管理を十分に行うべきである。許容されるピレットの最大長さは、材料の変形抵抗および穿孔温度によって変化し、管材の合金含有量が高くなるにしたがって短くなる傾向がある。

4.1.4 浸炭

マンドレルミル圧延の段階で発生する内面疵の代表的なものとして、浸炭による欠陥がある。シェル内面で浸炭が起ると、浸炭部分がその後の工程で引きちぎられ、肌荒れ状の欠陥に発達する。欠陥の代表例を **Photo. 7** に示す。浸炭はマンドレルバーに塗布する潤滑油の燃焼ガス（とくにガス中の CH_4 ）によると考えられ、**Fig. 14** に示すように圧延の後半部に集中して発生する傾向がみられる。浸炭を防止するには、潤滑剤の燃焼ガスの組成が浸炭性雰囲気にならないように管理することが重要である。油を主体にした潤滑剤では、浸炭を防止する上で水の添加がもっとも効果的である。当社では水溶性油に水を混合した潤滑剤を用いているが、混合油中の水含有量が45%以下になると浸炭の危険性が高まり、また、水含有量が

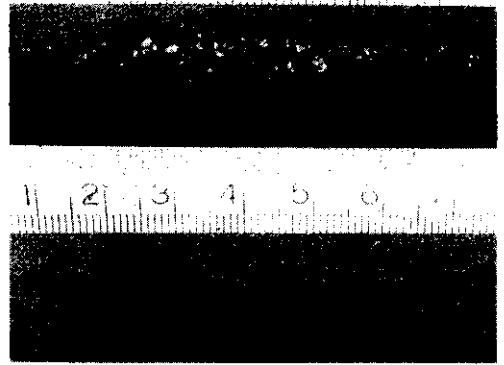


Photo. 7 Typical examples of bore defect caused by carburization

60%以上になると潤滑性が劣化する現象が確認されている。そこで、現在では水含有量を $53 \pm 3\%$ に定め操業を行っている。

しかし、浸炭現象は潤滑油のみによって生ずるものではなく、圧延温度および圧延スケジュール（ロールカリバおよびマンドレルバー履歴をも含む）によっても影響をうける。たとえば、**Fig. 15** は浸炭による内面疵の発生率におよぼす圧延温度ならびにマンドレルバー履歴の影響を示したものであるが、圧延温度（浸炭温度指数）が高くなるにしたがって浸炭の危険性が高くなるのが認められる。ただし、一定回数以上使用して表面状態が良好なマンドレルバーを用いた場合には、圧延

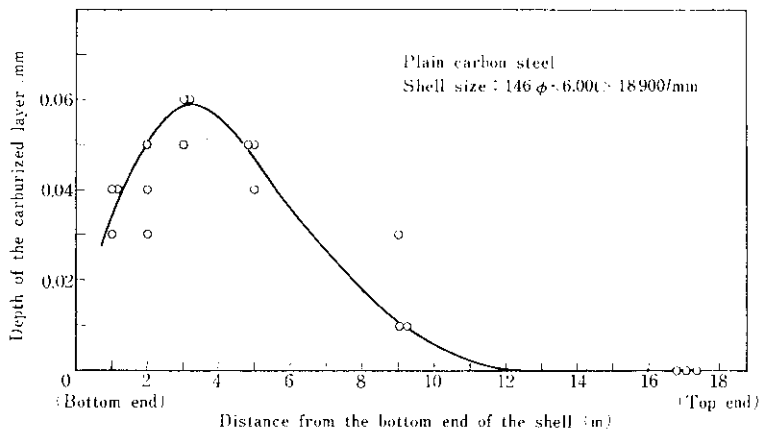


Fig. 14 Amount of carburization along the longitudinal direction of the shell (lubricant oil : insoluble oil only)

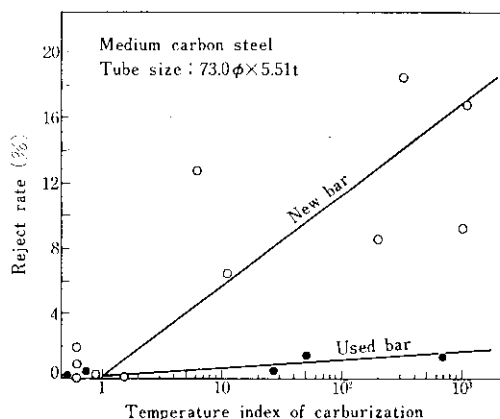


Fig. 15 Influence of rolling temperature and surface condition of mandrel bar on the reject rate due to bore defects caused by carburization

温度が高くとも浸炭の危険性が著しく低減される (Fig. 15 参照)。以上のべたように、油を主体にした潤滑剤を使用する場合には、その組成および圧延温度、圧延スケジュールを総合した最適条件で圧延すべきである。

4.2 外面疵

管材に残存する表面疵が製品の外面疵の原因になることはすでにのべた。しかしながら、疵のない管材を用いたとしても、穿孔や圧延工程で以下にのべるようないくつかの外面疵が発生する場合がある。製管工程で発生する外面疵は、ロールやガイドシュエなど工具類の表面凹凸が転写されるものと、外面に形成された酸化スケールが完全に除去されずにロールによって押し込まれて生ずるものとに大別することができる。

4.2.1 加熱時間

鋼材の加熱時間が、加工時の外面疵発生に影響をおよぼすことはよく知られており^{21,22)}、必要以上に長時間加熱すると外面疵発生危険性が高くなることが指摘されている。この原因は、加熱時間の増大にともなう、鋼材表面の粒界酸化あるいは内部酸化が進行し、生成した粒状酸化物が熱間加工性を劣化させることによるものと考えられている。当社においても、Fig. 16 に示すようにとくに Cr-Mo 鋼で加熱時間の影響が顕著に認め

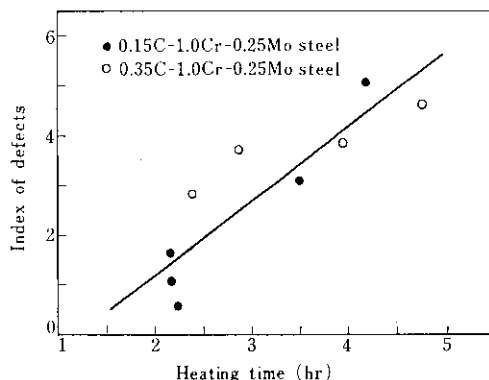


Fig. 16 Influence of heating time in rotary hearth furnace (RHF) on the outside surface defect

Table 5 Heating time of billets in rotary hearth furnace

Billet size (mm)	Heating time (min)
110φ	60
175φ	110
207φ	125

られている。加熱時間は、管材全体が所定の温度に均一に加熱される必要最小限にとどめるのが望ましく、その観点から、管材径に応じて Table 5 のように加熱時間を設定している。

なお突発事故による製管ラインの停止のため、管材の加熱時間が長時間にわたるような場合には、該当する管材を加熱炉より抽出するなどの対策をほどこしている。

いっぽう、レデューサ直前の再加熱炉においても、Fig. 17 に示したように外面疵発生率と加熱時間との間に明瞭な関係が認められている。ただし、再加熱炉の場合は加熱温度が低く、かつ加熱時間も短いので、内部酸化や粒界酸化の進行はきわめて少ない。むしろ酸化スケール生成量そのものが外面疵の原因になると考えられる。すなわち、加熱時間の増大にともなうスケール生成量が増加し、デスケラで十分に除去されずに残り、それがレデューサロールで製品の表面に押し込まれるために、いわゆる“あばた”、“しわ”

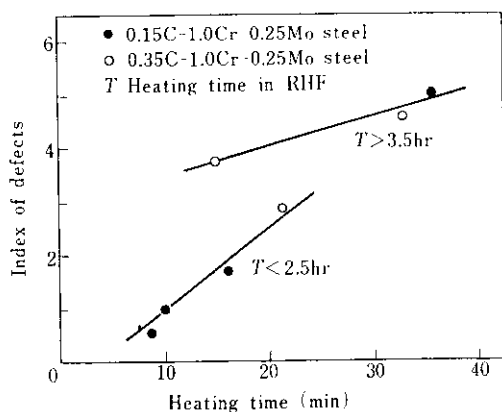


Fig. 17 Influence of heating time in reheating furnace on the outside surface defects

状の欠陥になると考えられる。したがって、再加熱炉での加熱時間も十分に管理することが重要である。

4・2・2 デスケーラ

あばた状の欠陥を防止する要因として、さらにレデューサ直前のデスケーラ能力があげられ

Table 6 Influence of impact pressure of the descaler on the outside surface defect

Impact pressure (kg/cm ²)	Reject rate (%)
11.5	2.1
20.5	≈0

る²³⁾。従来、デスケーラには面圧 11.5kg/cm² の噴射ノズルが取り付けられていたが、能力を高めるために面圧を 20.5kg/cm² に上昇させた。デスケーラ改造前後の製品検査結果を Table 6 に示すが、面圧を上昇させることによってあばた状の欠陥が大幅に減少した。この傾向は、Cr-Mo 合金鋼の場合顕著に認められた。現在では、マンドレルミル直前にもデスケーラを設置し、さらに良好な結果を得ている。

4・2・3 ナーリング

一般に、ピアサロールの表面には、管材との摩擦係数を高めかみ込みを効果的にするナーリング

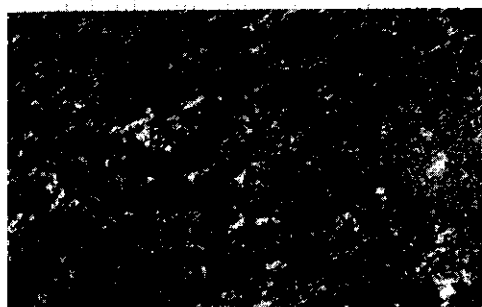
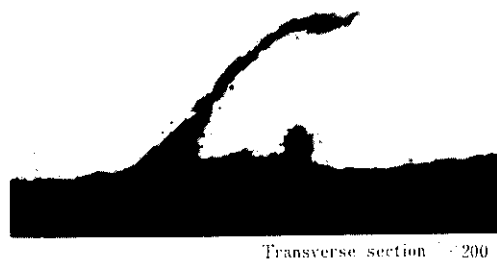
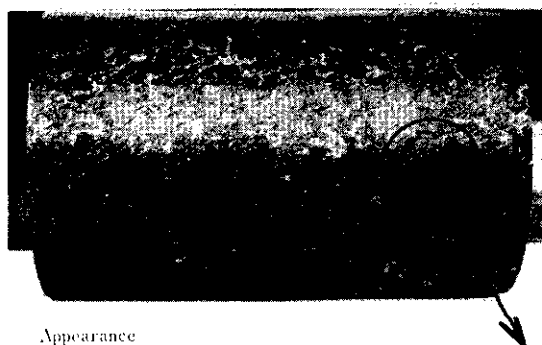


Photo. 8 Surface defects caused by roulette type knurling

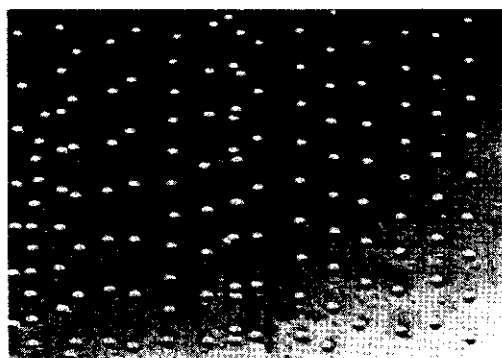


Photo. 9 Round punch type knurling

とよばれる一種の凹凸処理がほどこされている。ナーリングは通常ローレットタイプのものが多い。しかしながら、ローレットの形状が不適当な場合、管外面に Photo. 8 に示すようなナーリング疵が発生する。当社では、いろいろな検討を行った結果、Photo. 9 に示すような丸ポンチタイプに変更することによって、ナーリング疵の発生を完全に防止することができた。

4・2・4 ガイドシュー

ピアサのロール間上下にとりつけられているガイドシュー (Fig. 12 参照) は、急激な熱履歴とはげしい摩擦により、使用回数の増加にともなうてしだいに変形する。ガイドシューの表面に局部的な凹凸が発生すると、ホローブルーム外面にその凹凸が転写されて、いわゆるシューマークとよばれる外面欠陥を生ずることになる。したがって、ガイドシューの材質としては、高温における耐摩耗性のすぐれたものでなければならない。一般に、ガイドシューの材質は高 Cr 高 Ni 鋼が用いられており、当社においても、従来 20Cr-8Ni 鋼が用いられてきた。しかしながら、このような

Table 7 Chemical compositions of new type alloy for guide shoe

C	Cr	Mo	Al	Ti	Fe	Ni
1.3	16	5	2.5	2.5	<10	Bal.

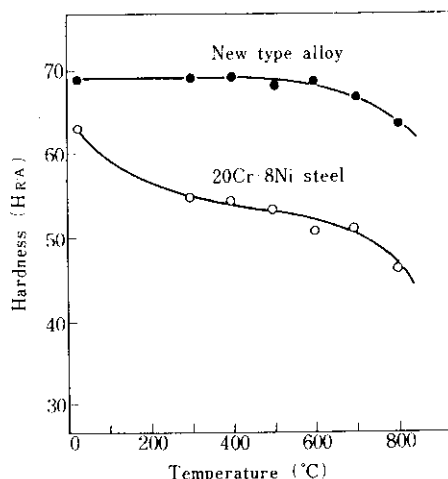


Fig. 18 Comparison of high temperature hardness between new type alloy and 20Cr-8Ni steel for guide shoe

材質のものでも満足すべきものとはいえず、とくに、合金鋼を穿孔する場合にシューマークの発生頻度は高い値を示していた。そこで、高温における耐摩耗性のさらにすぐれた高 C-高 Ni 合金を開発した。開発された合金の化学成分を Table 7 に、また、高温における硬度変化を Fig. 18 に示す。この材料をガイドシューに適用した時のシュー寿命ならびにシューマーク発生頻度を、従来の 20Cr-8Ni 鋼のそれと比較すると、Table 8 に示すようにシューマークの発生率が約 1/3 に減少し、寿命が約 3 倍に延びた。

Table 8 Life of guide shoe

Grade of billet to be pierced	New type alloy		20 Cr-8 Ni steel	
	Life	Frequency of shoe mark	Life	Frequency of shoe mark
Plain carbon steel	2 590 pcs	0.0009 1/pcs	1 202 pcs	0.0031 1/pcs
Cr-Mo alloy steel	1 324	0.0045	245	0.0135

Billet size : 110 mm ϕ

4.2.5 マンドレルミルロール

マンドレルミルロールの表面肌荒れが製品外面のしわ状欠陥につながるといわれている。

Fig. 19 はマンドレルミルロールの使用回数と外面疵発生率との関係を、また、**Photo. 10** はロール改削直前と直後における管外面の状況を示したものであるが、長時間手入れせずに使用した場合には、外面疵発生危険性が高くなる。とくに、Cr-Mo 合金鋼を圧延する場合にこのような

傾向が明瞭に認められる。したがって、合金鋼およびきわめて高い表面品質が要求される管に対しては、ロール改削直後に圧延できるようなスケジュール体制をとっている。

4.3 寸法精度

管に要求される寸法、すなわち外径および肉厚の精度はその用途によって異なり、きびしい精度が要求されるものについては熱間仕上管を原管とし、冷間引抜きあるいは機械加工などが必要であ

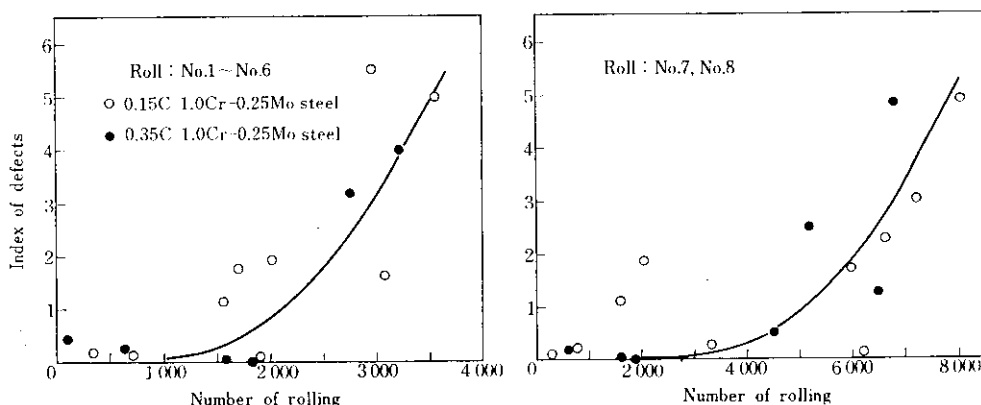


Fig. 19 Relationship between outside surface defects and the numbers of rolling of the mandrel mill roll

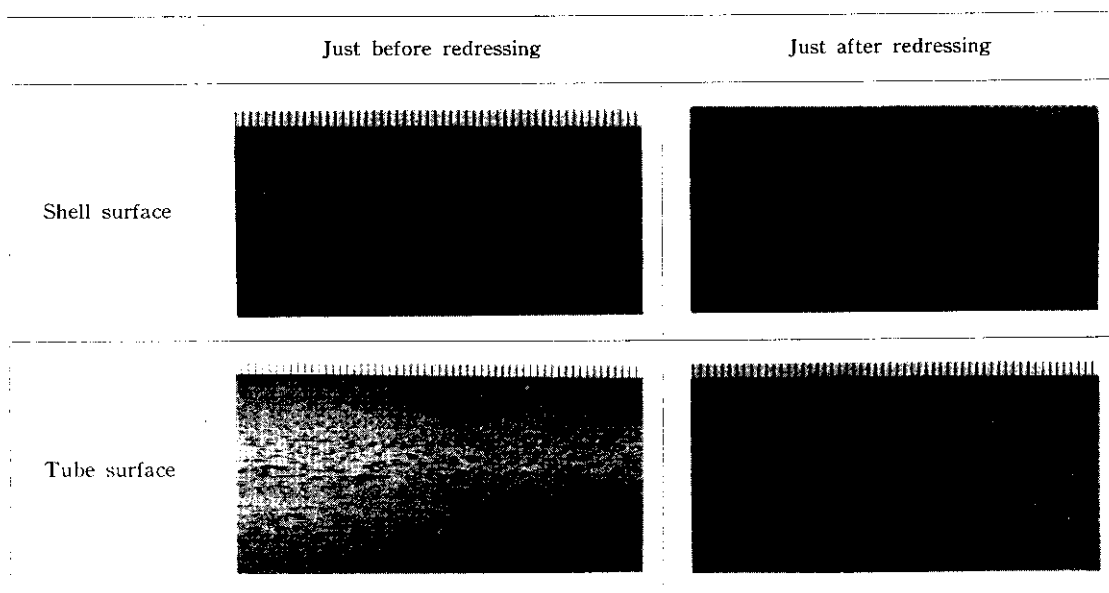


Photo. 10 Appearance of shell and tube surface rolled before and after redressing of mandrel mill roll

る。しかしながら、これらの2次加工を最小限におさえるためにも熱間仕上管の寸法精度を向上させることが重要である。

4.3.1 外 径

管の外径精度は、最終圧延工程であるストレッチレデュースにおける仕上スタンドのロールカリバ寸法の精度に依存し、ロール改削時に注意さえしておけばほとんど問題にはならない。しかし、レデュースにおける全外径絞り率がごく小さいサイズについては、その素管となるシェルの形状およびレデュースにおける圧延スケジュールの影響を受け、真円度が問題になることがある。とくに、肉厚が厚い場合にその傾向が強い。

この点については、

- (1) マンドレルミルにおける No. 7 および No. 8 スタンドのロールカリバの改善、
- (2) ストレッチレデュースにおける初期スタンドのカリバ改善、およびスタンド数の増加、

を行うことにより満足しうる結果を得た。Table 9 にその改善前後の比較の一例を示す。

Table 9 Example of roundness of tube O. D.

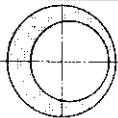
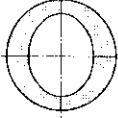
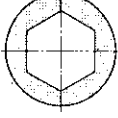
Tube dimension		Roundness* (%)	
Dia. (mm)	Thickness (mm)	Before improved	After improved
165.2	15.0	0.85	0.27
		1.15	0.36
		0.67	0.21
114.3	8.5	0.57	0.31
		0.82	0.22
		0.50	0.26

$$* \text{Roundness} = \frac{\max. \text{O. D.} - \min. \text{O. D.}}{\text{nominal O. D.}} \times 100(\%)$$

4.3.2 肉 厚

管の肉厚については、断面円周方向および長手方向における変動がある。これらの肉厚変動は、Table 10 に示したようにピアサ、マンドレルミルおよびストレッチレデュースなど、各ミルで生ずる特有の変動から構成されている⁴⁾。

Table 10 Characteristic forms of wall thickness variation

Wall thickness variation		Mill
(a)	 Eccentricity	Piercer
(b)	 Cusps or bumps	Mandrel mill
(c)	 Asymmetry	Mandrel mill
(d)	 Polygonization	Stretch reducer
(e)	 Crop end	Stretch reducer
(f)	 Stomach	Mandrel mill

(1) 偏 心

Table 10 (a) にみられる偏心は、そのほとんどがピアサで発生すると考えられ、管材の加熱むら、穿孔条件などがその要因となることはよく知られている^{24,25)}。当社においても穿孔条件のうち、偏肉に大きく影響すると思われるガイドホルの孔径、シェー間隔および穿孔プラグの心振れについて調査した。

穿孔直前にセンタリングマシンであけられるガイドホルの孔径は、ホローブルームのごく先端部の偏肉に影響する。すなわち、穿孔開始時の管材先端の孔形状をプラグ形状に合致させ、接触面積を大きくすることが望ましい。孔径と偏肉との関係を Fig. 20 に示すが、当社の場合、 $d/D = 0.46$ 程度が最適条件である。

シェー間隔の影響については Fig. 21 に一例を示すように、その間隔が広くなると偏肉は悪化する。

また、プラグの心振れの影響をみるために、その量を端面に対する直角度で評価し、ホローブル

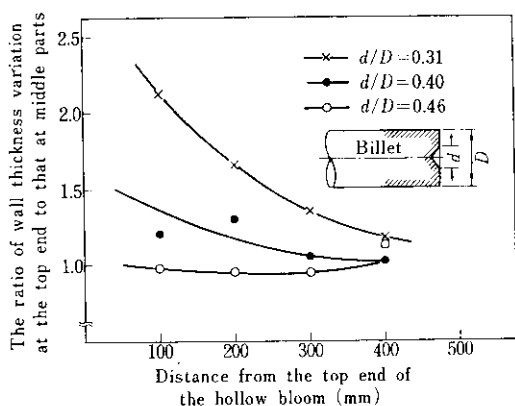


Fig. 20 Influence of the punched diameter on the wall thickness variation at the top end of the hollow bloom

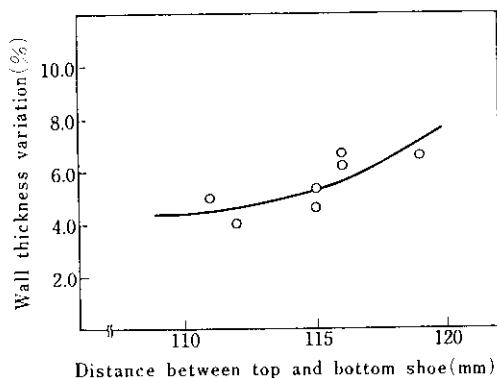


Fig. 21 Influence of the distance between top and bottom shoe on the wall thickness variation (Hollow bloom size: 110mm ϕ)

ームの偏肉との関係を求めた。結果を Fig. 22 に示す。これにもとづき、心振れは 3.0mm 以内に管理している。

(2) 対称性偏肉

Table 10 (b), (c) に示した偏肉は、マンドレルミル圧延において発生する。前者は、圧延中の材料の軸方向の引張りが不足し、そのため周長が増しロールのエッジ部からのかみだしが大きくなりすぎた場合にみられるものである。またマンドレルバー径の選定を誤ったときにも発生する。後者は、マンドレルミルにおける奇数スタンドと偶数スタンドとのロール圧下量がアンバランスである場合に生ずる。これらの偏肉は、操業中常時行われているシェルの形状チェック、およびサンプリ

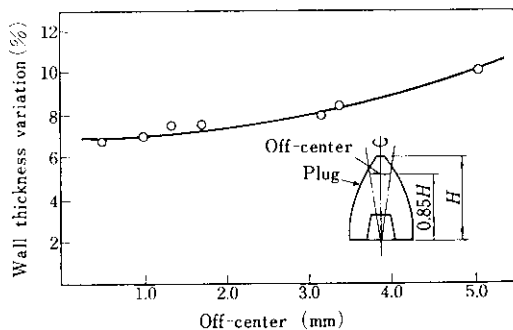


Fig. 22 Influence of off-center of plug on wall thickness variation in hollow bloom

ングによる肉厚測定により監視され、調整が行われているためほとんど問題とはならない。

(3) 内面六角形状

ストレッチレデュースで圧延する場合、管の t/D (t : 肉厚, D : 外径) が大きくなるほど、すなわち厚肉管ほど内面の角ばり現象が著しくなる。その関係を示したのが Fig. 23 であるが、角ばり程度をあらわす P 値が 1.0% 以下ではほとんど問題なく、2.0% 以上になると Table 10 (d) に示したように内面六角形状が明瞭になる。

このように t/D に強く依存していることは明らかであるが、さらに調査した結果、この現象はストレッチレデュースにおける圧延スケジュールを適切に選ぶことにより軽減されることが判明した。すなわち、Fig. 24 に示すように管寸法に対

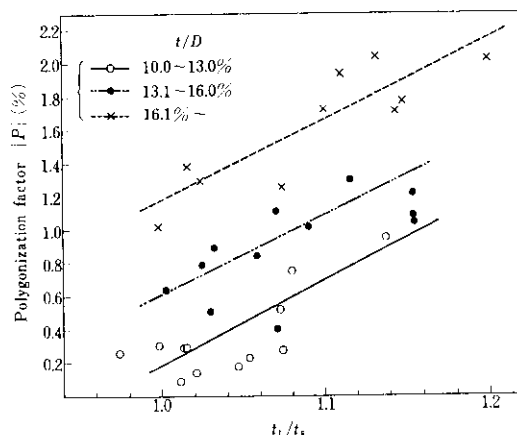


Fig. 24 The relationship between t_1/t_2 and polygonization factor $|P|$
(t_1 : Wall thickness of tube)
(t_2 : Wall thickness of shell)

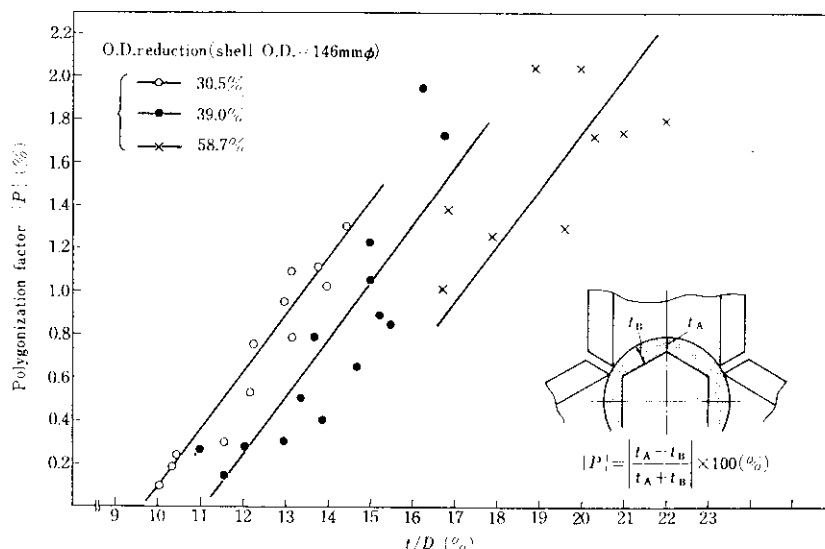


Fig. 23 The relationship between t/D (t : Wall thickness, D : Outside dia.) and polygonization factor $[P]$

するシェル肉厚の選定が重要である。 t/D が10%以下ではとくに配慮は不用であるが、15%以上の場合には、すくなくとも $t/t_s=1.0$ 以下を選ぶ必要がある。

(4) 管端増肉

ストレッチレデュースで仕上圧延された管の先後端部分は、ほかの部分に比較し管軸方向の引張りが不足であるため、Table 10 (e) に示すように増肉する。したがって、所定の肉厚公差よりはずれる部分をクロップとして切り捨てる必要がある。その程度はレデュースにおける圧延スケジュールに依存するため、管寸法ごとにその量を把握しておかねばならない。当社では多量の調査データをもとに、Table 11 に示すようなクロップ切

断長さの標準を設定している。

(5) ストマック

マンドレルミルで圧延されたシェルには、Table 10 (f) に示したようなストマックとよばれる増肉現象が、先端および後端に近い位置でみられるのが特徴的である。これはストレッチレデュースでは改善されない。この現象は圧延中の材料速度が各スタンド通過時一定であるのに対し、圧延工具であるマンドレルバーの速度が圧延開始から終了までの間にしだいに上昇するために生ずるものである (Fig. 25 参照)。この速度差のため

Table 11 Off-gauge length

Grade	I-Grade	II-Grade
Shell O.D.		
90φ A-series	$255 \cdot \varepsilon_{ET} \cdot (t_s/t_t)^2$	$230 \cdot \varepsilon_{ET} \cdot (t_s/t_t)^2$
B-series	$255 \cdot \varepsilon_{ET} \cdot (t_s/t_t)^3$	$225 \cdot \varepsilon_{ET} \cdot (t_s/t_t)^3$
146φ	$285 \cdot \varepsilon_{ET} \cdot (t_s/t_t)^3$	$250 \cdot \varepsilon_{ET} \cdot (t_s/t_t)^3$
180φ ($\leq 141.3\phi$)	400 mm	400 mm
($> 141.3\phi$)	300 mm	300 mm

ε_{ET} : The elongation in stretch reducer

t_s : The wall thickness of the shell

t_t : The wall thickness of the tube

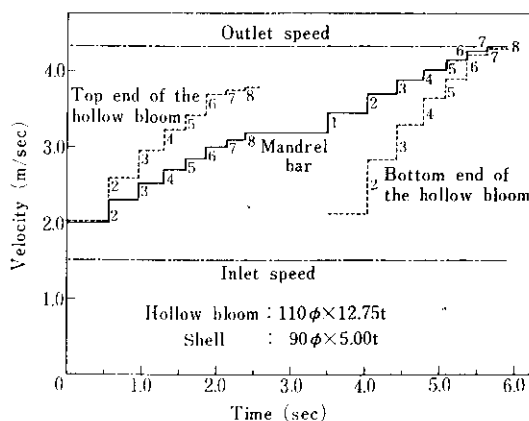


Fig. 25 Velocity of hollow bloom and mandrel bar by mandrel mill rolling

材料との間にすべりが生じ、その摩擦抵抗によりバー速度の遅い材料先端側は後方に、バー速度の速い後端側は前方に引張られる。したがって、摩擦抵抗を小さくするためにバー表面に潤滑剤を塗布しているが、ストマックの防止には不十分で、マンドレルバーの表面温度および表面あらさにも影響されることが明らかとなった。すなわち、通常マンドレルバーは10～15本を1セットとして圧延（加熱）-冷却のサイクルをうけながら循環使用される。使用開始時は常温であるが、循環にともない昇温して冷却能力とバランスした温度に飽和する。ストマック量の変化とマンドレルバーの温度変化との関係を、表面あらさのちがう2本のバーについて示したのが **Fig. 26** である。なお、ストマックの評価方法として、シェル長手方向の平均肉厚変動率を用いた。この結果より、現場的にはマンドレルバーの循環サイクルに応じた圧延条件の設定変更を行うとともに、バー冷却タンクの温度制御を行い、最適温度にバー温度を保持している。さらにバーの使用履歴を管理し、異なった履歴のバーの混入をさけて、表面あらさのそろったものをセットにすることによって肉厚のバラツキを小さくしている。

また、ストマックは使用されるマンドレルバー径にも影響をうけることが判明した。すなわち、

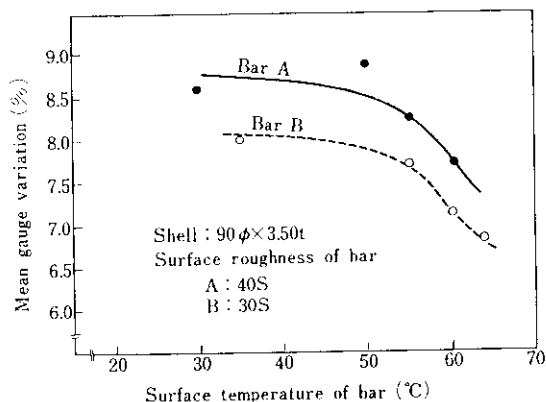


Fig. 26 The relationship between mean gauge variation of the shell along its length and surface temperature of bar

ホローブルームとバーとの間隙量の大小がストマックに影響する。その関係は **Fig. 27** に示すとおりであり、間隙量を大きくした方がよい結果を得る。しかし、間隙量をあまり大きくすると、すでにのべた **Table 10 (b)** のタイプの偏肉が生ずるため、両者を考慮して9～11mmの範囲でシェルサイズごとのバー使用基準を設定している。以上の対策をとることによって、ストマックは少なくなり、シェル長手方向の肉厚変動率は5%以下におさまるようになった。

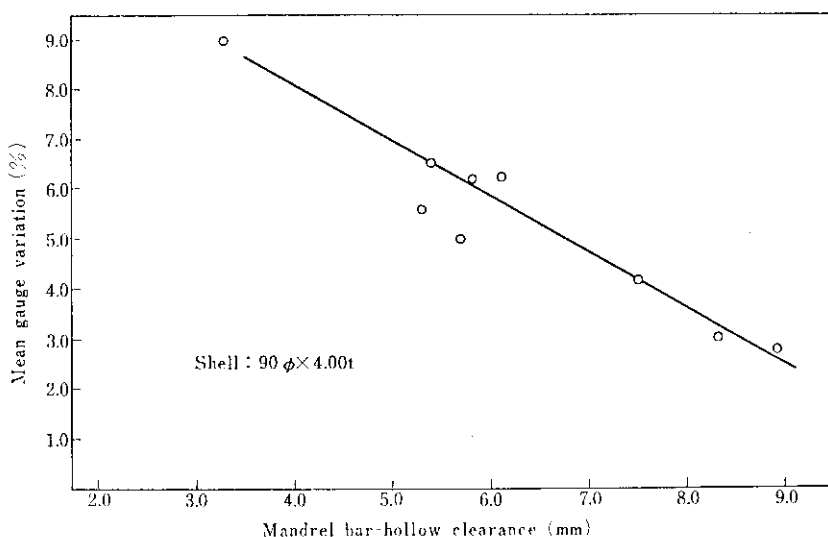


Fig. 27 The relationship between thickness variation and bar-hollow clearance

5. 結 言

稼動当初以来、当社が経験してきた継目無鋼管製造上のおもな技術的問題点およびその対策についてのべた。その結果、内外面疵および寸法不良による格落率は、当初の $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ に著減し、一級歩止り（1級量/定尺量）97～98%までに達することができた。また定尺歩止り（定尺量/管材量）についても、当初のそれより5～6%向上し、91～92%に達している。さらに稼動率の向上にとともに、現在では17000 t/月（ミル2ヶ班操業）生産し、ほぼ満足すべき状態となっている。

しかしながら、さらに技術の向上をめざし、よりすぐれた鋼管の製造に努めねばならないことはいうまでもない。たとえば、素材面では、省資

源、低価格の観点から、連铸材の使用範囲の拡大がもっとも重要な課題といえよう。いっぽう、製管圧延の面では、制御技術の向上をはかり、また省力化を進めるための工具類の改善、コンピュータによる単重および厚みの自動測定制御をはじめとしたより完全なプロセス・コントロールの確立などがあげられる。

さらに高速穿孔法の開発による生産能率の向上、マンドレルミルによる高級合金鋼の製管技術の確立などにも努力を傾け、継目無鋼管製管技術の向上に、よりいっそう寄与していきたいと考えている。

なお、これらの技術的諸問題の改善は、社内関係部課の全員の努力によってなされたものである。最後に、稼動当初以来、終始有益な助言をいただいた需要家各位に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 安藤, 黒川, 丹羽: 川崎製鉄技報, 3 (1971) 1, 90
- 2) 西岡, 江本: 川崎製鉄技報, 4 (1972) 1, 12; 鉄と鋼, 60 (1974) 12, 1661
- 3) 井上, 副島: 鉄と鋼, 38 (1952), 301
- 4) P. E. Brookes, D. M. Cottingham: Proceeding of the Technical Meeting, Tube and Pipe Production, 1971, 105 [The Iron and Steel Institute]
- 5) 井上, 加藤: 鉄と鋼, 38 (1952) 6, 383
- 6) 井上, 加藤: 鉄と鋼, 39 (1953) 9, 966
- 7) 池島, 森島: 鉄と鋼, 41 (1955), 17
- 8) N. L. Samways, E. J. Paliwoda: Operating Metallurgy II, Proceeding of Open Hearth Steel Conference, 44 (1961), 405
- 9) 池島, 森島: 鉄と鋼, 40 (1954), 704
- 10) D. M. Cottingham: Deformation under Hot Working Conditions, (1968), 145, [The Iron and Steel Institute]
- 11) 両角: 鉄と鋼, 52 (1966) 13, 39
- 12) C. L. Clark, J. Russ: AIME Technical Publication No. 1839
- 13) 間瀬: 塑性と加工, 9 (1968) 94, 782
- 14) A. Nicholson, D. Smith, P. Shaw: Deformation under Hot Working Conditions, (1968), 161, [The Iron and Steel Institute]
- 15) 加藤: 鉄と鋼, 56 (1970) 7, 915
- 16) N. Matei: Metalurgia, (1972) 1, 17
- 17) A. Preece et al.: JISI, 164 (1950) 1, 37
- 18) H. R. McLaren: Iron & Steel Eng., 25 (1948) 4, 73
- 19) 池島, 森島: 住友金属, 4 (1952) 1, 252
- 20) 三好: 鉄と鋼, 42 (1956) 3, 188
- 21) W. Scheurer: Stahl u Eisen, 72 (1952) 16, 935
- 22) 鷺田, 山下, 吉田: 鉄と鋼, 41 (1955) 5, 515

- 23) 神居ほか：鉄と鋼, 55 (1969), S169
- 24) 馬場：塑性と加工, 4 (1963) 27, 247
- 25) 生嶋, 五十部：鉄と鋼, 53 (1967) 11, 1225

