

UDC 621.771.251 : 621.771.252 : 669.012.5

線材・棒鋼圧延における歩留り向上の現状と展望

三宮章博*・西崎 允**

Recent Progress of the Product Yield in Wire Rod and Bar Mills

Akihiro SANNOMIYA and Makoto NISHIZAKI

1. はじめに

共同研究会の線材分科会，中小形分科会は，発足以来25年を経過し，開催回数は50回をこえるに至った。その間，設備，生産量，操業をとりまく環境には幾多の変化があつたが，圧延歩留りの向上は研究会メンバーの最大の関心テーマとして不断の努力がはらわれ，常に向上の途を歩みつけてきた。

しかしながら，石油危機以降省エネルギーとならび，歩留り向上は最重点課題として一段とクローズアップされ，各社は総力を結集し一層の改善対策を講じている。共同研究会においてもこれまでに，線材分科会で2回，中小形分科会で5回歩留り向上が研究テーマとしてとりあげられ，自由研究テーマとしても多くの研究事例が報告されている。

ここでは，線材分科会および中小形分科会参加各社の最近5ヶ年間の活動報告にもとづき，線材・棒鋼の歩留

り向上の現状および改善事例を紹介し，あわせて今後の展望について述べる。

2. 歩留りの推移

線材および棒鋼工場の歩留りは，その工場の圧延機配置や圧延方法などの圧延型式，使用できる鋼片の大きさ，あるいは品種構成などによつてその水準が異なることが多いので，共同研究会参加工場をこれらの内容によつて分類し，それぞれのグループごとに最近の歩留りの推移を述べる。

線材・棒鋼工場の発展経過においては，種々の型式の圧延工場が存在したが現在稼働している工場は主として4つの型式に分類できる。これらの特徴を表1に，圧延機配置を図1¹⁾²⁾に示した。

2.1 線材の歩留り

図2^{3)~8)}は圧延型式A, B, CおよびDの4グループについて，最近5ヶ年間の歩留りの推移を示したもので

表1 線材・棒鋼工場の型式

型式	圧延機配置	適用工場	鋼片単重	主な製造品種	備考
A	図1 a)	細番線材工場 または 小形棒鋼工場	300~500 kg	特殊鋼	レピーター圧延方式
B	図1 b)	細番線材工場 または 小形棒鋼工場	600~1000 kg	特殊鋼	このほかに，すべて水平圧延機を配置し，主として普通鋼を製造する工場がある。
C	図1 c)	太番線材工場 または 中小形棒鋼工場	1000~3000 kg	特殊鋼	すべて垂直-水平圧延機の交互配置で，ノーツイスト圧延ができる。
D	図1 d)	細番線材工場	2000 kg	普通鋼 および 特殊鋼	仕上げ圧延機にブロックミルを採用し，60 m/s以上の高速圧延ができる。

昭和56年3月16日受付 (Received Mar. 16, 1981) (依頼解説)

* 本会共同研究会条鋼部会中小形分科会主査 (株)神戸製鋼所神戸製鉄所 (Kobe Works, Kobe Steel, Ltd., 2 Nndahamahigashi-cho Nadahama-ku Kobe 651)

** 本会共同研究会条鋼部会線材分科会主査 (株)神戸製鋼所加古川製鉄所 (Kakogawa Works, Kobe Steel, Ltd.)

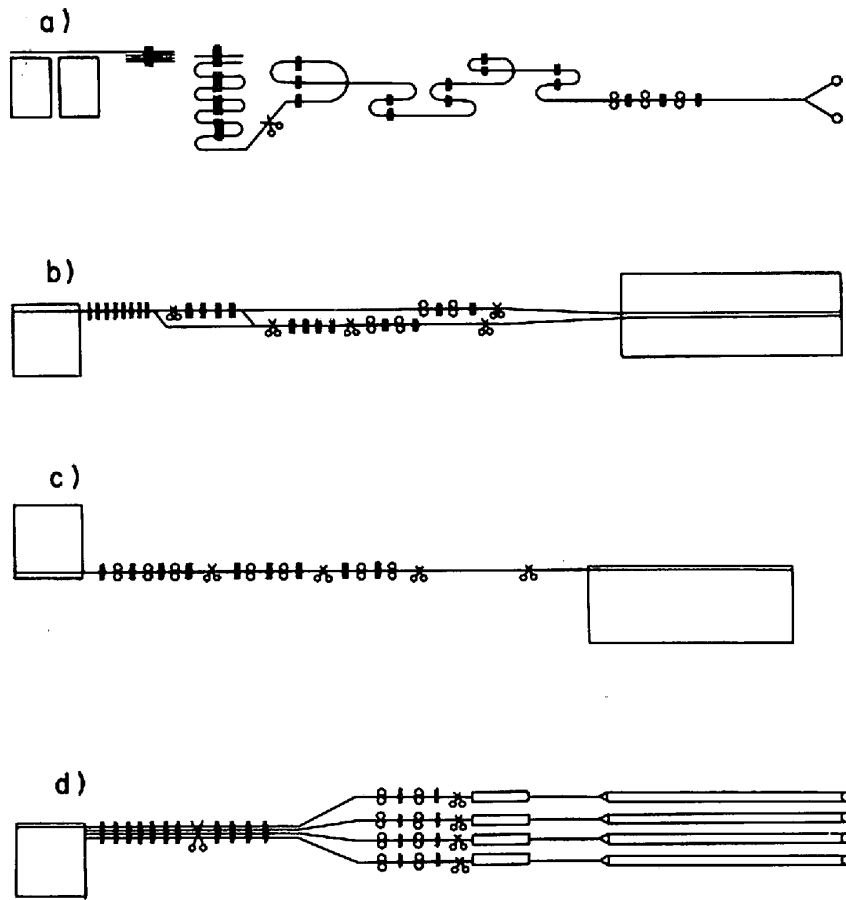
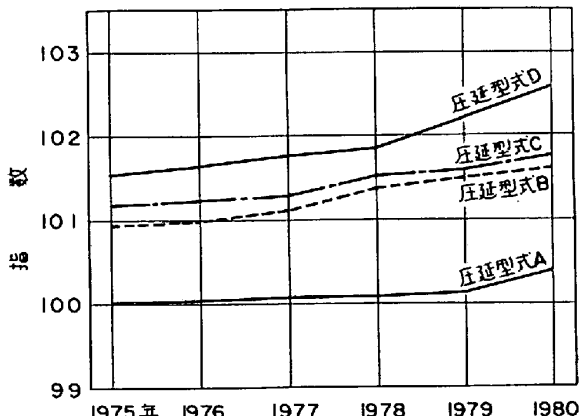
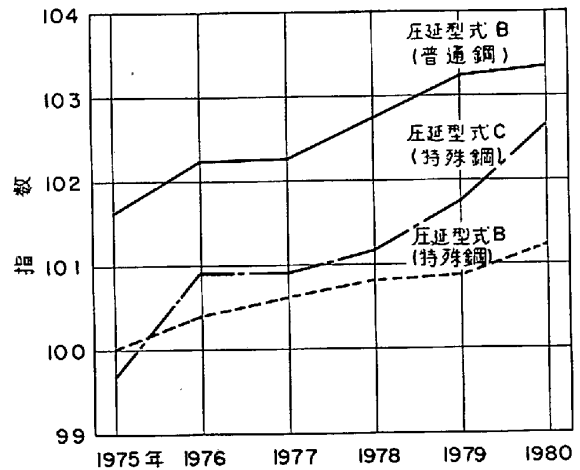


図1 線材・棒鋼工場の圧延機配置



注：圧延型式A (1975年) の歩留りを100とした。

図2 線材の歩留り推移



注：圧延型式B式 (特殊鋼 1975年) の歩留りを100とした。

図3 棒鋼の歩留り推移

ある。この5年の間に0.4~1%程度の歩留り向上が認められる。グループ間で歩留り水準に差があるが、この主な理由は圧延型式により鋼片単重、品種構成が異なることによる。

Aグループは鋼片単重が小さいことと、特殊鋼主体の品種構成であることから歩留り水準は他のグループにくらべて低い。Bグループは鋼片単重が600kgから1tと比較的大きいこと、またCグループは1~2tの大きい鋼片を使用しているが特殊鋼が主体であることによ

り、中位の歩留り水準となつている。Dグループは鋼片単重が2tと最大であることと、圧延ロットの大きい普通鋼主体の生産品種であることにより、最も高い歩留り水準を示している。

2.2 棒鋼の歩留り

図3^{9)~14)}に普通鋼を製造する圧延型式Bのグループと、特殊鋼を主に製造する圧延型式BおよびCのグループについて最近5年間の歩留り推移を示している。

普通鋼を製造するグループは、他のグループにくらべて1%程度高い歩留り水準となつている。この理由としては普通鋼では通常、圧延ロットが大きく圧延作業が簡略であること、製品長さ、品質などの許容度が特殊鋼よりもゆるいことなどが挙げられる。

棒鋼においても最近1~3%程度の歩留り向上がはかられた。とくにCグループは、鋼片単重が2~3tと最も大きいことと、歩留りロスの発生を少なくするための設備、操業上のくふうが多くなされていることから歩留りの向上は著しい。

3. 歩留りにおよぼす要因

線材・棒鋼圧延における歩留りは、鋼片の加熱から製品の精整、検査に至る各工程において生ずる種々の歩留りロスの発生量によつて支配される。

図4に示すように、線材・棒鋼の歩留りロスには鋼片加熱にともなうスケールロス、圧延工程で発生する圧延クロップロスおよびミスロール、さらに精整、検査工程で生ずる製品クロップロス、端尺(棒鋼のみ)、検査不良ロスがある。

3.1 歩留りロスの発生理由

(i) スケールロス

鋼片は圧延の前にその成分などによつて決まる所定の

温度に加熱されるので、加熱炉においてスケールが生成し圧延中に脱落、生成を繰り返して歩留りロスとなる。スケール発生量は鋼種、加熱温度、加熱時間および加熱方法によつて増減する。

(ii) 圧延クロップロス

鋼片が孔型を通過する間に、その先・後端にはロール冷却水による局部冷却や、形状不良が生ずる。このため、先端部ではロールへの噛み込み不良、後端部では誘導装置での詰まりなどによりミスロールが発生しやすくなる。したがつて通常、粗圧延(7~10パス)および中間圧延(7~10パス)終了後に、フライングシヤー、ロータリーシヤーなどのクロップシヤーによつて圧延材の先・後端を一定長さ切り捨てる。必要な切り捨て長さは、端部の形状を調査して各工場ごとに適切な値が設定される。この切り捨てロスを圧延クロップロスという。

(iii) 製品クロップロス

圧延材は仕上げ圧延においても、先・後端部に寸法・形状不良および表面疵が発生する。このほか線材では、コイル状に巻き取る際に先・後端部に巻き乱れなどによるループ形状不良を生ずることがある。また、棒鋼では分割切断時に切断部端面の形状不良が発生する。これらの製品端末に生ずる不良部分は、精整工程でトリミングされ製品クロップロスとなる。

(iv) ミスロール

線材・棒鋼の圧延工程では、非常に多くの要因によりミスロールが発生するが、その要因は次のように大別できる。

- ・鋼片の品質不良
- ・鋼片の加熱温度の不適當
- ・圧延機および付属品の設備的欠陥
- ・電気機器の設備的欠陥
- ・人為的な機器の調整不良

(v) 棒鋼の端尺

一般に棒鋼は需要家からの指定長さに応じて切断され出荷される。したがつて製品の延べ長さが、切断長さの整数倍となるように鋼片単重を設定できれば端尺を生ずることはない。しかし鋼片単重の設定にあつては、製品寸法ごとの延べ長さは考慮されるものの分塊歩留り、鋼片在庫管理などの制約によりある程度の端尺の発生は避けられない。

3.2 歩留り構成

図5³⁾⁸⁾⁹⁾¹⁴⁾は線材(圧延型式Dグループ)と棒鋼(同Cグループ)の歩留りロスについて、最近5ヶ年の発生要因別推移を示したものである。線材・棒鋼ともこの5年間で、歩留りロスは全体に半減した。線材の場合には切断ロス、スケールロス、ミスロールともほぼ半減している。棒鋼ではとくに切断ロスの減少効果が顕著である。これは端尺および分割切断にともなう製品クロップロスの大幅な減少によるものである。

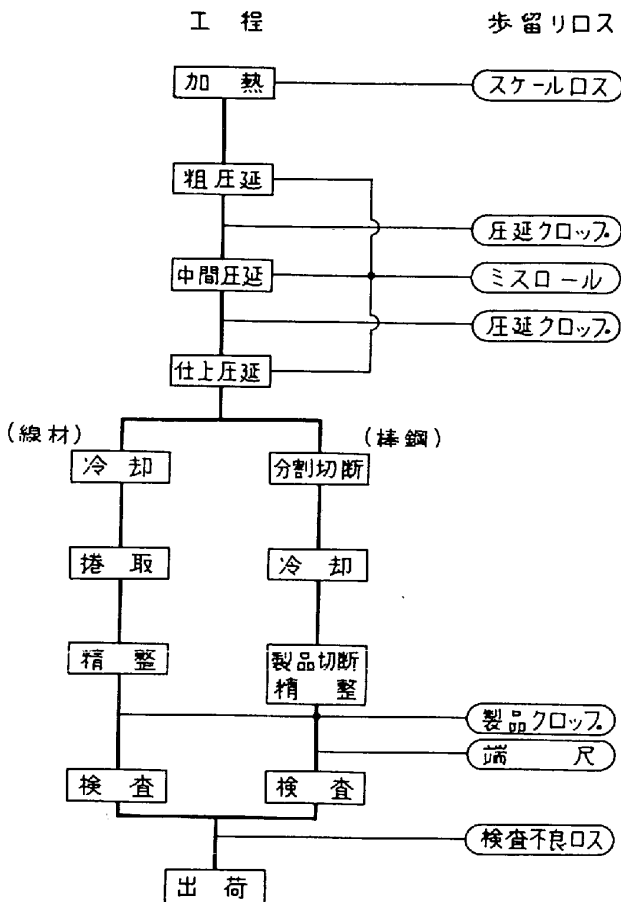


図4 線材・棒鋼圧延における歩留りロス

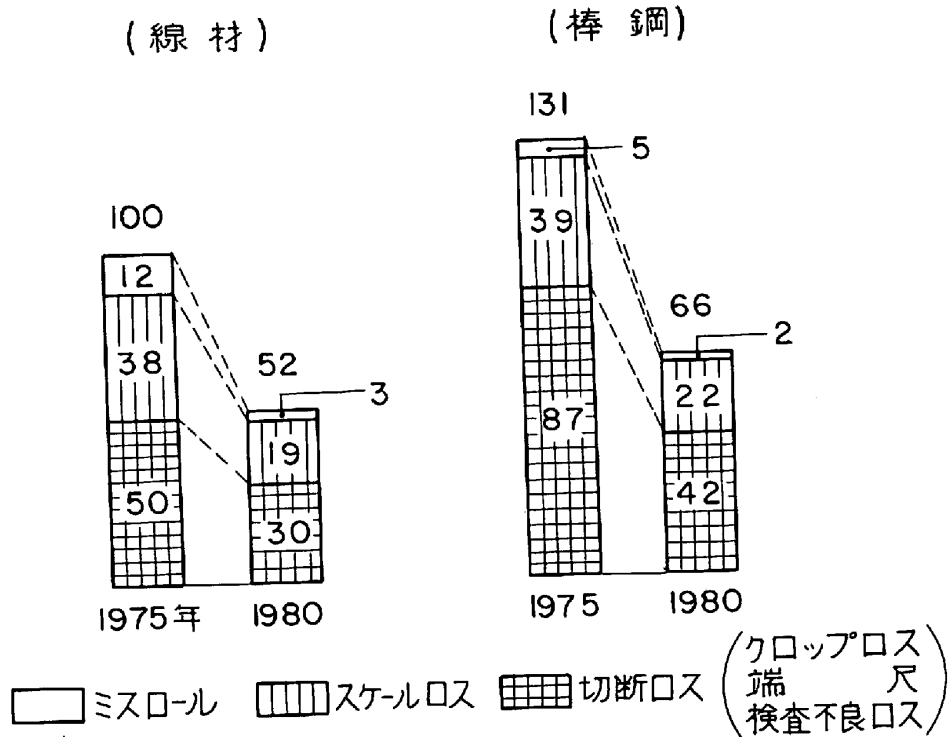


図 5 線材・棒鋼の歩留りロス推移

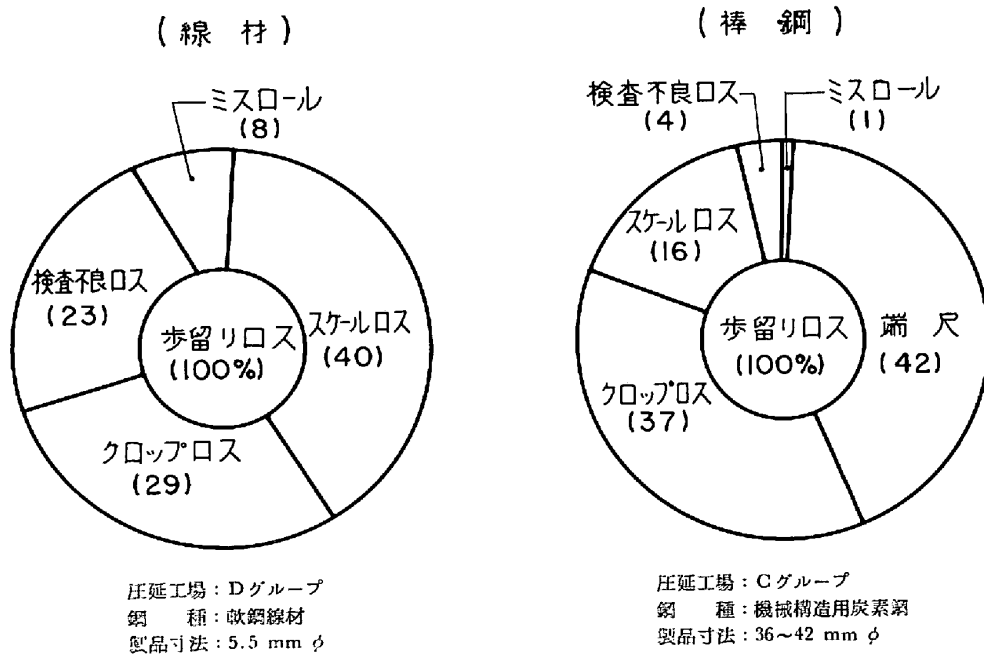


図 6 線材・棒鋼の歩留りロスの内訳

最近の歩留りロスの内訳をさらに細かく解析すると、図 6 ①② に示すように棒鋼では端尺とクロップロスの占める割合は依然高く、今後とも低減対策を積極的に継続する必要がある。線材については、棒鋼にくらべて圧延速度が速いのと製品寸法が小さいため、ミスロール発生率が高くこの改善が歩留り向上に寄与する。

4. 歩留り向上対策

線材・棒鋼工場で最近実施された歩留り向上に関する主な対策とその効果について、具体例を紹介する。

4.1 鋼片単重の見直し

(1) 鋼片単重の増大

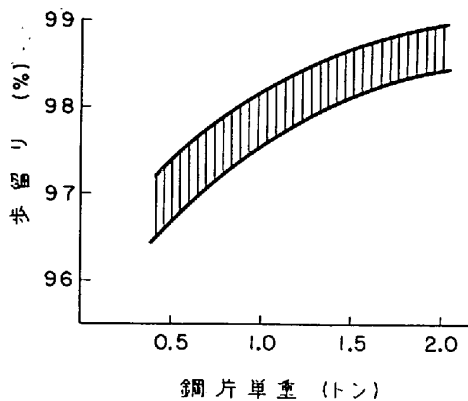


図7 鋼片単重と歩留りの関係(線材)

3-1 項で述べたように、鋼片の大きさにかかわらず鋼片1本ごとに一定量の圧延および製品クロップロスが発生する。したがって、とくに線材の場合は鋼片単重を増大し、所要鋼片本数を少なくすればこれらのクロップロスを低減できるので、図7⁸⁾に示すように歩留りが向上する。最近、共同研究会参加19線材工場のうち4工場で鋼片単重の増大が行われた。一部で圧延機の増設を必要としたが、歩留りは0.1~0.2%向上した⁸⁾。

(2) 鋼片単重の最適化

棒鋼の場合も鋼片単重の増大によつて圧延クロップは減少するが、端尺の増加をともなうような単重設定を避け、全体の切り捨て量が最小になるように鋼片単重の最適化を行わねば歩留り向上がはかれない。共同研究会参加19棒鋼工場では最近、7工場において鋼片単重の増大と最適化が行われ、0.1~0.3%程度の歩留り向上が得られている¹²⁾。

4-2 スケールロスの減少

鋼片の加熱工程で生成するスケールを低減するため、次のような対策が講じられている¹³⁾¹⁵⁾。

(1) ヒートパターンの改善

省エネルギーの観点からも多くの事業所でヒートパターンの見直しが行われ、加熱温度の最適化や急速加熱方法が取り入れられた。

(2) 炉内酸素量の低減

これも省エネルギーと関連するものであるが、低空気比燃焼を行うとともに、酸素測定器を設置し各社とも積極的に過剰空気の管理を実施した。

(3) ホットチャージによる加熱時間の短縮

これらのスケール減少対策の結果、図5にも見られるように線材・棒鋼のスケールロスは、従来にくらべて半減し最近では0.6~0.7%程度となつた。

4-3 圧延クロップロスの減少

(1) 切断長さの見直し

粗列・中間列後面のクロップシャーで切断されるクロップの形状について、各社で実態調査を行い必要切断長さの見直しが実施された。この結果、0.1~0.3%程度の

圧延クロップロスの低減がはかれた⁸⁾¹²⁾。

(2) 切断精度の向上

走行中の圧延材を切断する場合には、ロール回転調整にともなう走行速度の変動や、シャーの作動時間のばらつきなどによりクロップ長さにはばらつきを生ずる。したがって、切断精度を向上させてこのばらつきを小さくする改善が多くの工場で行われた。

(i) 速度変動によるばらつき対策

クロップシャーへの切断指令を圧延材検出後タイマーで行う方法では、走行速度の変動に追従できない。速度変動の影響を小さくするために、圧延材検出器をクロップシャー側へ移設し切断長さのばらつき低減を行つた結果、0.06%の歩留り向上が得られた¹⁶⁾。また、タイマーをパルスカウンターに変更し速度変動に追従できるように改善した事例も報告されている。

(iii) クロップシャー作動時間のばらつき対策

クロップシャーの刃の停止位置が一定でないため切断長さに±100mmのばらつきを生じていたが、シャーの制動装置を改良し停止位置を安定させ、ばらつきを±75mmに減少させた事例がある¹⁷⁾。

4-4 製品クロップロスの減少

(1) 先・後端の寸法不良改善

圧延材の先端がロールに噛み込む時のインパクトドロップにより製品先端に寸法不良が発生する。また引張圧延方式では、後端部で張力が解放されるため断面形状が変化し、製品寸法不良を生ずる。

これらの対策として先端部に対してはインパクトドロップ補償回路を設け、後端部に対しては張力制御を行うことにより、図8に示すように先・後端の寸法不良長さを減少させ、0.24%の歩留り向上をはかつた事例が報告されている¹⁸⁾。

(2) 棒鋼の端曲がり防止

冷却床上の製品がAc₁変態点を通過する際の膨張により、端部が固定レイクに当たつて端曲がりを生じ切断ロスとなつていた。レイクに案内ガイドを取りつけて曲がりを防止し、0.4%の歩留り向上がはかれた事例がある¹⁹⁾。

(3) 線材の荷姿不良減少

高速圧延を行う工場ではリングヘッドによりループ成形する際のループ形状を改善し、ループ形状不良による製品クロップロスと荷姿不良廃却材を減少させ、0.2%の歩留り向上を得た事例もある²⁰⁾。

4-5 ミスロールの防止

どの圧延工場においてもミスロールの減少には多大の努力がはらわれており、全体としてミスロール発生率は極めて低いレベルとなつている。線材と棒鋼のミスロールによる歩留りロスをくらべてみると、図5に示すように線材では棒鋼の約3~4倍程度多い。線材工場では多くのミスロール防止対策が行われているが主なものを次

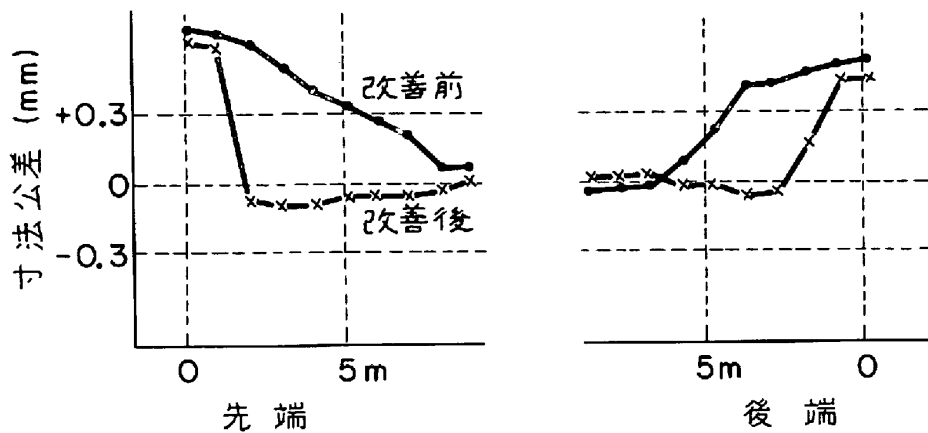


図 8 線材の先・後端寸法不良の改善事例

に紹介する。

(1) ルーパーでのループの安定化

加熱温度の均一化，熱鋼寸法管理の強化により，ルーパー前後の圧延機での圧下量を一定にしてループを安定化させた結果，ルーパーでのミスロール発生率が 0.05% 程度減少したと報告されている²⁰⁾。

(2) このほか，

- ・圧延機入口ガイド改造による先端詰まり防止
- ・圧延機誘導装置改善による先端飛び出し防止
- ・高速圧延材誘導装置のパスライン改善

などが行われたが詳細は省略する。

4.6 棒鋼の端尺の減少

(1) コンピュータによる最適切断制御の実施

圧延長さの実測値からコンピュータにより端尺発生を最小にする切断長さを決定する切断システムが実用化され，端尺ロスの低減がはかられた。

4.7 圧延工程での検査不良の発生防止

(1) 超硬ロールの採用

ブロックミルには超硬ロール（タングステン・カーバイド焼結合金ロール）が使用されているが，最近ではブロックミル以外の仕上げ圧延機でも超硬ロールが使われるようになった。超硬ロールは従来のチルドロールにくらべて，孔型の寿命が極めて長いので寸法精度および表面品質の向上がはかれ，寸法不良，表面疵による検査不良が減少した。

また，孔型およびロールの交換直後はガイドやロール回転数などの圧延条件が変化しているので，ミスロールが発生しやすい傾向にあるが，超硬ロールを採用しこれらの交換頻度を減らすことによりミスロール発生率を低減させた事例もある。

図 9²¹⁾は，仕上げ圧延機に超硬ロールを採用した線材工場における超硬ロール採用前後の歩留りの推移を示したものであるが，0.2% 程度の歩留り向上がはかられている。

(2) 孔型設計の見直し

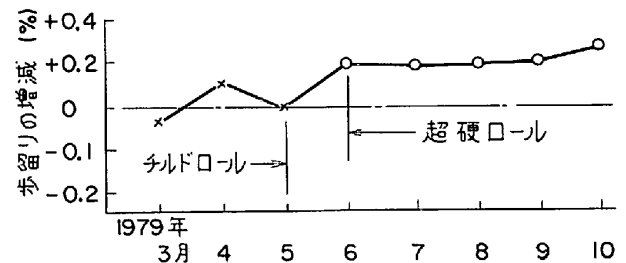


図 9 超硬ロール採用による歩留り向上事例

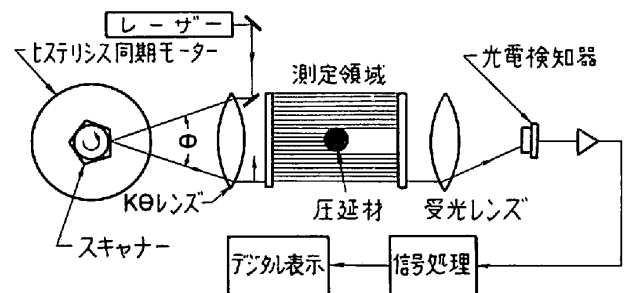


図 10 レーザー走査式寸法測定器の原理

線材工場の中間列，仕上列のロール孔型を，品質を重点とした形状に改訂し圧延疵の減少をはかり，歩留りを 0.2% 向上させた事例が報告されている²²⁾。

(3) 寸法測定器の導入

線材・棒鋼の寸法管理は，圧延途中および製品よりサンプルを採取し，マイクロメータなどで測定して行われている。最近，熱間寸法測定器の検出精度，信頼性が向上し，オンラインでの寸法管理用として使用されるようになった。寸法測定器の原理はいくつかあるが，その一例を図 10 に示す。

高速圧延により大量生産を行う工場では，寸法異常の早期発見がとくに重要であり，寸法測定器は不良の集中発生防止に効果を発揮している。

5. 今後の展望

今後さらに歩留り向上をはかるために各社で次のような対応が積極的に行われるであろう。

(1) 鋼片単重の最適化

圧延設備の更新、圧延速度の高速化により鋼片単重が増大し、単重2～3tの鋼片が一般化するであろう。

また、線材・棒鋼用ブルーム連铸材の拡大にともない鋼片単重の選択の幅が広がり、鑄造から製品圧延に至る一貫歩留りを最大にしうる単重設定が積極的に行われよう。

(2) 製品寸法精度の向上

粗列の垂直-水平交互圧延におけるテンション・コントロール技術を含めた寸法精度向上技術が発達し、歩留り向上に貢献するものと思われる。

(3) 不良の集中発生防止

圧延設備の生産性が高まるにつれて、圧延ラインで発生する不良の集中発生を防止する方法の一つとして、寸法不良、表面疵の早期発見ができる体制の確立が行われていくであろう。

(4) 棒鋼の最適切断システム

製品切断における端尺ロスを最小にする分割切断での切断スケジュールを決定するシステムはすでに一部で行われているが、今後さらに広く取り入れられ棒鋼の歩留りは大幅に向上すると考えられる。

(5) ホットチャージの拡大

連铸鋼片の使用拡大や鋼片の熱間探傷技術の向上により、今後ホットチャージ対象量は拡大しつづけ、それにとともにスケールロスが低減されるであろう。

6. おわりに

線材・棒鋼の歩留りは、圧延設備の改善および圧延技術自体の向上に加え、省エネルギー対策、連铸材の使用比率の増大に押しあげられ、ここ数年飛躍的な上昇をみた。

今後、炉外精錬などの製鋼技術、連铸の多様化などが寄与し、一貫歩留りの向上を目指し努力がはらわれよう。

文 献

1) 日本鉄鋼協会：線材工場レイアウト集

2) 日本鉄鋼協会：中小形工場レイアウト集

3) 日本鉄鋼協会共同研究会：第41回条鋼部会線材分科会(1976・1)(私信)

4) 日本鉄鋼協会共同研究会：第42回条鋼部会線材分科会(1976・10)(私信)

5) 日本鉄鋼協会共同研究会：第44回条鋼部会線材分科会(1977・11)(私信)

6) 日本鉄鋼協会共同研究会：第46回条鋼部会線材分科会(1978・11)(私信)

7) 日本鉄鋼協会共同研究会：第48回条鋼部会線材分科会(1979・12)(私信)

8) 日本鉄鋼協会共同研究会：第50回条鋼部会線材分科会(1980・10)(私信)

9) 日本鉄鋼協会共同研究会：第39回条鋼部会中小形分科会(1975・10)(私信)

10) 日本鉄鋼協会共同研究会：第41回条鋼部会中小形分科会(1976・11)(私信)

11) 日本鉄鋼協会共同研究会：第43回条鋼部会中小形分科会(1977・11)(私信)

12) 日本鉄鋼協会共同研究会：第45回条鋼部会中小形分科会(1978・10)(私信)

13) 日本鉄鋼協会共同研究会：第47回条鋼部会中小形分科会(1979・11)(私信)

14) 日本鉄鋼協会共同研究会：第49回条鋼部会中小形分科会(1980・11)(私信)

15) 日本鉄鋼協会共同研究会：第49回条鋼部会線材分科会(1980・5)(私信)

16) 日本鉄鋼協会共同研究会：第50回条鋼部会線材分科会(1980・10)大同特殊鋼(株)(私信)

17) 日本鉄鋼協会共同研究会：第45回条鋼部会中小形分科会(1978・10)愛知製鋼(株)(私信)

18) 日本鉄鋼協会共同研究会：第44回条鋼部会線材分科会(1977・11)新日本製鉄(株)(私信)

19) 日本鉄鋼協会共同研究会：第45回条鋼部会中小形分科会(1978・10)(株)吾孺製鋼所(私信)

20) 日本鉄鋼協会共同研究会：第50回条鋼部会線材分科会(1980・10)(株)神戸製鋼所(私信)

21) 日本鉄鋼協会共同研究会：第49回条鋼部会線材分科会(1980・5)川崎製鉄(株)(私信)

22) 日本鉄鋼協会共同研究会：第50回条鋼部会線材分科会(1980・10)新日本製鉄(株)(私信)