

技術報告

UDC 662.614.2 : 621.771.25

直送圧延による形鋼製造プロセスの省エネルギー*

大庭 半次**・田 島 陽太郎**

谷 崎 豊 一**・鈴木 格**

Energy-saving by Hot Charging and Direct Rolling in the Manufacturing Process of Wide Flange Beams

Hanji ŌBA, Yōtarō TAJIMA,

Toyoichi TANIZAKI, and Itaru SUZUKI

Synopsis:

Owing mainly to the development of beam-blank hot charging and direct rolling, the Nippon Steel Corporation has succeeded in saving 50% of the fuel consumed when the oil crisis happened, at the wide flange beam mill in Sakai Works.

These processes have four problems, namely surface-defects of products, rolling temperature, mechanical properties of products and production schedule. The results of the study on these problems are as follows.

(1) Surface-defects were mainly caused by blow holes and influenced by rolling temperature. These have been prevented by optimizing deoxidization, hot scarfing and rolling temperature.

(2) The adequate rolling temperature could be secured by altering the size of the beam-blank based on a simulation for the optimum pass schedule.

(3) On mechanical properties, there is little difference between products (JIS SS41 class) made by direct rolling and by ordinary process.

(4) The application rate of hot charging and direct rolling has been raised exceedingly by the introduction of a production control computer system.

1. ま え が き

圧延工場における省エネルギー対策には、各製造プロセスにおけるエネルギー使用効率の向上、あるいは排熱回収によるトータルエネルギー効率の向上などの種々の効率向上対策とともに、製造プロセスそのものを変え、本質的に所要エネルギーを減少させようという考え方がある。その最たるものがダイレクトローリングであり、ホットチャージである¹⁾²⁾。

ここでは昭和 49 年以来、新日鉄・堺製鉄所で開発、実施してきた大形形鋼工場におけるホットチャージとダイレクトローリングについて、その特性、課題および今後の方向について述べる。

2. 製造プロセスの変化と課題の明確化

2.1 製造プロセスの変化

通常、大形工場で使用される鋼片の製造法として、インゴット法と連続鋳造法とがあるが、ここではインゴット

法についてのみ言及する。

従来の製造プロセスの一般的な考え方は、分塊圧延された熱片を一度常温まで冷却し、形状・表面疵などの検査を行い、疵部をハンドスカーフィングなどで部分手入れをしたのち、再び生産計画に従って大形工場の加熱炉に装入し、約 1250°C まで再加熱して圧延に供するものであつた。(以下、このプロセスをコールドチャージと呼び CC と略す。)

しかし、このようなプロセスでは熱片の持つエネルギーはすべて大気中に放散され、そのエネルギーロスとは熱片の温度が通常 1000°C 前後であることより、鋼片 1 t 当たり約 170×10^3 kcal にも達する。この含熱量を有効に生かしたプロセスがホットチャージであり、ダイレクトロールである。これらの材料の流れを Fig. 1 に、温度履歴の相違を Fig. 2 に示す。

まず、ホットチャージは分塊圧延を終えた熱鋼片を常温まで冷却することなく、熱片のまま大形工場の加熱炉に装入し、所定の温度まで再加熱して圧延に供する方法

* 昭和 53 年 3 月 10 日受付 (Received Mar. 10, 1978)

** 新日本製鉄(株)堺製鉄所 (Sakai Works, Nippon Steel Corp., Yawata-cho Chikko Sakai 590)

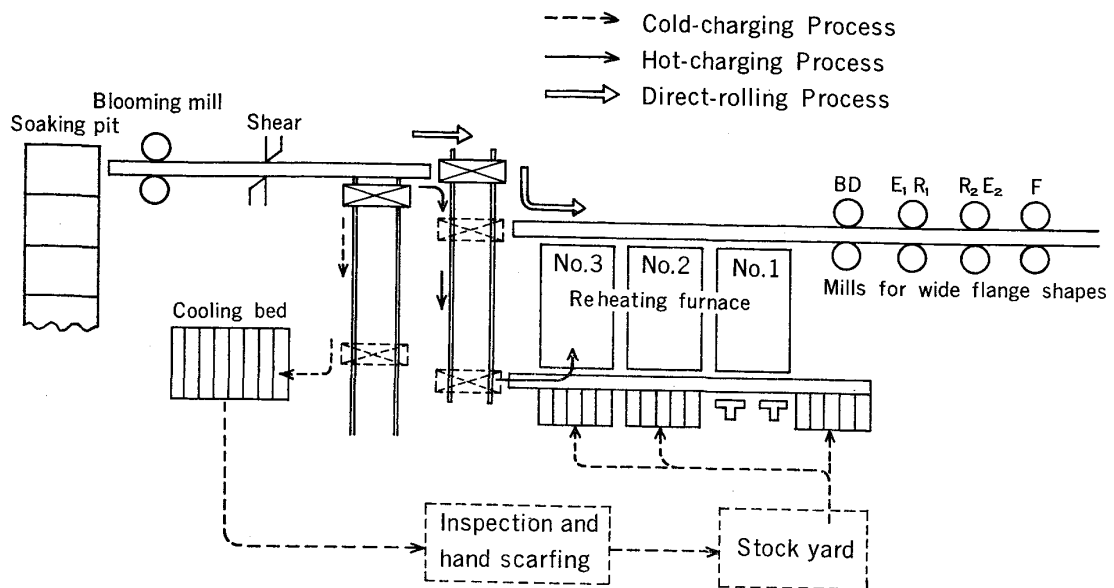


Fig. 1. Material flow of the hot-charging and direct-rolling process at Sakai Works, NSC.

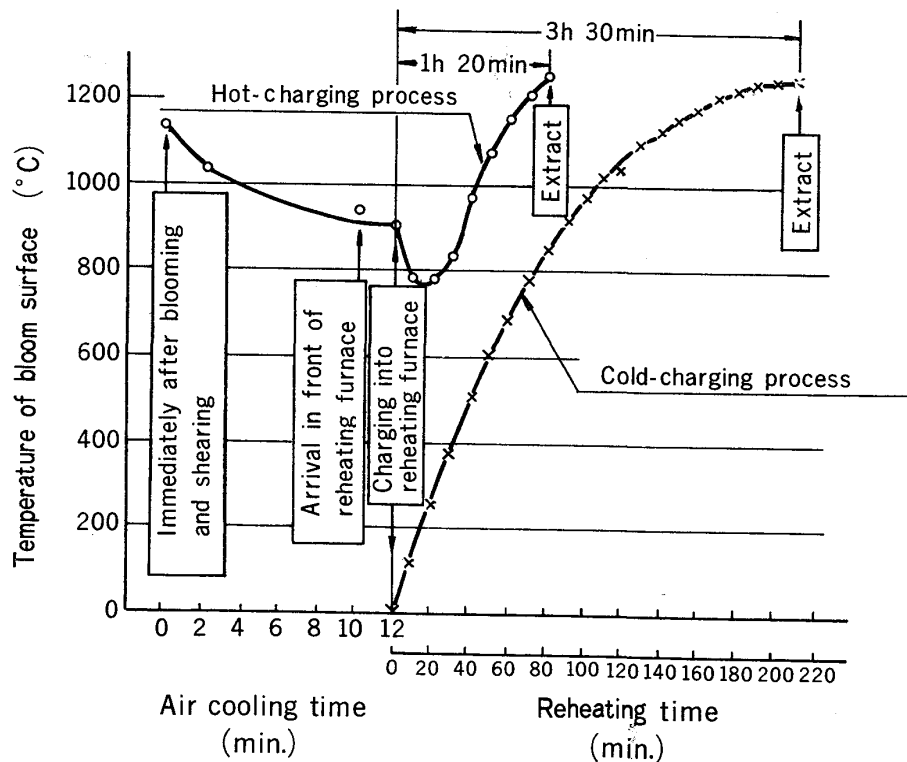


Fig. 2. Comparison of the temperature history of hot-charging process and cold-charging process.

である。(以下、ホットチャージのことをHCと略す)

それに対し、ダイレクトローリングは分塊圧延を終えた熱鋼片を再加熱することなく、そのまま圧延に供給して最終製品まで圧延してしまう方法である。(以下、ダイレクトローリングのことをDRと略す)

2.2 直送圧延プロセスの課題

HCやDRのいわゆる直送圧延プロセスを成功させるに当つて、解決しなければならない問題、あるいは研究

を要する問題は無数にあるが、大きくわけて次の4点に集約される。

(1) 鋼片の冷間疵手入りを省略することによる、鋼塊・鋼片表面疵の製品残留の問題

(2) 出鋼～分塊圧延～大形圧延～精整～入庫が極めて短時間に直結することからくる工程管理上の諸問題

(3) DR時の再熱工程がなくなることによる圧延温度確保の問題

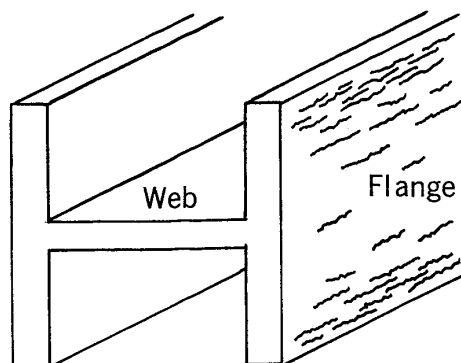


Fig. 3. Seam-defects on the flange surface.

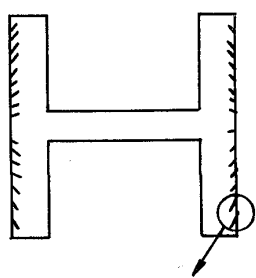


Photo. 1. Microstructure of seam-defects of the product.

(4) 熱履歴の変化が材質特性におよぼす影響の把握
以下、この4つの課題を中心として、今までのおもな
研究・対策実施状況について説明する。

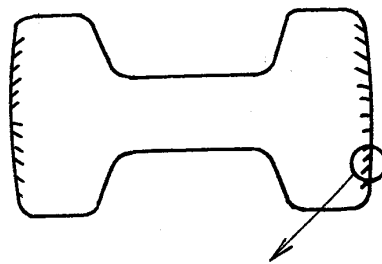


Photo. 2. Microstructure of seam-defects of the beam-blank.

3. 表面疵発生原因の究明と防止対策

H C開始当初の製品表面疵発生率は5~30%と高率であつたが、その後、脱酸方法の改善、注入速度・注入温度の適正化、スプラッシュ防止缶の改良などの造塊技術のレベルアップ、あるいは均熱炉ヒートパターンの改善、分塊圧延法の適正化、ホットスカーフィングの有効活用など種々の対策を実施してきた結果、現在ではH Cの製品表面疵発生率は2~7%と大幅に向上している。

ここではH Cよりも条件の不利なD R時の製品表面疵について、なかでもその発生率の高いH形鋼の折込ヘゲ疵の発生原因と防止対策についての研究結果を述べる。

3.1 折込ヘゲ疵の発生原因の究明

3.1.1 製品での疵性状の調査

折込ヘゲ疵とは Fig. 3 に示すように Si-セミキルド鋼のH形鋼フランジ外側面に発生する折込み状のヘゲを伴つたシーム疵で、大きさは長さ100~300mm、幅0.1~2mm、深さ0.1~0.5mmで、圧延方向にのびた線状疵である。

断面内の疵方向は Photo. 1 のようにフランジ中央方向を向いている。また疵の周辺は脱炭されており、その

程度から均熱炉ですでに開口して脱炭されたものと推定される。(DRでは加熱炉を通らず、そこでの脱炭はない)

3.1.2 鋼片表面の性状調査

鋼片のフランジ外側面を調査した結果、スケールが付着しているため肉眼では判別しにくいがシーム状の疵が無数にあり、これを断面で調査したところ Photo. 2 のように疵方向は製品の場合と同じく、フランジ中央方向を向いており、疵の周辺はやはり脱炭されている。この疵を拡大するため、フランジ表層を切り出してC方向に引張つてみると、肉眼では判別できなかった疵が開口してシーム疵となつた。これは製品の疵と酷似している。

ここまでの調査で、折込ヘゲ疵の原因は均熱炉以前で発生しており、それが分塊圧延で圧着することなく伸ばされるとともに、分塊圧延の孔型ロールで外側面がすりさげられてフランジ中央方向を向き、それがそのまま製品まで残存したものと考えられた。

3.1.3 鋼塊表面下の気泡調査

次に Si-セミキルド鋼で均熱炉で開口するものとして考えられるのは、鋼塊表面下の気泡であり、その状況を調査した。均熱炉装入前の鋼塊気泡は Fig. 4 のように表面から 2~6 mm あたりに分布しており表面には露出していない。均熱炉におけるスケールオフ量は鋼塊の実秤重量より計算して 2.5~3 mm となる。したがって均熱後の鋼塊については表面に気泡が露出していることは十分考えられ、均熱炉内で鋼塊表面がスケールオフされ、気泡が露出してその近傍が脱炭されると考えられる。

また、鋼塊表面下に気泡のないキルド鋼でDRテストを行つた結果では、この種の折込ヘゲ疵はまったく発生しなかつたことも、この仮説を裏付けるものである。

3.1.4 ホットスカーフ削量変更テストによる検討

それではこの疵は鋼片表面をホットスカーフイングすることにより取れるのであろうか。フランジ外側面のホットスカーフ削量を変化させて、製品疵発生率との相関

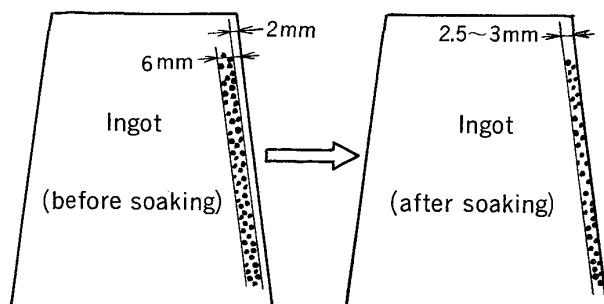


Fig. 4. Distribution of blow holes in ingot.

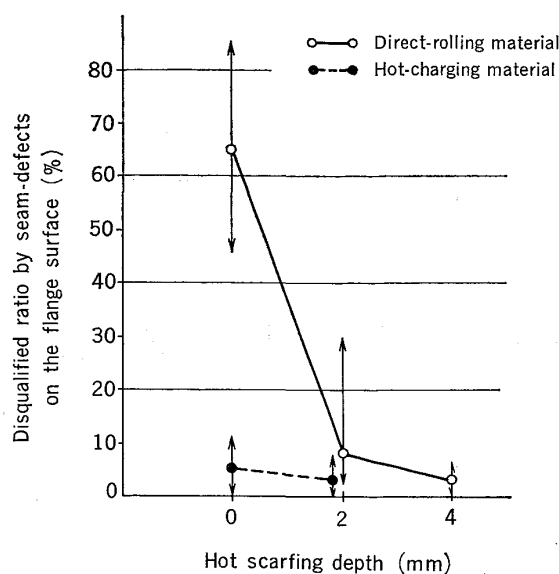


Fig. 5. Relation between hot scarfing depth and disqualified ratio by seam-defects.

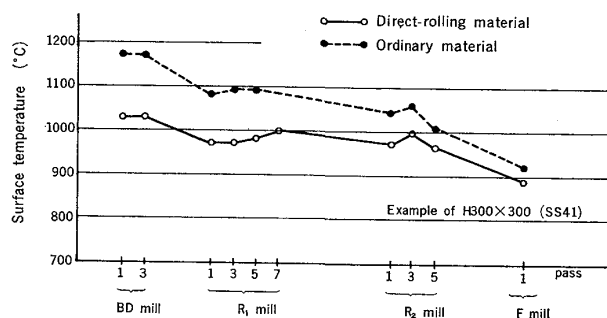


Fig. 6. Comparison of the flange temperature of ordinary material and direct-rolling material.

を調査したのが Fig. 5 である。削量が大きいくほど、疵が減少する傾向はHC・DRともに見られるが、特にDRのほうが顕著である。DRではホットスカーフを2 mmかければこの疵をほぼ取ることができ、疵発生率が大幅に減少することがわかるが、今までの操業結果では、同じ削量をかけてもチャージ間のバラツキが大きく、悪い場合には30%もの疵発生率となることがあり、スカーフ削量の制御だけではこの問題は解決できない。

ここで注目すべきことは、DRとHCの疵発生率の差である。HCの大形加熱炉内でのスケールオフ量、約0.6 mm (Fe換算)を考慮してもまだ大きな差があり、この原因を追求すべく、DRとHCで大きく異なる大形圧延工程での鋼材温度の影響を調べた。

3.1.5 圧延温度と疵発生の関係調査

DRとHCの圧延温度は、BD・R₁・R₂の各ミルでそれぞれ150, 100, 60°C程度の差がある。(HCの圧延温度はCCの圧延温度と同等、Fig. 6参照)

そこで、圧延温度と疵発生の相関を調査するため、H

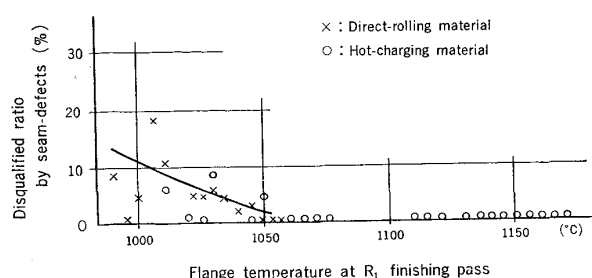


Fig. 7. Relation between flange temperature at R_1 finishing pass and disqualified ratio by seam-defects.

C圧延において各ミル前で待機させ、圧延温度を種々変化させて圧延するテストを行つた。この結果、 R_1 ミル以前で待機したものに疵発生が増大し、 R_2 ミル前で待機したものについては、疵との明確な相関は見られなかった。これはフランジの圧下量が R_1 ミルで最も大きく、ここでの熱間変形能が疵の成長に大きく影響するためと考えられる。 R_1 ミルでの圧延温度と疵発生率の相関を Fig. 7 に示すが、疵防止のためにはこの温度を約 1050°C 以上確保しなければならないことがわかる。

3.1.6 折込ヘゲ疵発生機構

以上の調査・テスト結果から折込ヘゲ疵の発生機構は次のように結論づけられる。

「H形鋼のフランジ外側面に発生する折込ヘゲ疵は、Si-セミキルド鋼特有の鋼塊表面下の気泡が、均熱炉内における表面スケールオフによつて露出し、内部まで酸化・脱炭されて、これが分塊圧延で圧着せずに伸ばされてラップ状となり、大半はホットスカーフで除去されるが残留したものが大形圧延でさらに伸ばされて、折込状のシーム疵になったものである。また、DR材は圧延温度が低いため熱間変形態が小さく、特に R_1 ミルでの圧延のようにフランジの変形が大きいところでは、疵を助長させており、DR材の疵多発原因の一つとなつている。」

3.2 折込ヘゲ疵防止対策の概要

上記の調査結果より、その防止対策としては

- (1) 鋼塊表面下の気泡の減少
- (2) ホットスカーフ削量の適正化
- (3) 圧延温度確保

が考えられるが、当所ではこれらの3項目すべてを採用して効果をあげている。(1)については、強脱酸を行い

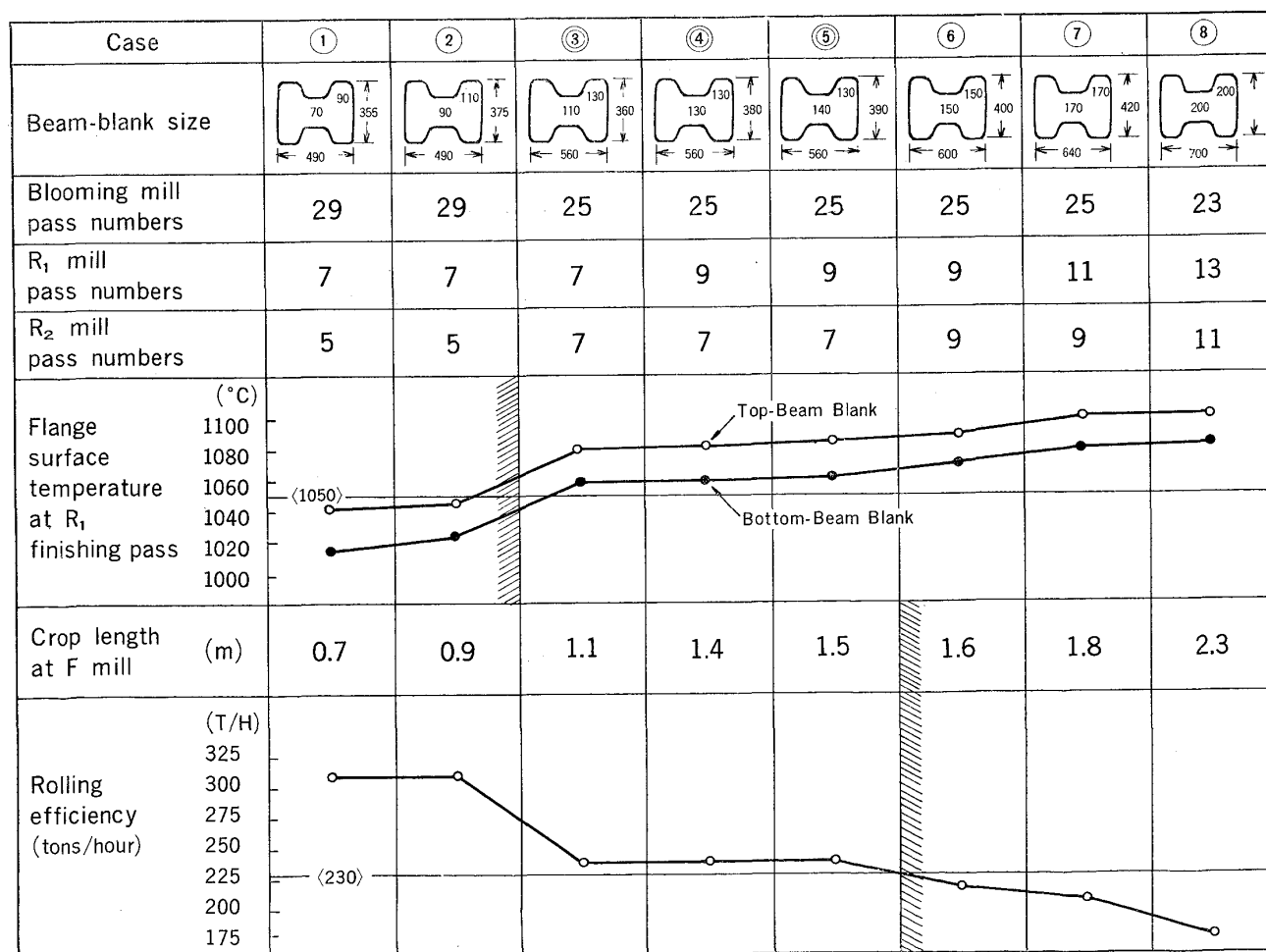


Fig. 8. A simulation on the optimum pass schedule through blooming mill and wide-flange mill.

気泡の発生を抑えているが、その場合には鋼塊トップ部の収縮孔によるパイプ、ふくれが発生しやすくなる。その防止策として、均熱炉への鋼塊装入姿勢を倒立で行うことにより効果をあげている。(2)については、原則として通常 2 mm、疵発生率の高いサイズについては 3 mmを採用しているが、圧延製品の疵発生状況をみながら、適宜修正するようにしている(3)の圧延温度確保対策については次に詳述する。

4. DR材の圧延温度確保対策

4.1 シミュレーションによる最適鋼片断面の検討

DR材の圧延温度はHCやCC材に比べて30~150°Cも低く、DRの最大の問題である表面疵、特に折込ヘゲ疵対策として、またミルパワーの負荷軽減をはかるためできるだけ高い圧延温度を確保する必要がある。しかしながら、実操業においては種々の制約条件があり、その制約下で最適な圧延条件を見出さなければならない。

圧延温度確保対策としてはいろいろ考えることが出来るが、ここではその1つとしてDRに適した鋼片寸法の研究を行つたので紹介する。その方法は、分塊圧延の仕上り寸法を種々変化させた場合に、各種の要因がどのように変化するかを、ミル制御用計算機をもちいてシミュレートした。その結果を Fig. 8 に示す。

(1) ミルパワー、圧延反力については、この範囲の鋼片であれば、どの鋼片を使用してもパス回数を制御することにより圧延は可能である。

(2) 圧延温度は、ミル仕上り温度を1050°C以上確保するためには、③以上の鋼片断面にする必要がある。

(3) クロップ長さについては、いちがいにはいえないが、通材性を考慮すると1.5m以下であることが望ましい。したがって、ここでは⑥以上の鋼片は不適当である。

(4) 能率についても、前後工程とのバランスをよく考える必要があるが、当大形工場においてはミル能力として、230 t/h以上を確保する必要がある、⑥以上の鋼片は不適当である。

以上のことより、鋼片③④⑤が選出されるが、その効果の程度を比較した場合、③が最適といえるであろう。しかし、ここでは分塊の保有ロールの関係より、⑤の鋼片を使つて実際の効果を確認した。

4.2 鋼片断面変更テスト圧延結果

分塊仕上り鋼片断面⑤をもちいてテスト圧延を行つた結果、Fig. 9に示すように R₁ ミル仕上り温度は、従来断面の鋼片②より約 50°C 上昇し、1050°C を確保できた。また通材性も良好であり、折込ヘゲ発生率も従来レ

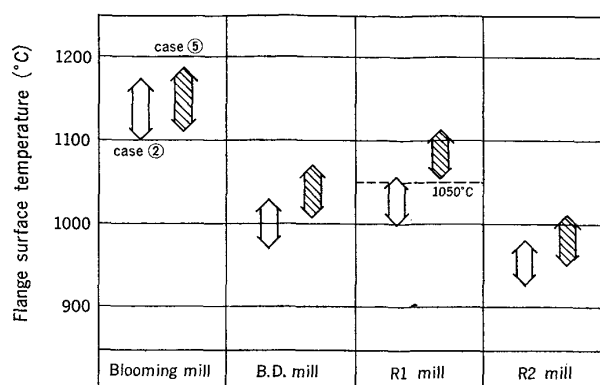


Fig. 9. Flange surface temperature at every mill in the case of ② and ⑤.

ベルの半分となり、その有効性が確認できた。

5. 一貫工程管理システムの開発

5.1 従来の工程管理システムでの問題

従来のCCプロセスの場合には、分塊工場で圧延された鋼片は、冷却・疵手入れの工程を経るため、大形工場の加熱炉に装入されるまでに少くとも3日以上の日数を要したので、このタイムラグを有効に活用した工程管理方式をとつていた。しかし、それがHC操業になると、分塊圧延終了鋼片は直ちに加熱炉に装入され、その間のタイムラグがなくなつた。さらにDRの場合には、分塊と大形の圧延ラインそのものが直結してしまうため、1分1秒の無駄も許されない。その結果、従来の工程管理方式では処理できない次のような問題が発生した。

(1) 生産スケジュール調整が困難： 従来は材料ヤードに数日分の鋼片を在庫しており、それをバッファーとして分塊工場や大形工場の作業進度の調整が行えたが、直送圧延では出鋼から分塊~大形の一連の工程がタイミングを合わせて作業することが必要となり、工程管理もタイムシェアリングを考えたシステムとする必要が生じた。

(2) 圧延計画・鋸断計画の事前作成ができない： 従来は鋼片実績データをもとにセンターのビジネスコンピュータ（ビジコン）で前もって圧延計画を作成するとともに、実秤重量から圧延伸び長さを予測し、注文明細と照合しながら最適な採尺計画を作成し、その計画どおりに鋼片を加熱炉に装入し、圧延して鋸断作業を行えばよかった。しかし、直送圧延では時間的制約と、大形工場にはいつてくる鋼片の明細・順序が未定であり、事前にこれらの計画を作成することができなくなつた。その結果、圧延の事前準備ができなくなるとともに、鋸断作業は経験と勘に頼らざるをえなくなり、圧延歩留・注文

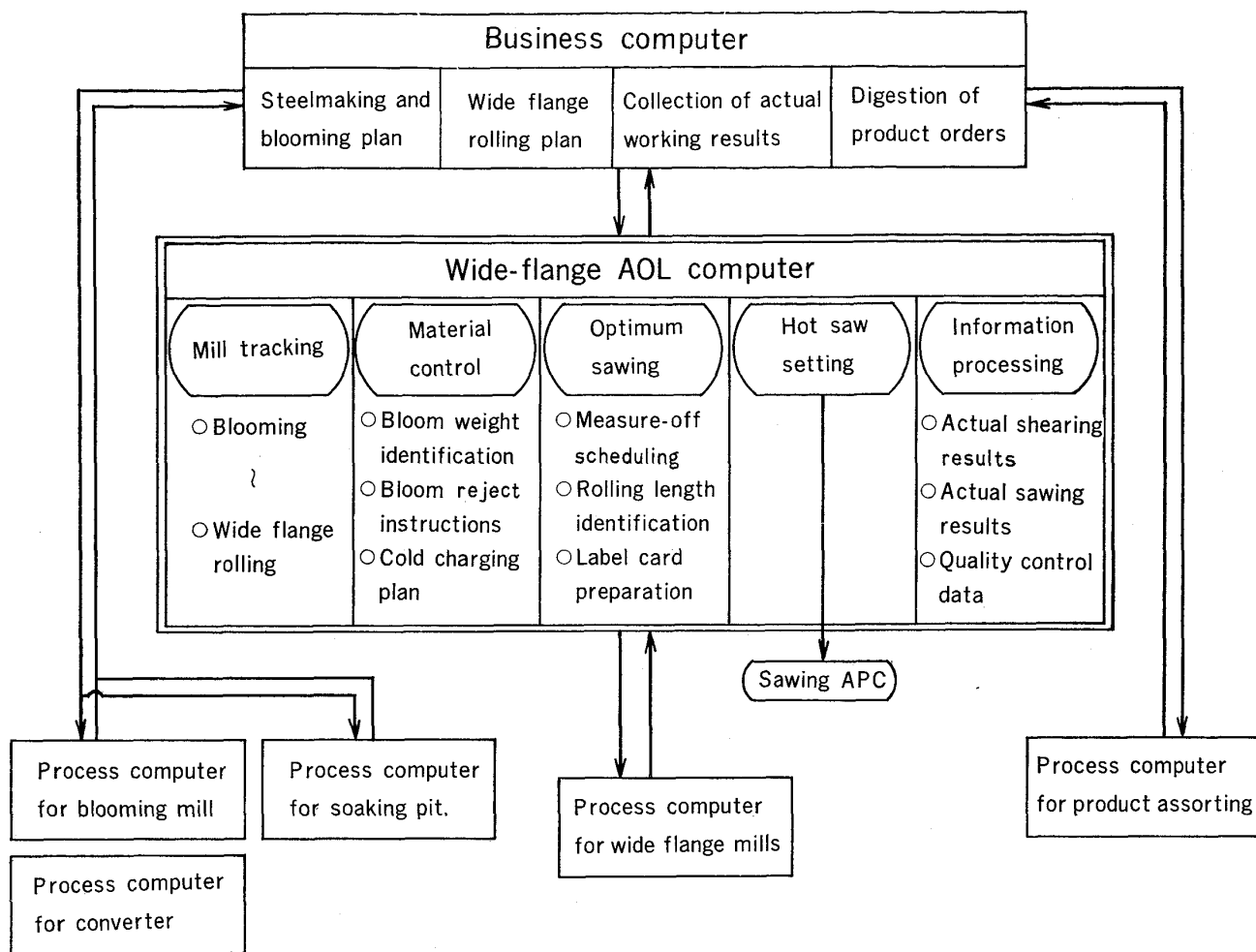


Fig. 10. Functional chart of wide-flange AOL system at Sakai Works, NSC.

消化・鋸断能率などを総合的に考えた最適鋸断が不可能となつた。

(3) 鋸断以降の工程での計画的な作業が困難: 鋸断計画の事前作成が不可能となつたため、後工程で処理しなければならない製品の明細・順序がわからず、正確な作業指示が困難となり、また製品ラベルの事前作成が出来なくなつて、作業が煩雑になるとともに作業能率が低下した。

これらの諸問題を解決し、直送圧延を円滑に進めるためには、製鋼～分塊～大形の各工場をオンライン・リアルタイムに結ぶ新規システムの導入が不可欠であり、以下に当所で開発・導入した「大形 AOL (All On Line) システム」の概要を紹介する。

5.2 新大形生産管理システムの概要

5.2.1 システムの構成と機能

Fig. 10 にシステムの構成と機能を示すが、このシステムの制御範囲は、剪断(分塊工場)～冷却床(大形工場)であり、2 台の計算機でカバーしている。そのメイン機

能としては

- (1) 鋼片間引き指示
- (2) 最適鋸断計画作成
- (3) ホットソー自動セットアップ
- (4) 各種実績収集(剪断・手入れ・鋸断・検査)
- (5) 製品ラベル自動発行

機能を有し、これらをサポートするサブ機能として、

- (1) オンライン・データ・リンケージ
- (2) トラッキング
- (3) オペレーター・ガイダンス
- (4) 各種リストの発行

などの機能を持っている。

本システムは、データ通信回線により、上位システムであるセンターのビジコンに結合されており、同位システムである転炉プロコン・均熱炉プロコン・分塊プロコンおよび大形精整の仕分棚プロコンとは、センターのビジコンを介して結合する形態をとっており、下位システムであるミル制御用プロコンシステムとは、データ通信

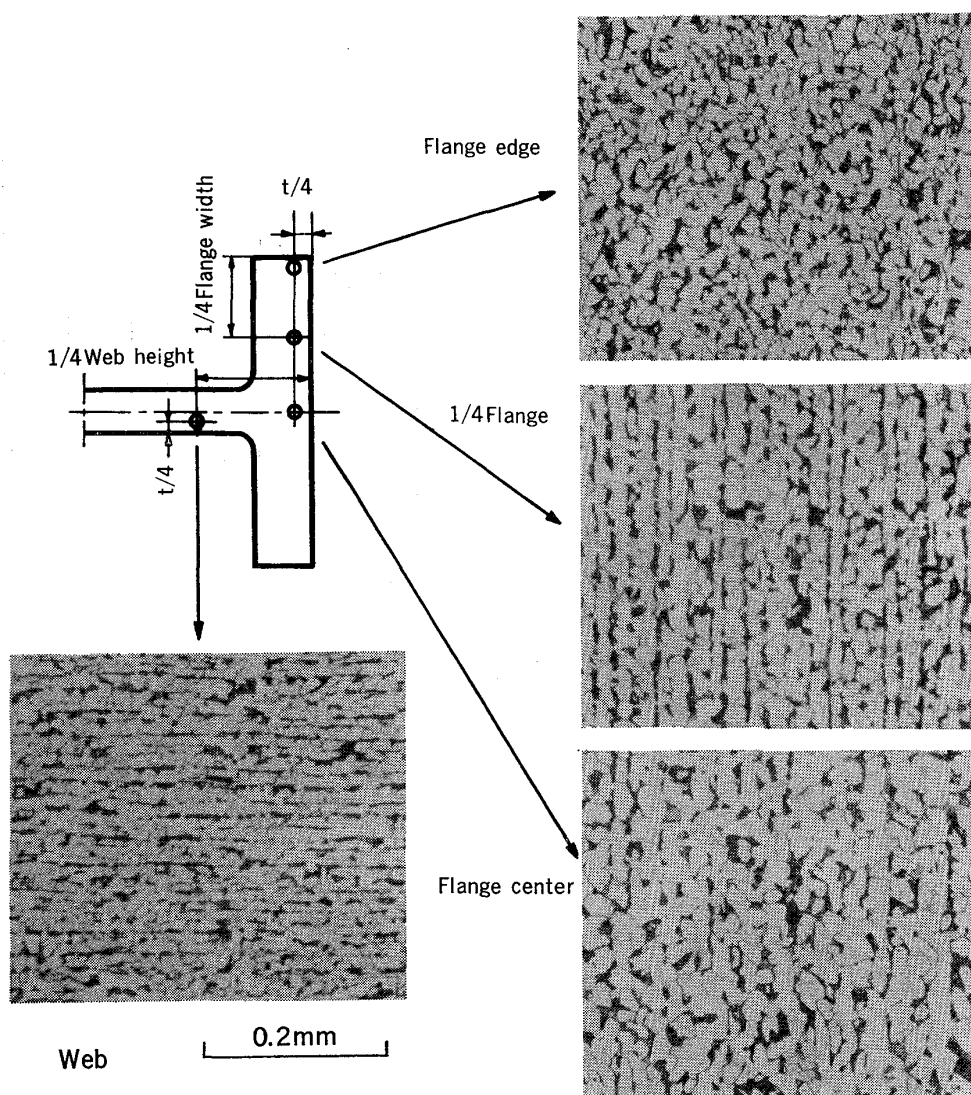


Photo. 3. Microstructures of direct-rolling material.

回線により結合している。また、2台の計算機の機能分担は、システムの保守性を考え分塊用・大形用に各1台を当てた構成としているが、Shared File System 構成をとることにより、1台ダウン時でも操業可能な形態をとっている。

5.2.2 システム導入の効果

このシステムを採用することにより、直送圧延の大幅拡大が可能になったことはいうまでもないが、それ以外に生産管理レベルが向上し、最適鋸断による歩留の向上・注文外の減少・注文ショート防止が可能となつたとともに、鋸断およびラベル作成関連の要員を大幅に合理化することができた。

6. 直送圧延材の材質特性

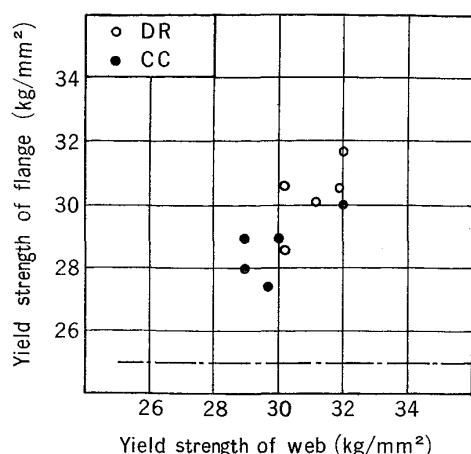
6.1 CC・HC 材と DR 材の熱履歴の相違

CC材あるいはHC材とDR材を比べた場合、Fig. 6

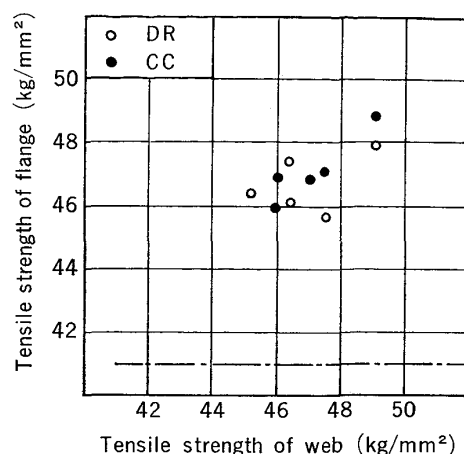
に示したようにDR材の圧延温度は低い。特に、BD～R₁ミルの粗圧延段階での温度差が大きく、R₂～Fミルの仕上げ圧延段階では、その差は縮まってくる傾向にある。これはDR材が分塊から大形へ搬送されてくる過程で、表面温度は大きく降下するが鋼片厚さが厚いため肉厚中央部の温度降下量は小さく、粗圧延段階では低い表面温度がそのまま検出されるが中央部温度は相当高く、大形での圧延が進むにつれて、内部の熱が表面に復熱してきて表面温度が上昇するためである。この現象を有効に生かして圧延温度を高めたのが4.の方法である。

6.2 DR材の顕微鏡組織

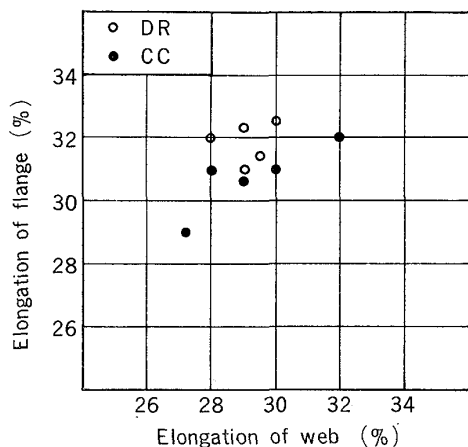
このような圧延温度の低いDR材の顕微鏡組織の一例をPhoto. 3に示すが、これはH形鋼としてはごく一般的な、Si-セミキルド鋼(SS41)のH 300×300について、圧延温度の異なるフランジ先端、1/4フランジ、フランジ中央およびウェブ部の組織を示したものである。



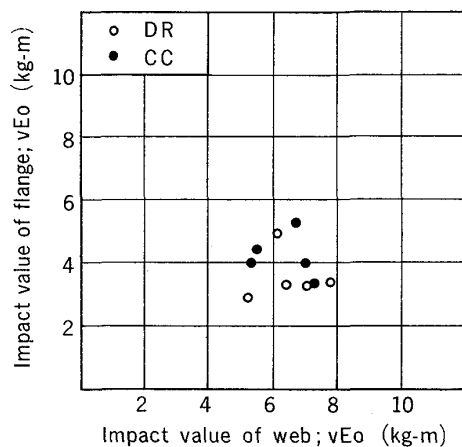
(A) Yield strength



(B) Tensile strength



(C) Elongation



(D) Impact value

Fig. 11. Comparison between the mechanical properties of cold-charging and direct-rolling material. (Example of H300×300, SS41)

この組織を見る限りにおいては、圧下量の大きい粗圧延段階での温度が大幅に低いにもかかわらず、組織的にはCC材とほとんど差がない。断面内ではウェブ部はフランジ部に比べて温度が低いいため非常に細粒になっており、フランジ部は全域標準的な組織を呈している。もつとも温度の低いフランジ先端においても、若干微細な組織となつてはいるが、冷間加工組織などは認められず、十分に温度は確保されており、健全な組織を示していることがわかる。

6.3 DR材とCC材の機械的性質の比較

同じく、Si-セミキルド鋼 (SS 41) のCC材とDR材の機械的性質についての試験結果を Fig. 11 に示すが、CCとDRでは明確な有意差はなく、いずれも良好な性質を示している。これは圧延仕上り温度の差が小さく、顕微鏡組織においてもほとんど差が無かつたことによるものと考えられる。すなわち、SS 41 クラスの Si-セミキルド鋼では、DR材、CC材とも材質的にはほとんど

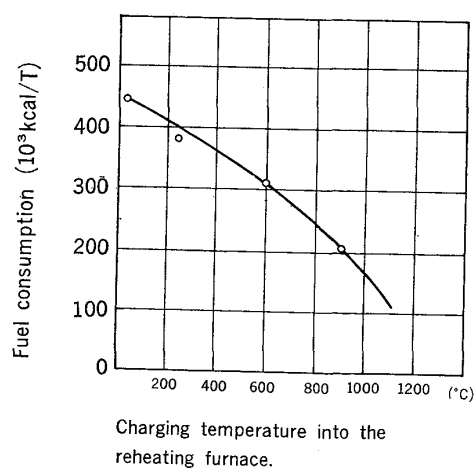


Fig. 12. Relation between charging temperature and fuel consumption.

有意差はないと考えてよい。

しかし、Nb, V などを含んだ固溶析出型の鋼材ではDRプロセスのように熱履歴が大幅に変化することにより、コントロール・ローリングの効果にみられるよう

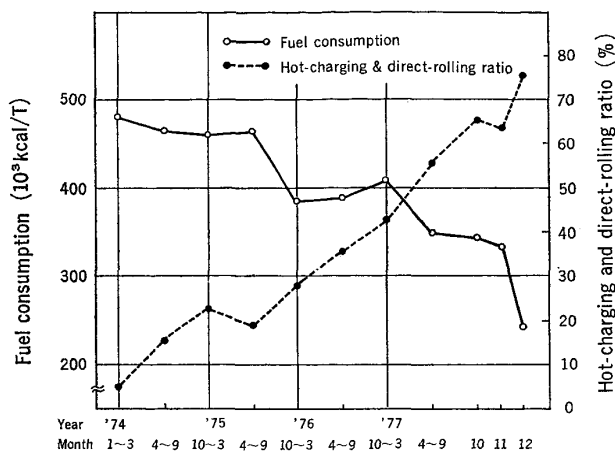


Fig. 13. Changes in fuel consumption, hot-charging and direct-rolling ratio at Sakai Works, NSC.

な材質特性の変化が期待でき、DRプロセスを採用することによつて、より材質の優れた製品を容易に製造することが可能であると考えられ、今後の研究に期待する。

7. ホットチャージ・ダイレクトローリングの効果

7.1 省エネルギー効果

直送圧延の最大の効果は、大形工場の加熱炉燃料の大幅削減による省エネルギー効果である。HCの場合の燃料原単位の向上効果は、加熱炉への装入温度が高いほど大きく、しかも Fig. 12 に示すように装入温度が高いほど、その効果率は大きくなる。これは高温域での加熱効率が、低温域でのそれより悪いためである。当所のHC材装入温度は、約 900°C でありCC材と比べると燃料原単位の向上代は約 $240 \times 10^3 \text{ kcal/t}$ にもなっている。

DR材に必要な燃料は、原理的には零であるが、これは全量をDRとし加熱炉を完全に使用しなくなった時に始めて達成される数値であり、現時点においては、諸々の制約条件より、CC・HC・DRのミックス操業をしており、DR材についても、その間の加熱炉の保熱燃料が必要である。しかし、その量は僅かである。

このように直送圧延による省エネルギー効果は大きく Fig. 13 に当所で直送圧延を開始して以来の直送圧延比率と燃料原単位の推移を示すが、昭和 48 年秋のオイルショックから 2 年後には $400 \times 10^3 \text{ kcal/t}$ を切り、さらに 2 年後の昭和 52 年 12 月には $244 \times 10^3 \text{ kcal/t}$ と昭和 48 年以前に比べて、50%もの省エネルギーを達成することが出来た。さらに今後のDRの飛躍的拡大を考えれば、 $200 \times 10^3 \text{ kcal/t}$ の大台を切るのもそう遠いことではないだろう。

7.2 直送圧延による省エネルギー以外の効果

直送圧延は燃料の大幅削減以外にも大きなメリットがある。その一つは加熱炉内での在炉時間が短くなることによるスケールロスの減少である。HCではFig. 2に示すように、CC材の在炉時間に比べて約 2 h も短かく、DRでは加熱炉をまったく通過しないため、スケール発生量は大幅に減少する。その結果、圧延歩留はCC材に比べて、HCでは 0.9%、DRでは 1.7%も向上している。

二つ目は直送圧延により、鋼片段階での疵手入れが不要となり、これに要していた手入れ要員、諸経費の削減が可能になったことである。

また、この直送圧延を開発し、実現していく過程において生みだされた、諸々の周辺技術の向上もみのがすこととはできない。

8. 直送圧延の今後の方向

形鋼分野における直送圧延は、HCがすでに各社で実施されるようになってきているが、DRについてはまだ緒についたばかりであり開発すべき課題も多い。これらの直送圧延をサポートする技術としては、現時点では表面疵対策にしる、工程管理にしる、一応の技術レベルにあるとはいえ、さらに一步充実させる必要がある。この省エネルギー型製造プロセスの終着は、全量をDR化し、加熱工程を完全に省略してしまうことであり、まだまだ樂觀は許されない。なかでも、疵のない鋼片の製造技術の確立とともに、粗形鋼片のような複雑な形状をした素材の熱間疵検出器の開発、圧延温度の確保の問題は今後の大きな課題であろう。さらに材質特性の項で述べたように、このプロセスをより有効に生かして、コントロール・ローリング技術と組み合わせることによつて優れた材質を生み出すメタラジカルな研究も大きな課題である。これらの諸問題が解決されてはじめて、直送圧延プロセスが真の意味での省エネルギー型製造プロセスとして確立されるのであり、この過程を通じて生じる周辺技術の向上と相まって、より質的に高度な圧延技術へと結びついていくであろう。

9. 結 言

直送圧延は従来の加熱というプロセスを脱却した新しいプロセスを追求するものであり、以上述べたように解決しなければならない問題も大きいかわりに、その効果もはかり知れないほど大きい。

現在の低成長下において、企業に課せられた大きな課題は、「効率の追求」であり、その最たるものが「製造

プロセスの改革」であろう。直送圧延も製造プロセス改革の一つであり、今後の飛躍的發展を期待したい。

文 献

- 1) 土屋健治: 圧延プロセスにおける省エネルギー,

第 39 回西山記念技術講座 (1976), p. 149, 日本鉄鋼協会

- 2) N. FUKUDA: J. Mech. Working Technol., 1 (1977), p. 3, Elsevier Scientific Publishing Company (Amsterdam)