

Fig. 1. Management system for plate production.

膨大なオーダー内容をチェックして圧延計画準備段階としての必要事項を迅速かつ正確に処理するものである。その内容のうちおもなものは次のようなものであり、このシステムの稼動によつて圧延準備段階の所要日数は大幅に減少し、全体の工期短縮に著しい効果をあげた。

2.1.1 特殊注文のチェック

特殊仕様のあるオーダー、新規規格などすでに定めてある製造標準で処理できないオーダーを選別する。ここで選別されたオーダーは工場内の品質設計部署へアウトプットされて、製造標準の作成およびインプットがなされ、圧延計画の準備が行なわれる。

2.1.2 仕様のコード化

製品に規定されている仕様を製造標準および技術標準に基づいてコード化し、以後の圧延計画諸システムのための準備および計算機による工場内の圧延精整検査方法などの指示のための準備を行なう。

2.1.3 工程管理用のキイの設定

鋼板製造の進捗管理も計算機システム（後述する精整オンラインシステムなど）でおこなわれるので鋼板呼び出しの元になるキイの設定が行なわれる。

2.1.4 製造着手の順位序列設定

製品の納期と工期、ユーザーまでの輸送距離の遠近、製品置場状況、中継基地置場状況、工場内処理工程別仕

掛状況の情報をもとに置場の効率的利用、処理工程別の仕掛量の定量化と円滑処理推進を計りながら鋼板の製造着手順序が決定される。

2.2 チャージ編成システム

このシステムはオーダーエンリシステムにより同一製造着手グループとして指定された製品を組合わせてチャージ単位にまとめ、製鋼、分塊工場への材料請求に結びつけるものである。「製品を組合わせて圧延単位であるところのスラブ単位に」また、「スラブを組合わせて出鋼単位であるところのチャージ単位に」の二段階を経てチャージ編成される。このシステムにより板採り計画が無駄なく迅速に行なわれ、スラブ単重最大が目標とされているので高圧延能率を維持でき、かつ合理的な計画歩留の算出方式により高歩留を維持することが可能となった。

2.2.1 スラブ単位の編成

まず同一製造着手グループの鋼板群から鋼種、板厚公差範囲の同一のものが集められる。これらの鋼板を組合わせて社内標準で定められた可能最大圧延寸法の範囲内で最大の圧延寸法となり、かつ、幅長さの組合わせに無駄のない組合わせ方法を検索する。この組合わせに当たっても、同一向先のものが優先組合わされるなど、置場効率、作業簡素化にも考慮が払われている。圧延単位に製品が組合わされるとつぎに運用されるべき計画歩留が計算されて、スラブ重量が仮設定され、スラブ単位の編成を完了、つぎにチャージ単位への編成に移る。計画歩留の計算方式については 2.2.3 で述べる。

2.2.2 鋼塊単位、チャージ単位の編成

前段でスラブ重量の仮設定されたものが鋼種、ロールチャンスなどごとに集められ、出鋼一定盤内の鋼塊重量の差が最小になるような方法が検索されてチャージ編成が行なわれる。スラブの厚さ、幅はこのステップにいたつてから決定されるのでスラブ寸法の特異性のチェックはこのステップで行なわれる。このチェックによつて必要に応じ鋼板圧延寸法を変更したり計画歩留の修正が行なわれて、最終的な計画歩留とスラブ寸法が決定される。

2.2.3 計画歩留の算出方式

スラブ重量設定のための計画歩留は

- (1) その鋼板の規格、寸法。
- (2) 同一スラブ内の製品組合枚数。
- (3) 狙い厚さ、幅に対する適中精度。
- (4) (3)にともなう圧延長さのバラツキ量と(2)の組合わせの事情。
- (5) 設計されたスラブ寸法の特異性。

(6) その板が不合格になった場合の互換性およびトラブルの程度.

など考えるすべての要素が折り込まれてスラブごとに計算される. 計画歩留の算出方式は二段階算出方式である. 第一段階ではスラブサイズの特異性を考慮せずに計算してスラブ重量を仮設定する. 第二段階の計算はスラブを組合わせて鋼塊またはチャージ単位に編成されスラブ厚さ幅が決定された後に行なわれ, スラブ寸法の特異性に応じて圧延寸法が変更されるとともに計画歩留も修正される.

第一段階の歩留計算

計画歩留 $\eta = f_1(\bar{X}_i, \sigma_i^2, A) \quad i=1, 2, \dots, 5$

1: 肉の板厚への逃げ

$$\bar{X}_1 = f_2(T_L, B, \sigma_t, \Delta t, t_0) \quad \sigma_1^2 = f_3(\sigma_t^2, \sigma_{\Delta t}^2, t_0)$$

T_L : 厚さ公差の許容量で規格により定まる.

B : 厚さ不良発生率を調整する係数. 品種に応じた値.

σ_t : 狙い厚さに対する標準偏差. 呼称厚 t_0 と圧延幅 W の函数で, これら水準は後述するように月報としてとらえられ, 技術水準の変化に応じた計算式の維持が計られている.

Δt : 鋼板の中高. t_0, W の函数である.

$\sigma_{\Delta t}$: 中高の標準偏差. t_0, W の函数である.

t_0 : 呼称厚さ.

2: 耳部切り代

$$\bar{X}_2 = f_4(C, \sigma_2, W) \quad \sigma_2^2 = f_5(W)$$

C : 幅不足発生率を調整する係数.

σ_2 : 狙い幅に対する標準偏差.

W : 圧延幅.

3: クロップ代

$$\bar{X}_3 = f_6(W, L) \quad \sigma_3^2 = f_7(W, L)$$

L : 製品合計長さ

4: スラブ焼減り

$$\bar{X}_4 = \text{const.} \quad \sigma_4^2 = \text{const.}$$

5: スラブ手入減り

$$\bar{X}_5 = \text{const.} \quad \sigma_5^2 = \text{const.}$$

$$A = f_8(\sigma_l, N)$$

$$\sigma_l^2 = \sum \sigma_i^2$$

N : 板採り枚数

A は長さ不足発生率を調整する係数であり, 鋼板ごとに σ_l を計算し,

(長さ不足発生による損失+計画歩留低下による損失)

が最小になる値が検索される.

ただし特殊材の場合には工程管理上の理由により計

画歩留の低下より不良発生による損失の方が高い比重で評価されて A の値が決められる.

第二段階の歩留計算

スラブ寸法のイメージがかたまつた段階でスラブサイズ固有の要素にともなう歩留上の問題をチェックして, 必要に応じて歩留の修正を行なう. チェック項目と内容はつぎのとおりである.

(1) 幅出し量 ΔW が大きくないか.

ΔW が大きいときには異形になりやすいので圧延幅を拡げて防止する. 圧延幅を拡げた分の歩留を修正する.

(2) 幅出し開始スラブ厚さ H が厚くないか.

H が厚いときには鋼板の耳部にサイドワレが発生しやすいので, 幅出し開始厚さと幅出し量とからサイドワレ深さを計算し

耳切代の計画値 \geq サイドワレ深さ + const.

となつていのかどうかチェックする. 不満足な場合には満足するまで耳切代を拡げ, これに相当する歩留の修正をする.

2.3 鋼塊片オンラインシステム

このシステムは福山製鉄所の全製品の出鋼計画から圧延工場へのスラブ払い出しまでを管理するもので, 厚板用の材料もその一部として処理されるものである.

チャージ編成システムによつて納期を指定して材料請求がなされると, このシステムではほかの圧延工場用の材料とともに材料徐冷など, 中間プロセスの制約を勘案しつつ出鋼の順位を決定する. またこのシステムは製鋼, 分塊工場のオンラインシステムであるので同工場への作業指示, 作業実績と異常の把握およびフィードバックなどが行なわれるが詳細については省略する.

2.4 総合指示システム

このシステムはオーダーエントリシステムやチャージ編成システムで設定した圧延計画と実際にでき上つた材料情報の二者から最終的に製造計画を整理して圧延コンピュータコントロールシステム, 精整オンラインシステムを通じて作業現場に圧延作業方法, シャラインの作業方法, 検査方法などを指示するものである. このシステムにより, 工場への作業指示が正確適切なものとなるとともに, スラブ製作後, 製造指示までの期間が大幅に短縮されている. このシステムの内容は次のとおりである.

2.4.1 圧延諸元の設定

チャージ編成システムの中でスラブ寸法を決めるときに前提とした圧延寸法と幅出し方向, オーダーエントリシステムの中で指定された圧延条件などが圧延諸元とな

つて圧延予定順に圧延コンピューターコントロールシステムに送り出される。しかし実際にでき上ったスラブ寸法が予定と異なっている場合には圧延寸法などを必要に応じて変更するシステムになっている。

2.4.2 製造工程の設定

鋼板に指定された仕様に応じて、たとえば熱処理、ショットブラスト塗装などが施されるよう鋼板の処理されるべきルートが設定される。ここで設定された処理ルートをスキップせず確実に通つたかどうかは、精整オンラインシステムにより監視される。

2.4.3 検査諸元の設定

機械試験のための試験片はルールおよび仕様にもとづく同一チャージ検査ロットの中のスラブから選ばれる。

鋼板の寸法検査諸元もルールおよび仕様にもとづいて設定され検査公差範囲が実数値で設定される。この値も精整オンラインシステムで表示される。

2.4.4 精整作業諸元の設定

切断すべき鋼板の寸法、熱処理の在炉時間、均熱時間設定温度など、その他精整作業で必要とされる事項が設定される。この値も精整オンラインシステムで作業員に対して表示される。

2.4.5 製品置場の設定

工場内ですべての処理工程を完了し鋼板が製品として仕上がったときに山付すべき製品置場を設定する。計算機内で製品置場の山付け状況が把握され、出荷予定と圧延予定ををならみ合わせて圧延時までに出荷が完了する予定

の置場またはすでに空いている置場が同一向先納期の鋼板グループに対し指定される。

2.5 圧延コンピューターコントロールシステム

このシステムは Table 1 に示すようなプロセスコンピューターによるもので、大別して次の三つの機能をもっている。

- (1) 総合指示システムに指定された圧延寸法どおりに、優れた形状の鋼板を圧延するための圧延パススケジュールの計算などの頭脳的機能。
- (2) ミル自身および付帯設備の自動運転。
- (3) 総合指示システムで決定された諸元および(1)で計算された結果の作業員に対する伝達と作業結果の記録。

この章では圧延パススケジュールの決め方について以下に紹介する。

圧延パススケジュールの決め方は、材料厚さの厚いうちは、能率を上げるため圧延機の能力の許す限りの最大圧下を行ない、仕上厚近くの厚さになったら鋼板形状最適となるような圧下パターンで、一連の予定スケジュールを作成し、実作業が進むに従って実績情報を取り入れて、迅速かつ、バランスのとれたスケジュールの修正を行なうことを特色としている。以下その方法について述べる。

2.5.1 予定スケジュールの作成

炉より抽出されたスラブが粗圧延機入口に達すると、スラブと同時にトラッキングされる圧延所要諸データに

Table 1. Central processing units & peripheral machines.

Processing unit and peripheral machines	Rough specification	Location (number)
TOSBAC-7 000 M 50	Type: GE/PAC-4 050 made by Tokyo Shibaura Electric Co. Ltd. memory cycle 3.2 μ s Core memory 24 000 words, drum memory 96 000 words API 128 levels, digital input 118 groups/1 group, digital output 88 groups, analog input 64 contacts ...4 groups (16 contacts/group)	Computer room (1)
Card reader	Automatic feeding type, made by NCR, reading speed 30 sheet/min	Furnace control room (2)
Tape reader	Photo-electric type, made by Toshiba, reading speed 200 words/sec	Computer room (1)
Tape puncher	Made by NCR, 8 bits code tape, punching speed 120 words/sec	Computer room (1)
Type writer	Made by IBM 15 $\frac{1}{2}$ inches selectric type, 15 words/sec	Computer room (2) Finishing mill pulpit (1)
Data display	19 inches data scope made by NEC, 384 words (12 lines 32 rows)	Furnace control room (1) Finishing mill pulpit (2) Roughing mill pulpit (1) Computer room (1)
Digital printer	Made by Toshiba, typing speed 5 lines/sec	Furnace control room (1)
Flexo-writer	16 inches I/O type writer, made by Fleeden punching volume 10 words/inch, 126 words/line	Computer room (1)

より、幅出し、粗圧延、仕上圧延の一貫スケジュールが計算されて、全仕事量が粗圧延機、仕上圧延機に配分される。また粗圧延機での作業が完了すると、粗圧延機での作業実績情報により改めて仕上圧延機のみでの予定スケジュールが計算しなおされ、仕上圧延機でのスケジュールの修正が少なくなるよう配慮されている。

予定スケジュールは、スラブ厚あるいは仕上圧延機入口厚から仕上厚までの各パスの圧下量を1パスごとに温度降下を計算しながら、最大トルク条件、最大荷重条件、嚙込条件、形状条件を考慮して決定される。

(1) 圧下量の決め方

最大トルク、最大荷重条件から受ける圧下量の制約は Sims の式に圧延機能力の最大トルク T_{max} および最大荷重 P_{max} を代入して求める。

$$T = \alpha \cdot R \cdot \Delta h \cdot k_f \cdot B \cdot Q(H, h) \dots\dots\dots (1)$$

$$P = k_f \cdot B \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h} \cdot Q(H, h) \dots\dots\dots (2)$$

T : トルク

P : 圧延荷重

α : トルクアーム係数

R : ワークロール半径

Δh : 圧下量 ($H-h$)

k_f : 平均変形抵抗

B : 圧延幅

$Q(H, h)$: 入口厚 H , 出口厚 h の関数

嚙込条件による圧下量は、ロール径、摩擦条件などにより求まるが、一定値としている。

形状条件からの圧下量制約は次のようにしてきめている。圧延中に歪が発生する原因は圧延荷重とロールクラウンに基づく上下ワークロール間隙の幅方向不均一である。そこで初期ロールクラウンおよび摩擦によるクラウンの全クラウンと、圧延荷重によるロールベンディング量の両者の合計値に制約を設けて最適圧下パターンを求めている。

スラブ厚から仕上厚までの各パスが、以上の制約によりきめられる様子を Fig. 2 に示す。

(2) 鋼板平均温度の予測

鋼板の平均温度は素材の組成、加工条件(変形の大きさ、速度、など)とともに材料の変形抵抗に非常に大きな相関をもつので、圧延作業中の温度を正確に予測することは、パススケジュール決定のために非常に重要である。本システムでは圧延各パスの温度降下 $\Delta\theta$ を下記により予測している。

$$\Delta\theta = \Delta\theta_R + \Delta\theta_T + \Delta\theta_W + \Delta\theta_D \dots\dots\dots (3)$$

$\Delta\theta_R$: 輻射による降下

$\Delta\theta_T$: ロールへの熱伝達

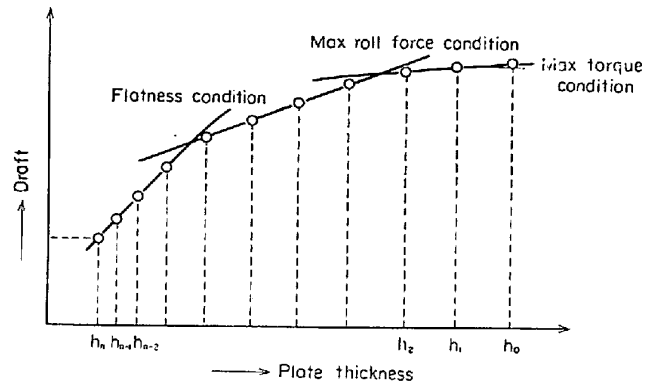


Fig. 2. Draft by various condition.

$\Delta\theta_W$: 加工仕事による温度上昇

$\Delta\theta_D$: デスケーリングによる降下

(3)式において最も大きい比重を占める $\Delta\theta_R$ は次式による。

$$\Delta\theta_R = K_1 \frac{(\theta + 273)^4}{h} \Delta t \dots\dots\dots (4)$$

θ : 鋼板温度 ($^{\circ}C$)

Δt : 冷却時間

h : 板厚

K_1 : 定数

$\Delta\theta_T, \Delta\theta_W, \Delta\theta_D$ についても鋼板温度、圧延速度、ロール温度、板厚などの関数として求められている。

(3) 実厚スケジュールのスクリュール値スケジュールへの変換

(1)で求められたスケジュールは実厚のスケジュール

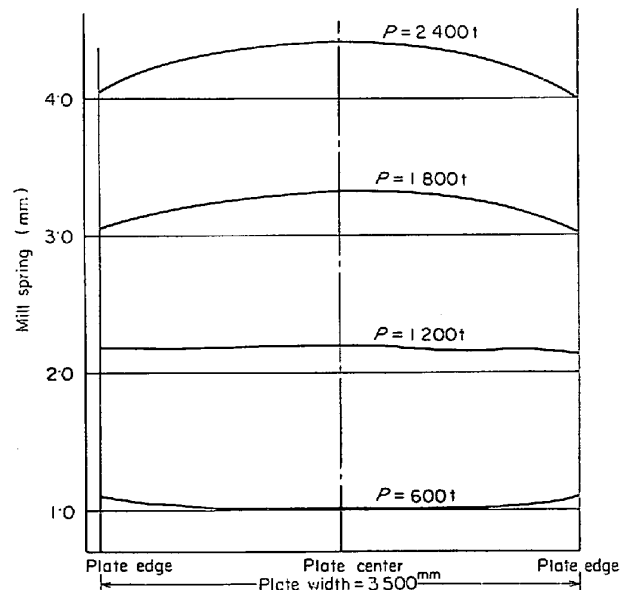


Fig. 3. Relation between mill spring and roll force.

W.R. Crown = 0.1 mm

Ave B.U.R Diameter = 1950.1 mm

Ave W.R Diameter = 1019.0 mm

であるが、実作業ではこれを圧延荷重によるミルスプリングを考慮して、スクリュウ値（ロール開度）のスケジュールに変換せねばならない。

Fig. 3はミルスプリングを種々の荷重について実測した結果である。

圧延機の鋼性を示すミル定数 (t/mm) は圧延幅の関数であるが、変形のうちロールのたわみによる部分は、ロール径により変化するの、ロール組替ごとに径補正をしている。

(4) 粗圧延機、仕上圧延機へのパス配分

全体の予定スケジュールが決定したら、各パスごとの圧延時間、逆転時間(アイドルタイム)、幅出しのためのターニング時間、圧延温度調整、のための鋼板冷却時間などを合計し、両圧延機に均等に負荷がかかるようにパスが配分される。

2.5.2 スケジュールの修正

厚板の圧延作業は、リバース圧延、幅出し圧延などの特殊性により、予定の作業に対してバラツキを生ずる要因が非常に多いので、予定スケジュールに実績情報を迅速に反映させ、スケジュールをバランスよく修正することが、厚板圧延制御を行なうにあたり最も重要なことである。とくに仕上厚近くでは、固定した仕上厚に対して形状条件を満たしながらスケジュールの修正をバランスよく行なうことは非常に難しい。本システムでは、変動傾向をできるだけ早い時点でスケジュールに反映して仕上パス付近での修正を最小限に押えるために、仕上圧延機では第一パスから毎パス実績をもとに仕上パスまでのスケジュールを再計算して修正している。

(1) 予測温度の修正

(3)式により求められた予測温度に対して実績の温度は粗圧延機第一パスより計算機に取り込まれ、変動傾向がいわゆる Karman-Filter を通して予測誤差、測定誤差の大きさを考慮しながら、次パス以降の一連のパスの温度予測に反映される。

(2) スケジュールの修正方法

スケジュールの修正は、2.5.2 (1)による最適予測温度、前パスの実績厚などにより 2.5.1 (1)と同じ方法で、仕上厚までの全パスについて行なう。バランスの問題より一パスだけの修正は行なっていない。

2.6 精整オンラインシステム

このシステムはシャーライン以降製品山付にいたるまでの全精整工程の作業指示、異常情報の伝達、および作業実績のトレースによる identification の管理などにあたるものである。その内容のうちおもなものは次のとおりである。

(1) 鋼板の流れに対応してリアルタイムに作業内容を処理工程ごとに表示する。たとえば切断方法、熱処理条件、検査公差範囲などが必要な処理工程に示される。また単に作業内容が指示されるだけでなく、作業実績値がインプットされるようになっており指示内容と異なる実績をインプットすると警報が発せられるなど判定の機能をも合わせ持っている。たとえば指示された検査公差を外れる検寸値をインプットするとアラームされ、これにより高水準の作業精度が維持されている。

ここでインプットされた寸法などのデータは後述するシステムのデータ源となる。

(2) 不合格、要手入などが発生したときその情報を必要部署に即時に伝達する。これにより処理計画が円滑かつ迅速に進められる。

(3) 計画による処理工程、手入矯正など計画外に付加された処理工程の両者が処理の進行とともに消し込まれ未処理工程を残したままでの製品山付が防止されている。また各板ごとに処理工程のうちどこまで完了したか、残工程は何か、所在はどこかの問い合わせに対しても即座に回答が与えられる。

このシステムの詳細については日本鋼管技報 (No. 60) に掲載の予定なので参照いただきたい。

2.7 レポートシステム

このシステムではデーリーの品質上の問題点、および長期的な傾向をとらえて次のステップの品質の向上を狙うものと、一般的な技術資料と作業報告の集計がある。

2.7.1 歩留集計

歩留は総合指示システムおよび精整オンラインシステムからデータを受けて、日報、月報が集計される。

日報としては前日処理分の成績が翌朝工場管理者の出勤以前にタイプアウトされているので迅速なアクションがとれ工場管理上きわめて有力な武器となつている。月報は計画歩留の算出式の精度アップを計るため式の見直し修正をしやすい形式にしてある。

2.7.2 技術資料

技術資料としては

- ① 鋼種別、処理工程別の品質
- ② 製品寸法別の品質
- ③ 圧延寸法の構成表

が集計され、製品品質水準が監視される。

2.7.3 作業報告

作業報告としては各処理工程の処理量、処理工程から処理工程への移動量、仕掛量、および滞留期間などが報告される。これにより工場負荷の把握をし、オーダーエントリーシステムなど圧延計画のシステムへのフィード

バックがなされて操業，工程計画画面に大きく寄与している。

2.8 圧延技術水準情報システム

このシステムは工場の技術水準が向上した場合，いち早く向上の度合いをとらえて一段高い管理ステップへ遅滞なく移行し，常に持てる技術のもとでの最適管理条件を保持して，無駄を省こうとするものである。解析はその月の全データを対象にして行なわれ月報で報告される。

次にこのシステムで解析されるもののうちから具体例を示す。

(例) 圧延寸法精度

チャージ編成システム中の計画歩留計算式は圧延時の狙い厚さ幅に対する実際の圧延厚さ，幅の偏差（平均値と標準偏差）と，鋼板中高量との関数として作つてある。圧延精度が向上し狙い寸法に対する偏差，中高が減少すれば計画歩留は向上するはずであり，この技術レベルの動向を遅滞なく捕捉し，歩留式に反映させるために

次の二つのデータが圧延寸法の関数として解析される。

(1) 狙い厚さ，幅に対する実際寸法の変動の平均値と標準偏差。

(2) 鋼板中高のロールチャンス別平均値と標準偏差。(2)のデータはロール組替周期，クラウン，ロールチャンスの管理にも使用される。

3. 結 言

以上厚板の製造管理のために用いられている電子計算機による管理システムを紹介した。このシステムは各種の異なつた機能の小システムの組合わせにより成り立っているが，各小システムは順々に完成し，その完成の都度工期，作業精度，製品品質などが大幅に改善された。またすべてのシステムが組合わせられ全体の完成をみたときには互いのシステムの相乗効果もあらわれて，当初のシステム計画時に期待した効果をはるかにしのぐものが得られた。