

東洋鋼鋅下松工場におけるバッチ焼鈍炉の 積込編成システム

山本 彰*・山本 賢治*・武田 和宏*²・柘植 義文*²

Organized Loading Schedule System for Batch Annealing Furnace at Kudamatsu Plant, Toyo Kohan Co., Ltd.

Akira YAMAMOTO, Kenji YAMAMOTO, Kazuhiro TAKEDA and Yoshifumi TSUGE

Synopsis : T.O.C. (Theory Of Constraints) was first introduced at Kudamatsu Plant in 2001, when we launched the 3-year project to reform the production system and this project is still proceeding.

This was aimed at constructing a competitive manufacturing structure in which our production line could be streamlined and require less resources, less reserved materials, and less inventory within a shorter lead-time than before, dealing with severe competition in manufacturing industries.

We have promoted the realization of the production control system based on the belief that it will bring about overall benefit to our plant by maximizing the operation in the bottle neck and boosting the through-put on the whole.

As the first step to establish the consistent production plan system, we have developed the organized loading schedule system for the B.A.(Batch Annealing) process. This system was brought into effect in 2002 and has been performing very well so far.

This paper describes the advancement made by introducing this system, such as reducing lead-time and labor savings.

Key words: production control; scheduling system; batch annealing; theory of constraints.

1. 緒言

東洋鋼鋅下松工場は、2001年からTOC (Theory Of Constraints)理論の導入による生産体制の全面改革に着手し、3年計画で推進中である。改革の目的は少ない原材料、仕掛品、製品在庫でスムーズに短いリードタイムで製品を作り、厳しい企業環境の変化にフレキシブルに対応できる生産体制の確立である。その目的を達成する手段として、全体最適の考え方に基づく一貫した生産管理システムの実現を目指している。

一貫した生産計画システムの構築にあたって第一の障害となったのが、バッチ式焼鈍炉工程（以後、BA (Batch Annealing)工程と称する）のシステム化である。BA工程は当工場のボトルネック工程の一つであるが、積込編成ロジックのシステム化が困難であったことと指示通りに現場作業が出来ないことから従来システムの対象外とされ、積込編成立案作業は現場に任されていた。そのためBA工程積込遅れによる納期遅延等の問題が頻発していた。

BA工程のシステム化ロジックについてはロット纏めの一種と考えられる。鉄鋼の生産計画にはスラブ編成、厚板チャージ編成等で同様なロット纏めが行われ、分枝限定法^{1,2)}、GA (Genetic Algorithm)^{3,4)}、エキスパートシステム⁵⁾等の適用が報告されている。大規模な生産計画システムに

おいてこれらの手法を適用する場合、計算時間が膨大になることが予想されるため、当社のシステムを開発するにあたっては高速のシミュレーションシステム^{6,7)}に当社BA工程独自の制約条件と纏め条件を組み込むこととし、短時間でのシステム運用を実現した。

本システムは2002年10月から運用開始しており、現在も順調に稼動中である。本稿では積込編成システムの導入効果としてリードタイムの短縮と省力化が図られたので報告する。

2. 当社の物流とBA工程の設備概要

2・1 物流の概要

当社のブリキ製造プロセスにおける物流フローをFig. 1に示す。物流の基本形態を要約すると下記の通りである。

- ① 原材料のホットコイル（熱延鋼板）を連続酸洗工程でスケールを除去、防錆油を塗布する。
- ② 5スタンド冷間圧延機にて常温で製品厚さまで圧延する。BA調質材は清拭工程へ、CA (Continuous Annealing)調質材は連続焼鈍工程へ搬送する。
- ③ BA調質材は清拭工程で圧延油を除去した後、BA工程でコイル状態で焼鈍する。CA調質材は連続焼鈍工程でストリップ状態で連続的に焼鈍する。

平成16年10月8日受付 平成16年12月21日受理 (Received on Oct. 8, 2004; Accepted on Dec. 21, 2005)

* 東洋鋼鋅（株）下松工場 (Kudamatsu Plant, Toyo Kohan Co., Ltd., 1302 Higashitoyoi Kudamatsu 744-8611)

* 2 九州大学大学院工学研究院化学工学部門 (Department of Chemical Engineering, Kyushu University)

- ④ 調質圧延工程にて表面仕上げのため銅板を軽く（圧下率1~3%程度）圧延する。
- ⑤ 銅板表面に電気すずめっきをする。
- ⑥ めっき後のコイルは製品の梱包仕様に合わせて裁断ラインでシート物として、スリッティングラインでコイル物として製品化される。

2.2 BA工程の作業手順

BA工程の作業手順をFig. 2に示す。

焼鈍待ちの仕掛品コイルはBA工程前に4~6段の縦積み

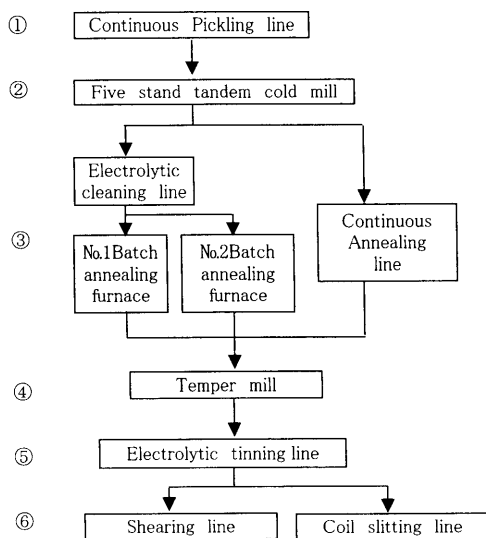


Fig. 1. Material flow for production of tinplate.

状態で保管される。

- ① コイルをベースに炉高制限に収まる範囲で最大限積込む。（通常3~5段）
- ② 積載コイルの上にインナーカバーをかぶせ、保護ガス（NHG）を充填する。
- ③ インナーカバーの外側に加熱炉をかぶせ、バーナーに点火し、インナーカバーを介して内部のコイルを加熱する。
- ④ コイルの最冷温点が焼鈍下限温度に達したら均熱開始とし、所定時間その温度で保持する。
- ⑤ 加熱カバーを取り外し、冷却カバーをかぶせ、外気を吸い込み冷却ファンで強制冷却する。
- ⑥ コイルの温度が充分下がると保護ガスの通入を停止し、インナーカバーを取り外して焼鈍を終了する。

2.3 設備の概要

BA工程の設備仕様をTable 1に示す。

設備の特徴は、1950年代に建造したNo. 1 BA工程（大型炉1基4ベース、中型炉4基9ベース）と1970年代に建造したNo. 2BA工程（中型炉24基45ベース、OCA（Open Coil Annealing）炉7基13ベース）に分かれており、要員面・物流面でも別管理になっている点である。当社の製品構成はBA調質材から焼鈍サイクルが短く生産性の高いCA調質材にシフトしており、現状BA調質材比率は約40%である。要員、エネルギー等コスト削減の為にNo. 1 BA工程を廃止し、No. 2 BA工程に集約して稼動すべき

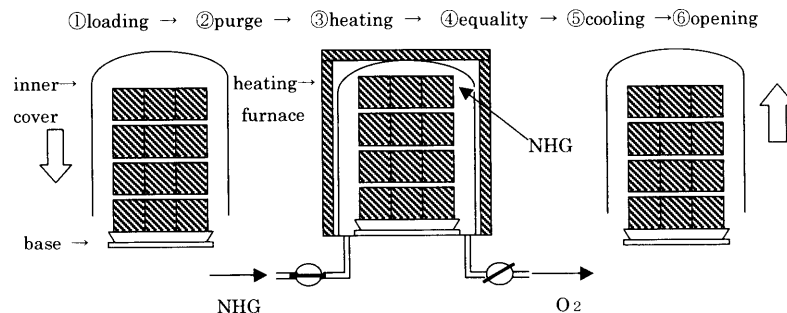


Fig. 2. Operation process of batch annealing furnace.

Table 1. Specifications of batch annealing furnaces.

Name of furnace	No.1 BA		No.2 BA	
	Furnace-A	Furnace-B	Furnace-C	Furnace-D
Type of fuel	LNG	LNG	LNG	LNG
Size of coil				
Max. outside diameter	1,650mm	1,880mm	1,880mm	2,540mm
Max. width	813mm	940mm	940mm	750mm
Number of loading	3	4	4	3
Number of stack	3	1	1	1
Number of base	4	9	45	13
Number of cover	1	4	24	7
Weight of loading	50ton	60ton	55ton	20ton
Time of annealing	80h	95h	85h	50h
Consumption of fuel (per 1 cycle)	2,400m ³	2,700m ³	2,000m ³	1,500m ³

であるが、No. 2 BA工程のみでは能力が不足しており、両工程を稼働しているのが現状である。

3. 生産管理上の課題

BA工程の生産管理システムについては、1980年代にもAI(Artificial Intelligence)技術を導入して積込編成のエキスパートシステムを構築して自動化を試みたが、計算時間が長すぎる、前後の工程計画と連動していない、現場作業がやり難い等の理由で、結局運用にいたらなかった経緯がある。

当工場のBA工程以外の工程は日程計画として生産管理部門がコイル単位に作業順を決定できるのに対して、BA工程の積込編成は現場に任されていた。そのため、納期上急ぐもののみ、生産管理部門が現場に点火依頼をする運用を行ってきた。その結果、工場全体の生産計画としてはBA工程がブラックボックスとなっており、BA工程前での滞留による納期トラブルの頻発やBA工程後の表面処理工程との連動が図れない等の課題を抱えていた。

積込編成業務を複雑化している要因は主として以下のものである。

- ① 積込編成は仕掛コイルの纏め処理であるが、同一温度コードの纏めだけでなく異なる温度コードの組み合わせでも作業できること。
- ② 品質上のベース指定、積段数制限、厚み制限、コイル外径差等の積込制約があるが標準化がなされていないこと。
- ③ 点火してから均熱、冷却にかかる時間を計算するロジックが確定しておらず、設備を占有する時間のシミュレーションができなかったこと。
- ④ 纏め処理で端数となったコイルの作業可否判断が難しいこと。
- ⑤ BA工程の作業効率化だけでなく、後工程の稼働計画や仕掛コイルの納期も考慮しなければならないこと
- ⑥ 積み合わせの候補を選ぶ作業が帳票ベースであり、作業負荷が高いこと。

4. 積込編成システム開発の基本方針

新システムの開発に当たって、3.で述べた課題を解決するために以下の基本方針を設定した。

(1) システムの範囲

BA工程単独のシステムではBA工程の個別最適化を目指すシステムとなるため、BA工程の前後工程との連携が取れるよう、全工程の生産計画を一貫して作成するシステムを構築する。積込編成システムの運用を先行で開始し、次ステップで前後の工程の計画システムを順次運用していくこととした。

計算対象のオーダーは、現在工程内にある仕掛品全量と受注契約の内、これから酸洗工程に投入される予定の未投入契約品で、計算日から90日先までシミュレーション可能とする。

(2) システムの実行時間

24時間連続操業の当工場では、ラインの計画外停止や仕掛コイルの欠点発生等、計画外の事象が頻発するため、少なくとも1交替に1回は計画を組み直す必要がある。そのためシステムの実行時間は可能な限り短時間が望ましく、新システムの計算時間は60分以内を目標とした。

(3) システムの可視化

従来の紙ベースのシステムから脱却して、焼鈍炉単位に積込状況がガントチャート形式でビジュアル化できるシステムとする。

(4) 作業指示の一元化

BA工程の作業指示は3.で述べたように、納期上急ぐコイル（以下特急品と称する）は生産管理部門が出し、その他の通常品は現場管理と指示系統が分かれていた。新システムではシステムの積込編成指示で一元的に現場作業を行うこととする。そのために現場が操業上設定してきた各種制約条件を標準化してロジック化する。

5. 積込編成システム

積込編成システムに必要とされる機能は下記の通りである。これらの機能は最終的にBA工程に対する作業指示を行う為に、①～④の順番に実行される。

- ① オーダー選択
- ② ベース属性の決定
- ③ オーダーの纏め
- ④ 能力計算
- ⑤ 作業指示

5.1 オーダー選択方法

積込編成の候補となるオーダーの選択について述べる。

受注時に決められた客先要望納期に対して工場が製品を完成させなければならない期日をUP日と称している。オーダーの選択は基本的に納期重視の観点でUP日の順とするが、さらにその上位の優先として次の3点がある。

(1) リードタイム違反品

工程間に長期間滞留していると錆が発生するため季節、工程別、品種別に最大リードタイムを設定し、これを超えているものが第1優先で選択される。

(2) 重点納期管理品

客先から特に急ぎの指定があり、UP日より前倒しで製造する必要があるものを特急品として管理している。オーダー選択優先度は第2位である。

(3) サイクル生産品

表面処理工程において段取り替えの工数が大きいため

1~2回/月に纏めて作業するオーダーをサイクル生產品として特別管理している。サイクル生產品についてはUP日の如何にかかわらず、そのタイミングに間に合わせる必要がある。そこでBA工程においても優先的にオーダー選択される。

5.2 積込対象炉ベース属性の決定

焼鈍炉ベースは製造品質レベルによって7段階に分類される。オーダーがどの属性のベース指定となっているかは上位ホストシステムで分類し、オーダーに属性名をパラメータとして付与する。積込編成システムはこのパラメータを集約条件キーとして振り分けを行う。また、上級品質設備に余力があった場合、積込編成システムは下級品質オーダーの上級品質設備への割付も考慮する。

5.3 オーダー纏め方法

積込編成システムにおけるオーダー纏めロジックについて以下に説明する。

纏め処理には下記の6条件をロジックに使用する。これらの条件は第1条件から第6条件まで順番に実行していき、全ての条件を満たす場合にのみ、同一ベースに纏めて割り付けられる。

(1) 第1条件

温度コードによる纏め。約20条件の温度コードが同じものを纏めて処理を行う。特定品種に限り、類似の温度コードを持つオーダーを組み合わせる積み合わせてもよい。

(2) 第2条件

品質による積段指定による纏め。品質に厳しい品種は、ベース内に積込む最大積載段数が制限される。

(3) 第3条件

板厚による積段指定による纏め。積込段数によって板厚

の指定がされている。

(4) 第4条件

積段高さによる纏め。纏め処理を行ったコイルの幅の合計が焼鈍炉の高さ以内に収まるようにする。

(5) 第5条件

外径差制限による纏め。1番上に積むコイルを除く、最小径のオーダーの+10%以下に他のコイルの外径が収まるようにする。

(6) 第6条件

積段指定による纏め。品質上、積段指定がされているオーダーは指定段数より下に積んではならない。

5.4 能力計算

纏めたオーダーは能力計算を行って、ガントチャートに割り付ける。以下にBA工程の能力計算のロジックについて述べる。

BA工程の作業を開始して次工程が作業着手可能になるまでの所要時間の算出ロジックは下記の通りである。

所要時間 = 前段取時間 + 加熱時間 + 冷却時間 + 次工程
運搬時間

ここで、前段取時間 = 4時間 (固定)

加熱時間 = 積込質量 × 加熱時間係数

冷却時間 = 積込質量 × 冷却時間係数

次工程運搬時間は次工程の種類ごとにテーブルに指定する。焼鈍作業終了後、運搬可能なコイル温度まで冷却される時間を考慮して季節ごとに指定できる。加熱時間係数と冷却時間係数は温度コード別にテーブルに設定され、現場作業実績を取り込んで過去4ヶ月平均で再計算される。

5.5 作業指示

積込編成システムで立案された計画はクライアント端末においてFig. 3で例示するようにガントチャート形式で表

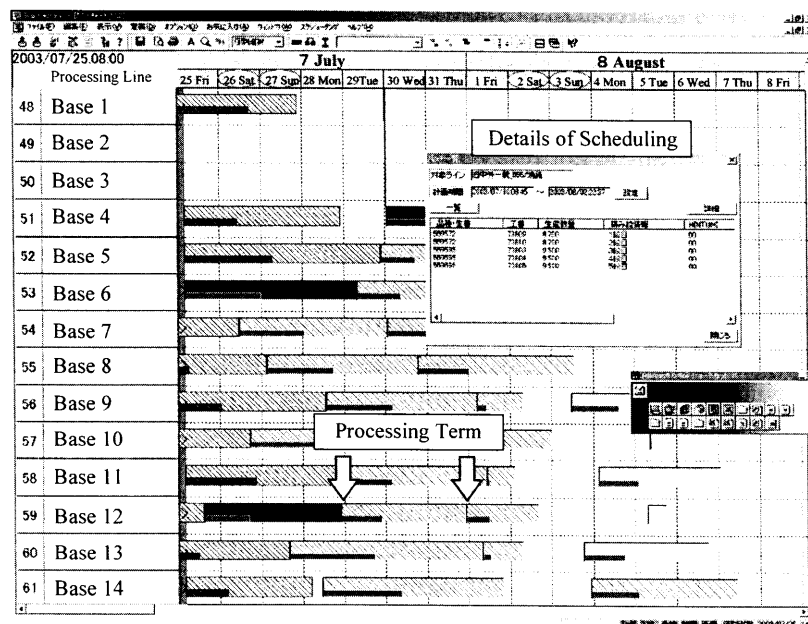


Fig. 3. Result of scheduling for BA furnace.

示される。生産計画担当者はガントチャートで立案内容を確認し、修正する必要がある場合は手直しをしてホストへ計画内容を作業指示として転送する。上位転送する計画対象はベース単位に次回積込分のみとする。

BA工程の作業者はホストコンピュータの生産管理端末で積込指示を参照し、その指示通りに仕掛コイルを運搬して積込を行う体制とした。

6. 成果

新システム稼働後、1.5年が経過しているが、システムの稼働状況は順調である。システムの計算時間についても目標の60分に対して40分と短時間でシミュレーションを実現している。Fig. 4にシステム運用前後のBA工程前の仕掛滞留時間の比較を示す。システム運用後は滞留のピークが4シフトから2シフトに移行する等、全体的に滞留時間が短縮傾向にあり、BA工程前の最大リードタイムがシステムにより遵守されるため30シフトを超えて滞留するコイルが激減している。その結果、Table 2に示すように当社の主要製品の製造リードタイムも20%程度短縮している。また、営業部門からのBA工程に対する作業促進依頼が減少し、納期回答精度も向上するなど顧客サービスの向上にも寄与している。

また、BA工程に対する作業指示を新システムで一元化したことにより、生産管理部門のBA工程に対する管理作業負荷が軽減し、現業の工程推進担当者の省力化4名が達成できた。

7. 結言

全体最適の理念の下に推進している一貫した生産計画システムの中核として構築したバッチ式焼鈍炉の積込編成システムについて紹介した。稼働開始以来1.5年を経過し、納期優先と表面処理工程の稼働確保の両立を目指して、リードタイムの短縮と省力効果など当初計画通りの成果を上げている。

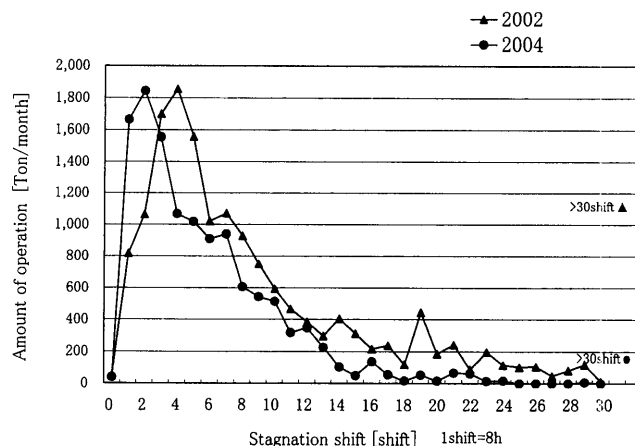


Fig. 4. Stagnation shift before BA furnace.

Table 2. Comparison of average lead time.

	2002	2004
Product A [d]	50.4	36.2
Product B [d]	24.8	18.4
Product C [d]	28.1	24.0

今後は、BA工程以外の全工程に一貫した生産計画システムの運用を開始し、さらに関連企業や本社・需要家までにサプライチェーン マネージメントの環を広げていきたい。

文 献

- 1) M.Asano and H.Ota: *J. Jpn. Ind. manage. Assoc.*, **46** (1995), 355.
- 2) Y.Kuno: *Operations Res. Manage. sci.*, **5** (1999), 232.
- 3) M.Ito, K.Aoki, M.Kanasashi and Y.Sato: *J. Jpn. Ind. Manage. Assoc.*, **45** (1995), 581.
- 4) M.Gen, K.Ida and 李銀珍: *J. Jpn. Ind. Manage. Assoc.*, **46** (1995), 446.
- 5) S.kubota, K.Hori, H.Hashikawa, K.Araki and H.Imamura: *Sumitomo Met.*, **45** (1993), 51.
- 6) M.Fuyuki and I.Inoue: *J. Jpn. Ind. Manage. Assoc.*, **46** (1995), 144.
- 7) M.Arakawa, M. Fuyuki and I.Inoue: *J. Jpn. Ind. Manage. Assoc.*, **52** (2001), 81.