
多目的連続焼鈍炉の建設と操業

Charecteristics and Operation of Multipurpose Continuous Annealing Line

柳 島 章 也 (Fumiya Yanagishima) 下 山 雄 二 (Yuji Shimoyama) 鈴 木 宗 利
(Munetoshi Suzuki) 角 南 秀 夫 (Hideo Sunami) 芳 賀 雄 彦 (Takehiko Haga) 井 田
幸 夫 (Yukio Ida) 入 江 敏 夫 (Toshio Irie)

要旨：

世界最初の多目的連続焼鈍設備が、千葉製鉄所冷延工場で、1980年7月に稼動を開発し、9月には15000tを生産した。処理対象鋼板は、硬質ぶりき原版、軟質ぶりき原版、電磁鋼板、高張力冷延鋼板と一般冷延鋼板の5品種であり、ヒートサイクルは3種類に大別される。同一の連続焼鈍設備で3種類のヒートサイクルを実現するためには、ライン、特に炉部の構成、鋼板のクーリングシステム、炉内張力制御、鋼板温度制御など機械、電気、計測の各分野で新規な技術開発が必要であった。当社はこの課題を解決して、設備の多目的化を可能ならしめるとともに、それぞれの品種を高品質、高生産性、低コストで製造する設備および操業技術を実現した。

Synopsis：

The world's first multipurpose continuous annealing line facility started operation in July 1980 at the cold rolling plant, Chiba Works, Kawasaki Steel Corporation (KSC) and achieved steel production of 15000t in September. Steels to be produced involves five types; high temper tinplate, low temper tinplate, non-oriented electrical steel, high-strength cold rolled sheet steel and ordinary cold rolled sheet steel. In order to produce these five steels a single continuous annealing line, several technical innovations have been achieved in the mechanical, electrical and instrumental fields such as steel strip cooling system by gas jet as fast as 50°C/s, intrafurnace tension control and steel strip temperature control. A unique design and arrangement of cooling sections with multiple functions have also been developed by applying three modes of heat cycle. KSC has successfully established the production system and operation technology for producing five types of high quality steel with high productivity at low cost.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

多目的連続焼鈍炉の建設と操業*

Characteristics and Operation of Multipurpose Continuous Annealing Line

柳 島 章 也**
Fumiya Yanagishima

下 山 雄 二***
Yuji Shimoyama

鈴 木 宗 利****
Munetoshi Suzuki

角 南 秀 夫*****
Hideo Sunami

芳 賀 雄 彦*****
Takehiko Haga

井 田 幸 夫*****
Yukio Ida

入 江 敏 夫*****
Toshio Irie

Synopsis:

The world's first multipurpose continuous annealing line facility started operation in July 1980 at the cold rolling plant, Chiba Works, Kawasaki Steel Corporation (KSC) and achieved steel production of 15 000 t in September. Steels to be produced involves five types; high temper tinplate, low temper tinplate, non-oriented electrical steel, high-strength cold rolled sheet steel and ordinary cold rolled sheet steel. In order to produce these five steels a single continuous annealing line, several technical innovations have been achieved in the mechanical, electrical and instrumental fields such as steel strip cooling system by gas jet as fast as 50°C/s, intrafurnace tension control and steel strip temperature control. A unique design and arrangement of cooling sections with multiple functions have also been developed by applying three modes of heat cycle. KSC has successfully established the production system and operation technology for producing five types of high quality steel with high productivity at low cost.

1. 緒 言

冷延鋼板は我々の生活に欠かせない多くの用途に使用されており、多岐にわたる品質と広い寸法範囲が要求される。たとえば、飲料缶に使用するぶりき、ティンフリー鋼板は、冷延鋼板の中でもっとも板厚が薄く、かつ大きな強度が要求される。また、自動車の外板に使用する冷延鋼板は、複雑な形状に成形するので優れた加工性が要求される。

さらに、モータコアなどに使用する電磁鋼板は、冷延鋼板として一般的に要求される品質のほかに、良好な電気的特性が必要とされる。これに加えて、近年自動車の軽量化指向が高まり、高張力冷延鋼板の使用量が拡大して、冷延鋼板に対して一段と品質要求が広範にかつ厳しくなっている。

このような冷延鋼板の用途の拡大により、製造設備が多様化して冷延工場におけるコイルの物流はますます複雑になり、要員、コイルハンドリング、製造所要日数、中間在庫の面で多くのロスが

* 英文技報Kawasaki Steel Technical Report (March, 1981) 2, 1に掲載

** 千葉製鉄所冷間圧延部冷延技術室主査(課長待遇)

**** 千葉製鉄所冷間圧延部部長

***** 千葉製鉄所管理部副部長

***** 技術研究所薄板研究室室長

(昭和55年12月2日原稿受付)

*** 千葉製鉄所冷間圧延部冷延技術室

***** 千葉製鉄所管理部部長

***** 千葉製鉄所設備部設備技術室主査(掛長待遇)

生じがちになっている。

最近、これらの問題を解決する一つの方法として、冷延鋼板を連続焼鈍し、つづいて調質圧延、表面検査を行うコンティニューアスアニーリングアンドプロセッシング¹⁻³⁾ (Continuous Annealing and Processing) が提唱されている。この方法によれば、従来の工程では10日間かかる冷延工場における製造日数が、わずか1日に短縮されて、コイルの物流を簡素化する点で冷延工場にメリットをもたらす。しかし、この設備は一般に数万t/monthの能力を有しているので、限られた品種を大量に生産する工場にしか適用できない欠点があった。

当社ではこの点を考慮して、世界最初の多目的連続焼鈍設備を企画し、ハードウェアとソフトウェアの技術的検討を開始した。その結果、当社の多目的連続焼鈍設備KM-CAL (Kawasaki Steel Multipurpose Continuous Annealing Line) は、多目的化に伴う幾つかの技術的な問題点、たとえば急速冷却帯の多能化などの課題を克服して、1979年4月に着工し、1980年7月より本格稼動を開始した。

本報告ではKM-CAL設備の特徴と、初期の操業実績、製品品質について、その概要を述べる。

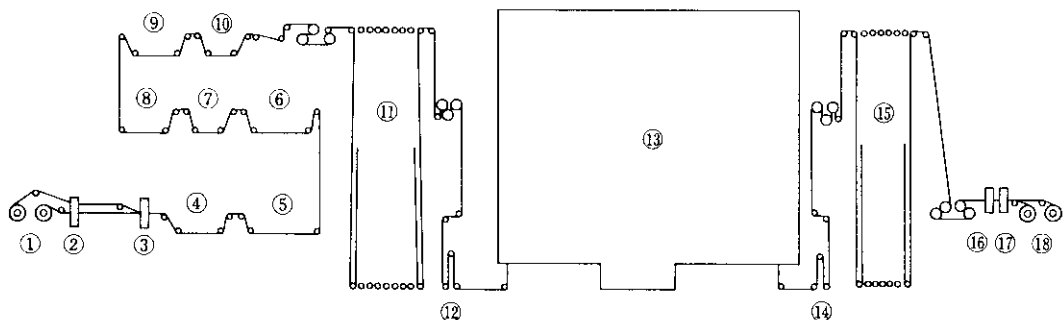
2. KM-CALの設備構成

連続焼鈍のヒートサイクルは鋼板の用途によって異なるので、多目的連続焼鈍設備では、品種ごとに要求される複数のヒートサイクルに対処する必要がある。さらに、処理対象鋼板の板厚、板幅も用途の拡大によって広範になるので、各構成設備についてその配慮が必要になり、専用設備の利点を最大限に生かして多目的化することが課題になっている。

当社はこの点に関して検討を重ね、生産性、品質と製造コストが専用設備に比較して同一レベルの多目的化を実現し、個々の品種に応じて使いわけられる連続焼鈍条件を確立した。以下にその設備を概説する。

2.1 ライン構成

KM-CALのライン構成をFig. 1に、主な設備仕様をTable 1に示す。ラインはコイルを巻き戻し、電解洗浄する入側設備、所要のヒートサイクルを鋼板に付与する中央設備、鋼板表面の検査と巻取りを行う出側設備で構成される。鋼板の板厚、板幅仕様は、品種ごとの寸法別需要割合から決定した。ライン速度は、駆動モータの容量削減のために高低速2段切換えとし、高速レンジでは硬質ぶりき原板、軟質ぶりき原板と電磁鋼板が、低速レンジでは高張力冷延鋼板と一般冷延鋼板が製造できる。速度レンジの切換えは、ギアチェンジと



- | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| ① No.1 and 2 pay-off reels | ⑦ No.2 brush scrubber | ⑬ Furnace |
| ② Shear | ⑧ Pre-treatment tank | ⑭ No.2 tension control unit |
| ③ Welder | ⑨ Rinse tank | ⑮ No.2 looper |
| ④ No.1 electrolytic cleaning tank | ⑩ Pre-treatment tank | ⑯ Down-cut shear |
| ⑤ No.1 brush scrubber | ⑪ No.1 looper | ⑰ Snip shear |
| ⑥ No.2 electrolytic cleaning tank | ⑫ No.1 tension control unit | ⑱ No.1 and 2 tension reels |

Fig. 1 Layout of KM-CAL

Table1 Specification of KM-CAL at Chiba Works

Item		Specification
Strip	Thickness, t (mm)	0.15~1.2
	Width (mm)	457~1 300
Coil	Weight (t)	Max.21.0
	Diameter (mm)	Max.2 134
Annual production (t/year)		360 000
Production time (h/year)		8 200
Line speed	Entry section (m/min)	700($t < 0.7$), 250($t \geq 0.7$)
	Center section (m/min)	600("), 220(")
	Exit section (m/min)	700("), 250(")
Line length	Total (m)	150
	Furnace (m)	70

界磁切換えを併用している。

なお、本報告によるKM-CALでは、品種構成の観点からインラインスキンプスミルを設置しなかった。

2・2 入側設備

入側設備は Fig.1 において、ペイオフリールか

ら No.1 ルーパまでの総称で、次の二つの機能を有しており、その外観を Photo. 1 に示す。

(1) 冷間圧延したコイルを順次継ぎ合わせ、連続した鋼帯として炉部へ一定速度で送り込む機能：コイルを交互に巻き戻すペイオフリール、鋼板のオフゲージを自動的にリジェクトできるクロップ処理装置、先行板と後行板を接続するナローラップシームウェルダと、ペイオフリールを切換えている時に炉部へ送る鋼板を貯蔵するルーパからなる。

(2) 鋼板表面から圧延油を除去する機能：

クリーニング設備は、鋼板表面品質がもっとも厳しいふりき原板を対象に設計した。具体的には、能力240kVAの電解クリーニングタンクと、ブラシスクラバータンク各2組を配置し、700m/minの高速通板でも十分な洗浄効果が得られるように配慮した。

2・3 中央設備

中央設備は Fig.1 において、No.1 と No.2 のデーションコントロールユニットにはさまれる部分

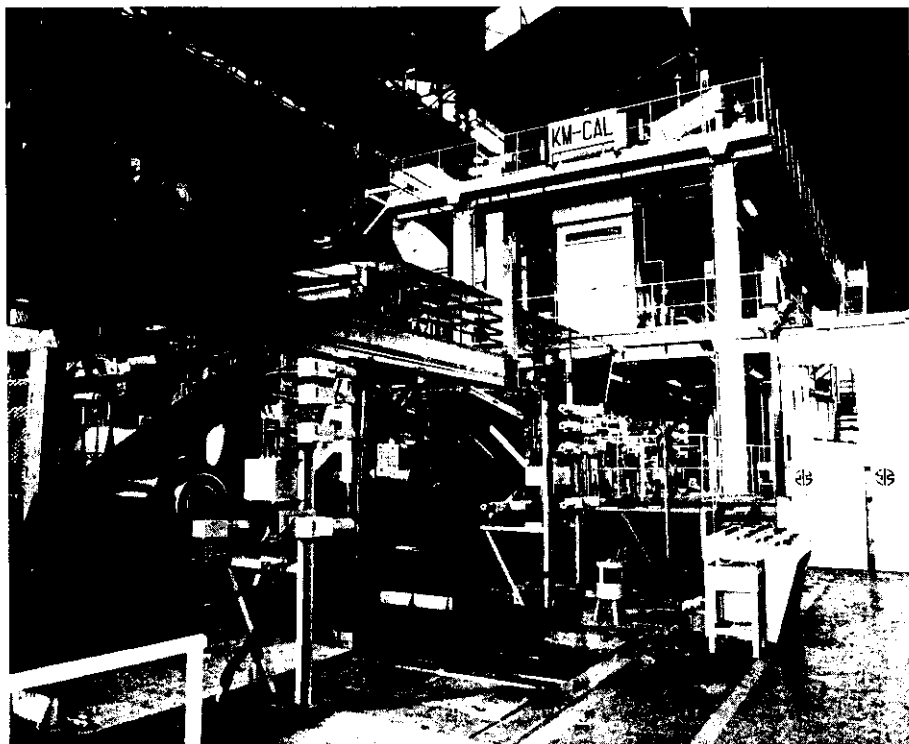


Photo. 1 General view of the entry equipment

で、Photo. 2に示すように縦型の炉であり、5セクションから構成されている。その概要をFig. 2に示す。ヒートサイクルを制御するに必要な鋼板温度計は、第3冷却帯を除く各帯の出口部と第1冷却帯内の2箇所とに設置した。高速通板に不可欠なステアリングユニットは、第1冷却帯を除く各帯に1ユニット設置した。

2・3・1 加熱帯

鋼板の加熱はラジアントチューブによる間接加熱方式で、熱源にはCOG(Coke Oven Gas)を使用している。加熱能力は最大入熱量 $1620 \times 10^4 \text{ kcal/h}$ で、鋼板温度を最高 950°C まで加熱できる。バーナはラジアントチューブ用に当社が開発した2段燃焼方式による低 NO_x 型バーナーを使用し、従来型より約30%の NO_x 削減を達成した。

炉内の温度制御は6ゾーンに分割され、鋼板の最適加熱パターンが選択できる。また、耐火断熱材にセラミックファイバを使用して炉の蓄熱量を減少し、温度時定数を小さくした。これにより、鋼板温度のダイナミックなコントロールが容易に

なった。

COGの燃焼排ガスの保有熱量は、バーナに付属したレキュペレータとウォータヒータ、エアーヒータで回収される。ウォータヒータで予熱された水はクリーニングのリンス水に、エアーヒータで予熱された空気はクリーニングのドライヤに使用されるので、その結果排熱量はこのような設備では最小になっている。

2・3・2 均熱帯

鋼帯の温度を保持するために、最大入熱量 $250 \times 10^4 \text{ kcal/h}$ のラジアントチューブバーナを装備している。必要に応じて、ラジアントチューブに空気だけを通入すれば、本帯を徐冷帯としても使用できる。

炉内の温度制御は2ゾーンに分割した。耐火断熱材は、加熱帯と同様の使用方法である。

2・3・3 第1冷却帯

本帯にはFig. 2に示すように、三種類の使用方法がある。一つは室温近くまで急速冷却する方

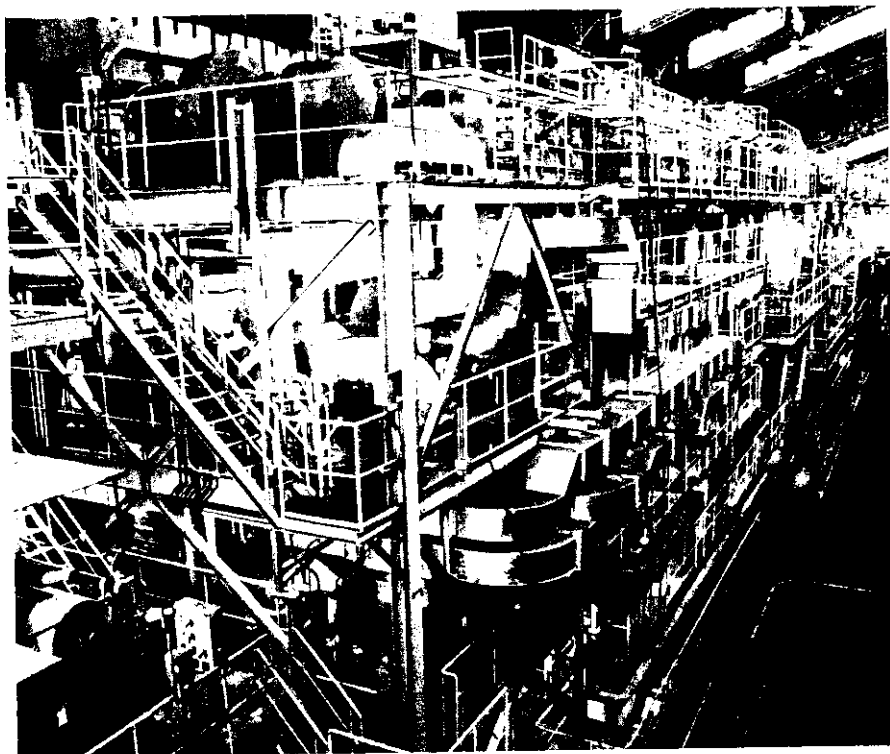


Photo. 2 General view of the central equipment

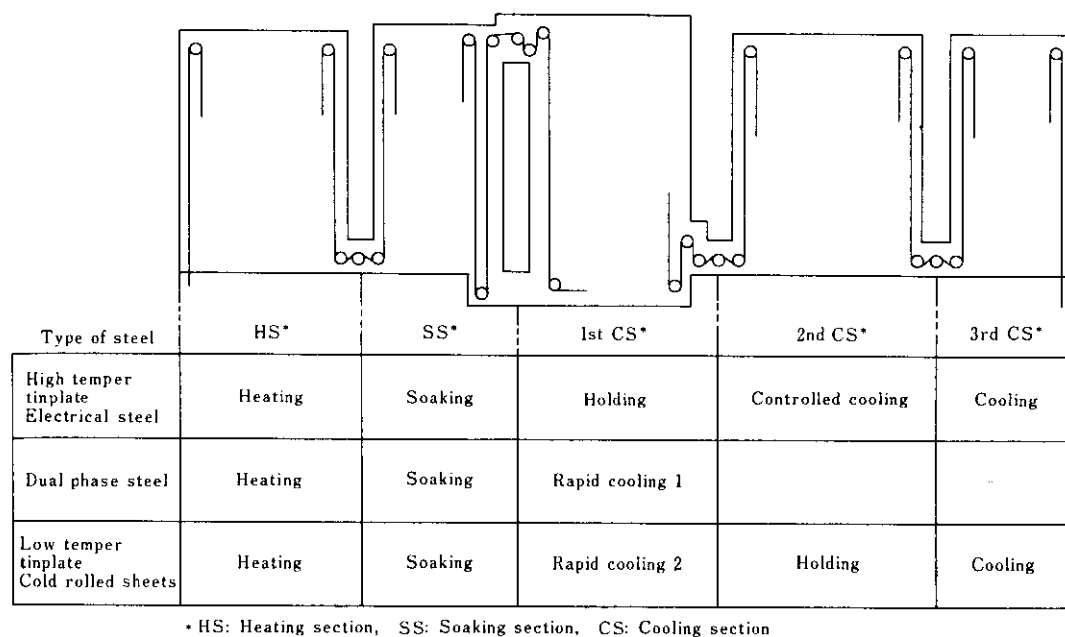


Fig. 2 Structure of the furnace and function of each section

法で、当社が開発した2相混合組織高張力冷延鋼板（商品名CHLY）に適用する。もう一つは過時効温度まで急速冷却する方法で、軟質ぶりき原板と一般冷延鋼板に適用する。残りの一つは硬質ぶりき原板または電磁鋼板をあまり冷却しないでブレンナムチャンバだけを冷却する方法である。

鋼板とブレンナムチャンバのノズルとの間隔を短縮すると、熱伝達係数が大きくなり、冷却装置全体を軽量化できる。しかし、そのためには通過する鋼板の平坦度を、高水準に維持する必要がある。また、CHLYは連続焼鈍したあとに調質圧延工程を通過しないので、急速冷却した鋼板の形状が製品の形状となり、ここでも良好な鋼板形状が要求される。急速冷却している時に起こる鋼板の形状悪化は、鋼板幅方向の冷却ガス流量分布の不適正に起因する冷却むらと、鋼板が温度の低いハースロールに接触した時に生じる冷却むらが主な発生原因である。前者は冷却開始直前の鋼板形状を平坦にすることが前提になるので、第1冷却帯入口部のハースロールによる鋼板幅方向の反りを少なくするために、ハースロールの最小外径を規制している。鋼板幅方向の均一冷却は、冷却している鋼板の幅方向の温度分布を測定し、自動的に幅方向の冷却

能を制御することによって行われる。ハースロールに起因する冷却むらは、まだロール温度が低い運転開始の時点に多いので、ロールを予熱するために総容量360kWのヒータを設置し、鋼板とロールの温度差を少なくする制御を実施している。

2・3・4 第2冷却帯

本帯は硬質ぶりき原板、電磁鋼板に対しては徐冷に、軟質ぶりき原板、一般冷延鋼板に対しては過時効処理に使用されるので、冷却と加熱の機能を備えている。冷却はクーリングチューブを使用した間接方式で、数°C/sの徐冷である。加熱は総容量810kWのヒータがあり、鋼板温度を300～500°Cに保持できる。

2・3・5 第3冷却帯

鋼板が空気に触れても酸化されない温度まで冷却する設備で、汎用のガスジェットクーリングを採用している。

2・4 出側設備

ルーバ、2種類のシャーと2基のテンションリールで構成される。溶接点で鋼板を分割するシャ

一は、鋼板の板厚範囲が広く、かつ板厚の厚い鋼板は通板速度が遅いことから、高速薄物用のスニップシャーと低速厚物用のダウンカットシャーとを設置した。

3. KM-CALの特徴

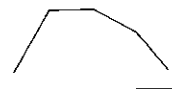
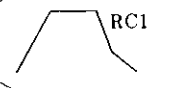
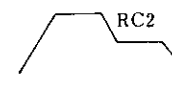
3.1 炉部の機能配分

KM-CALの処理対象鋼板は Table 2 のように 5 品種あり、3 種類のヒートサイクルにより処理

される。

もっとも重要で、かつ操業に高度な技術を必要とする炉部の設計段階における最重点課題は、Table 3 に示す各品種の操業キーファクターを確実に成就し、3 種類のヒートサイクルを、その切換えも含めて容易にすることであった。この点を考慮して設計した KM-CAL の炉部の概要を Fig. 2 に示したが、第 1 冷却帯と第 2 冷却帯に冷却と保定の機能を備えるなど、幾つかの新しい試みを実施した。たとえば、第 1 冷却帯は、ガスジェットに使用するファンを使い分けることによって、

Table 2 Typical materials and heat cycles for KM-CAL

Steel type	Size range		Maximum soaking temperature (°C)	Heat cycle
	Thickness	Width		
High temper tinplate	0.15 ~0.60	600 ~1 000	700	
Electrical steel	0.35 ~0.70	800 ~1 100	900	
Dual phase steel	0.60 ~1.2	600 ~1 300	900	
Low temper tinplate	0.15 ~0.60	600 ~1 000	750	
Cold rolled sheets	0.40 ~1.2	600 ~1 300	850	

RC:Rapid cooling

Table 3 Key factors and operational measures for each material

Steel type	Key factor	Measure
High temper tinplate Electrical steel	Stable high speed operation	①Optimization of hearth rolls in terms of profile and surface quality ②Accurate tension control in the furnace ③Optimum arrangement of hearth rolls
Dual phase steel Cold rolled sheets	Cooling rate control	①Application of adjustable cooling system using gas jet ②Development of radiation thermometer with high accuracy ③Accurate computer control
	Abundant cooling capacity	Development of gas jet cooling system with high efficiency
Low temper tinplate	Strip shape control during rapid cooling	Low tension operation in the furnace
	Stable high speed operation	Same as the uppermost column

鋼板の急速冷却と、鋼板温度を安定するヒートサイクルにおけるプレナムチャンバだけの冷却とができるように、設計されている。なお、後者の冷却は、高温の鋼板から輻射熱によるプレナムチャンバの変形を防止するためのものである。

3-2 アジャスタブルクーリングシステム

CHLYの冷却速度は、Fig. 3⁴⁾に示すように、30~50°C/sの範囲で、特に良好な機械的性質を示す。板厚1.2mmの鋼板に対してこの範囲の冷却速度を確保するためには、ガスジェットクーリングの平均熱伝達係数は250kcal/m²・h・°C必要であり、従来のガスジェットクーリングによる30~100kcal/m²・h・°Cに比較して、かなり強力になる。鋼板の冷却速度が大きくなると冷却むら、したがって鋼板形状の悪化が発生しやすくなる。鋼板形状の悪化はさらに冷却むらを増長するので、悪循環が起り、操作性が低下する。

当社はこの問題を解決するために、KM-CALの建設にあたって、炉部のメーカーである三菱重工業㈱と共同で、実機規模の試験装置を製作して、鋼板のガスジェットクーリングに関する研究を行い、その結果に基づいて実機の冷却装置を設計した。したがって、KM-CALの実操業で得た冷却能力は、実験装置によって得られたFig. 4に示す実験結果とほとんど一致しており、良好な鋼板形

状を維持しながら急速冷却できる。なお、Fig. 4は炉内雰囲気ガスとしてHNガス(H₂: 7%, N₂: 93%)を使用した時の結果を示しているが、省エネルギー、冷却効率の向上の観点から、実機では約50%までの増加が考慮されている。

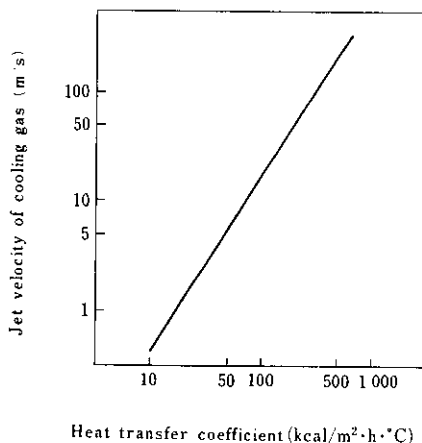


Fig. 4 Cooling capacity of gas jet obtained by test equipment

一方、急速冷却の制御に関しては、Table 2に示したように鋼板の板厚範囲が極めて広いこと、さらに、機械的性質を満足する冷却速度と通板速度の関係が品種ごとに異なることなどのため、広範囲に冷却能を制御できるクーリングシステムが要求される。このように変数の多い急速冷却を、プロセスコンピュータを用いて高精度に制御する方式が、KM-CALで採用したアジャスタブルクーリングシステムである。制御方式の概要をFig. 5に示す。第1冷却帯の使用条件は、急速冷却する鋼板に要求される冷却速度と通板速度から決定される。たとえば、Fig. 5の場合は使用ゾーンが4ゾーンで、冷却ガス風量は最大能力の約70%になる。

3-3 高速安定性の優れた炉

硬質ぶりき原板を高速で通板する場合の最大の課題は、炉の中における鋼板の蛇行防止である。当社は既設CAL（最高通板速度550m/min、能力3万t/month）の操業実績を生かして、KM-CALの最高通板速度を600m/minとし、炉内における鋼板の蛇行を小さくする手段として、以下に示す対

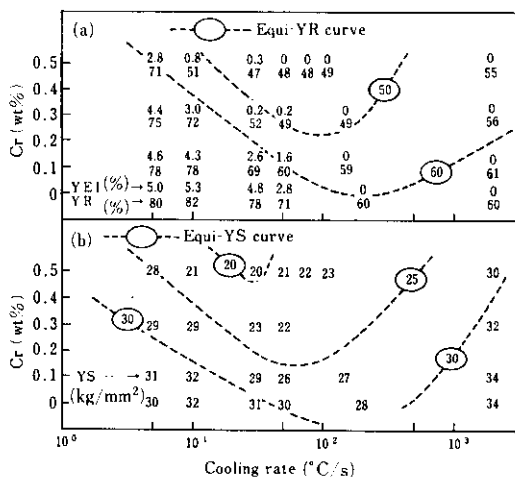


Fig. 3 Effect of cooling rate and Cr content on (a) yield point elongation and yield-to-tensile strength ratio, and (b) yield strength

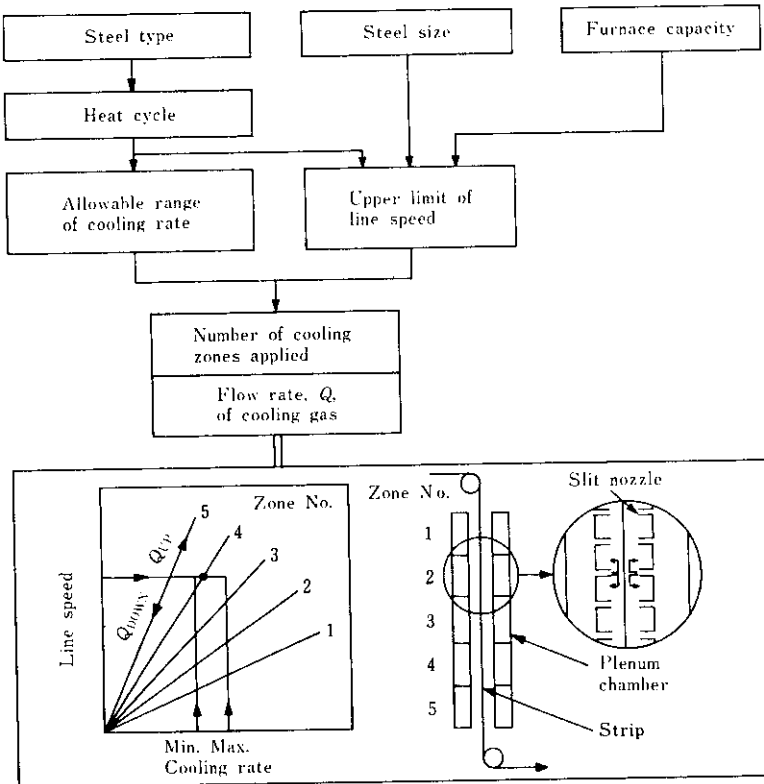


Fig. 5 Schematic diagram of adjustable cooling system

策を実施した。

- (1) 操業中のハースロールの温度分布に基づき、ヒートクラウンを考慮に入れてハースロールの形状を設計した。
- (2) ハースロールと鋼板のスリップを減少させるために、ハースロール表面の中央部に特殊処理⁵⁾を施し、バックリングが起きない範囲で摩擦係数を大きくした。
- (3) 鋼板が自重によってたるみやすい場所にハースロールを設け⁶⁾、炉内張力制御を容易にした。
- (4) 鋼板の熱による伸縮と張力による塑性伸びを吸収できて、安定した鋼板張力が得られる炉内張力制御方式を開発した。

これらの対策により、KM-CALは稼動を開始してから3箇月目に、硬質ぶき原板を600m/minで安定して通板することに成功した。

3-4 炉内張力自動制御装置

炉内における鋼板張力の制御は、高速通板をし

ている鋼板の蛇行量、および急速冷却している鋼板の変形量に大きな影響を及ぼす。特に鋼板寸法が広範な多目的連続焼鈍設備では、鋼板張力制御の精度向上が重要な課題となる。

そこで、既設のCALにおける実験と理論解析から、Fig. 6に示すように、炉内に速度制御の基準となるマスターロールを設置し、さらに第1冷却帯の入口部と出口部に炉内ブライドル装置を設置した画期的な炉内張力制御方式を開発した。この方式によれば、鋼板が加熱されて膨張するセクションと鋼板が冷却されて収縮するセクションの張力制御が、マスターロールを境目にして分離できるので、ハースロールの駆動モータに採用したVVVF (Variable Voltage, Variable Frequency) と合わせて、炉内の鋼板張力を高精度かつ適切に制御できる。さらに、第1冷却帯の入口部と出口部に設けた炉内ブライドル装置により、第1冷却帯内の鋼板張力は、他帯と独立して低い鋼板張力に制御できる。なお、堅型連続焼鈍炉の

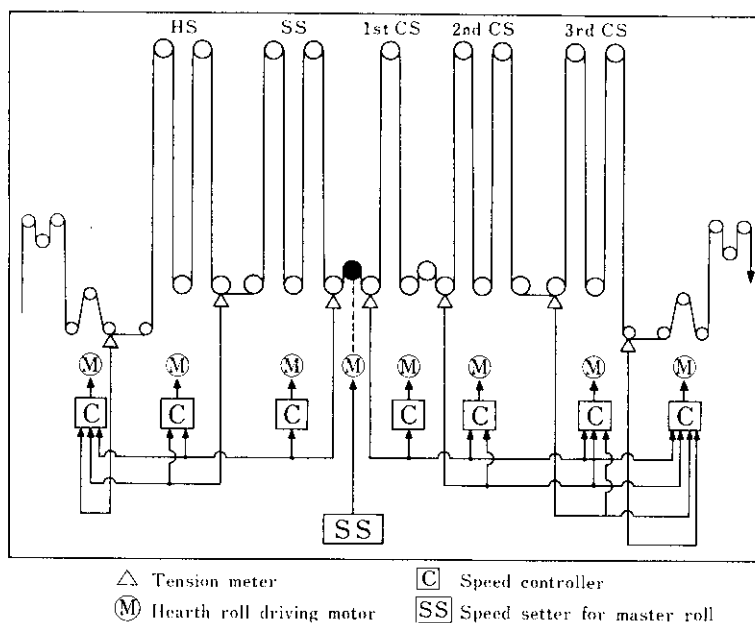


Fig. 6 Schematic diagram of automatic tension controller

ように鋼板張力がタイトなラインにおけるVVVFの採用はKM-CALが最初であり、安価かつ保守が容易でしかも同一帯内の鋼板張力に任意の勾配を容易に与えられるメリットをもたらした。

3・5 鋼板温度自動制御装置

冷延鋼板の機械的性質は、鋼板の化学成分、熱延条件、冷間圧下率と焼鈍条件でほぼ決まる。したがって、目的とする機械的性質を得る手段として、焼鈍は重要な工程である。連続焼鈍において焼なましを完全に成就するためには、走行する鋼板の正確な温度を検出することが必須である。そこで、KM-CALに適応した数種類の放射型温度計を開発し、既設のCALにおける実験によってその精度を確認した。

KM-CALで採用した鋼板温度の制御システムをFig. 7に示す。炉の負荷範囲が広いKM-CALでは、炉の動的特性を把握して、負荷の変更に即応してダイナミックに鋼板温度を制御することが、焼鈍条件不良部を減少する重要な対策となるので、本システムはダイナミックコントロールに重点をおいている。

3・6 ロール

多目的連続焼鈍設備に必要なロールに関する研究課題をTable 4に示す。KM-CALで採用したロールは、これらの研究課題を検討した結果から決定されたもので、実際の操業でほぼ良好な結果を得ている。

4. 操業経過

KM-CALの生産量は、本格的に操業を開始してから順調に推移したが、3箇月間の操業実績では十分なデータが得られていないので、生産性、原単位、KM-CALの優位性などは別の機会にゆずるとして、本報では稼動開始直後の状況と新規な設備の使用経過について説明する。

4・1 生産実績

品種ごとの月間生産量と硬質ぶりき原板の実績最高通板速度の推移をFig. 8に示す。全品種とも順調に生産量が伸びており、また硬質ぶりき原板の通板速度も操業チャンスごとに上昇し、稼動開始から3箇月目に、仕様最高速度での安定した操業を達成した。

4・2 新規な設備の使用経過

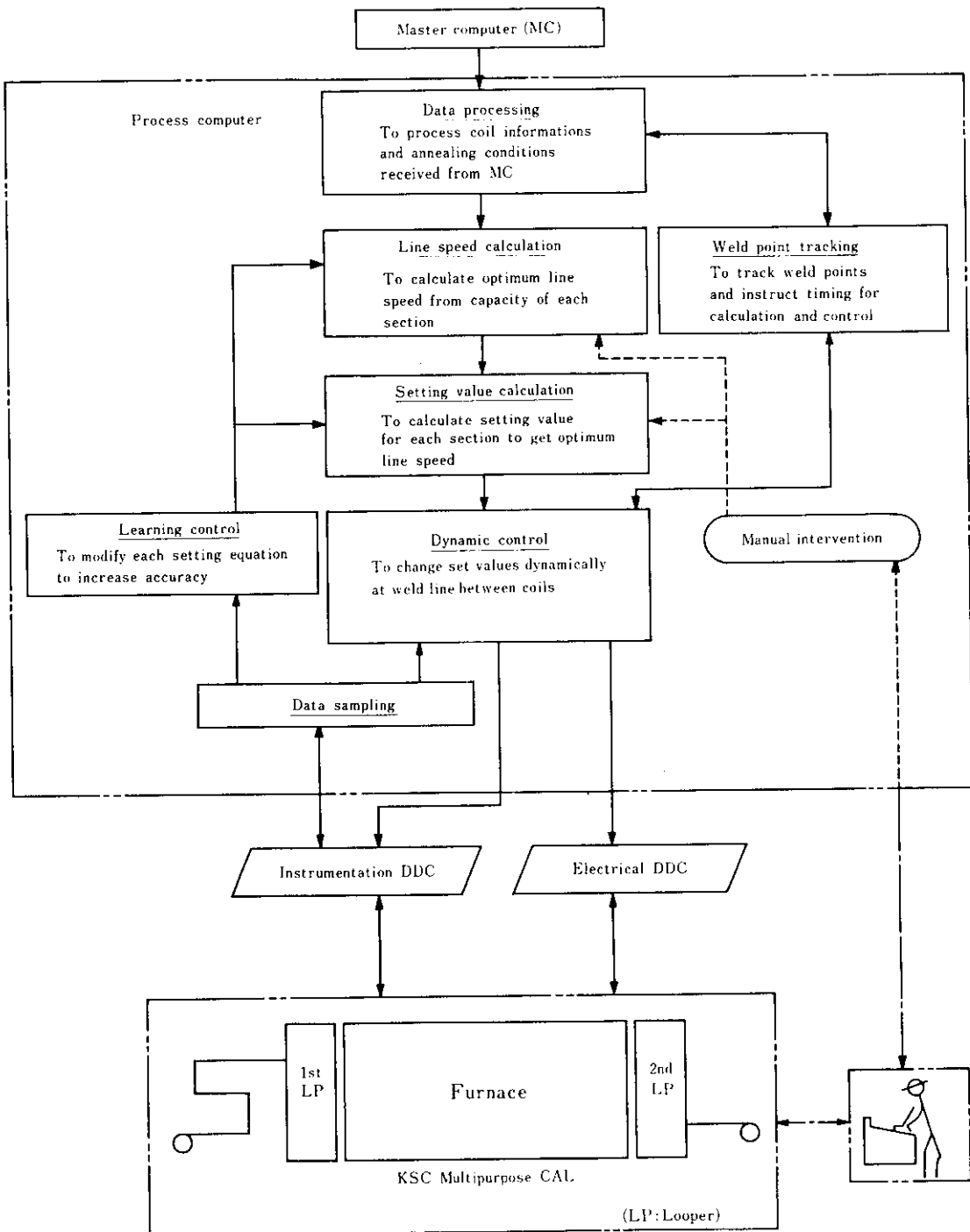


Fig. 7 Schematic flow diagram for dynamic control of strip temperature

KM-CALで採用した新規な設備は、試運転と3箇月間の営業運転を経て、性能の大略が確認されたので、主な設備について以下に使用経過を説

明する。

(1) 炉部全般

第1冷却帯と第2冷却帯の機能切換えが成功し

Table 4 Research subjects on rolls in multipurpose CAL

Type	Factor	Related subjects to be presented	
		$t \leq 0.4$	$t > 0.4$
Hearth rolls	Diameter		①Guttering ②Fluting ③Degradation in mechanical properties of strip
	Profile	Mis-tracking	Heat buckling
	Surface quality	Mis-tracking	Pick-up
	Material quality		Pick-up
Bridle rolls	Material quality	①Slip ②Roll abrasion	
Other rolls	Diameter		Fluting
	Profile	Mis-tracking	
	Surface quality	Mis-tracking	

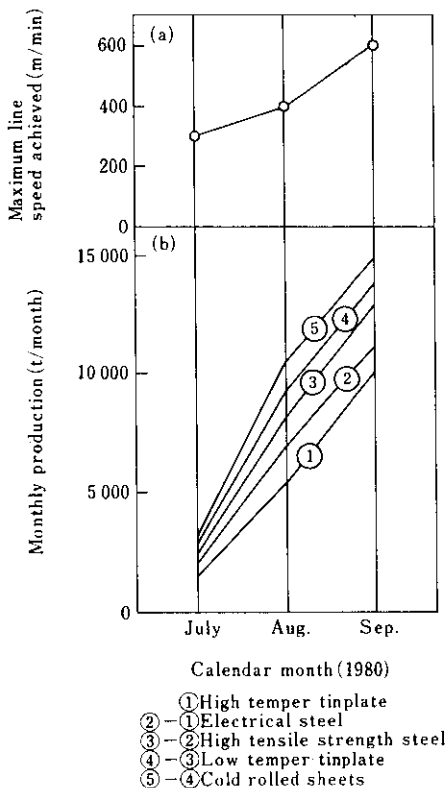
 t : Strip thickness in mm

Fig. 8 Start-up performance of (a) maximum line speed for high temper tinplate and (b) monthly production of each type of steels

て、3種類のヒートサイクルが一つの連続焼鈍炉で実現した。また、試運転段階では調整に一時

手間取ったVVVFが、その後は前述した長所を十分に発揮したので、硬質ぶりき原板の高速通板が比較的容易に達成された。

(2) 第1冷却帯

ガスジェットに関して、多くの新規な技術を導入した第1冷却帯は、特に冷却能力と冷却したあとの鋼板形状に関して、満足な結果を得た。これにより、冷却装置の配置、設備の容量、ガスジェットノズルの形状などに対して、設計の基準が確立された。

(3) 炉内張力自動制御装置

炉内張力制御の精度が向上して、板厚0.220mmの硬質ぶりき原板が、仕様最高速度の600m/minで処理できた。近日中には、板厚0.150mmまで通板可能になるであろう。一方、軟質ぶりき原板は、第1冷却帯の鋼板張力を他帯より低くすることによって、板厚0.200mmの鋼板が40°C/sの冷却速度で冷却可能となり、容易に製造できるようになった。これらは炉内における鋼板張力の変動量を、Fig. 9に示すように起動時を除いて±5%以内に制御できた結果である。

(4) 鋼板温度自動制御装置

第3冷却帯を除く各帯に設置した輻射型温度計は、処理する鋼板ごとに正しい放射率が自動的に設定されるシステムによって、各品種に精度の高いヒートサイクルを付与した。

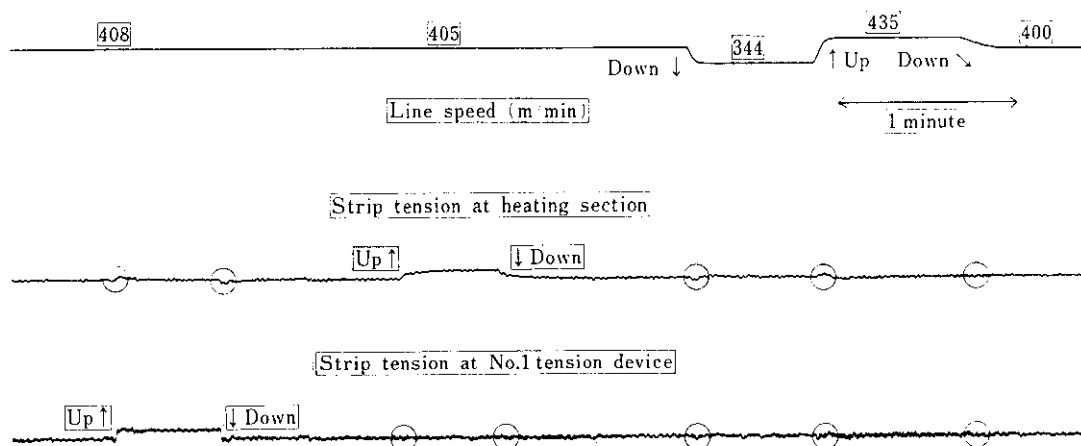


Fig. 9 Fluctuation of strip tension when strip tension or line speed changed

鋼板温度の自動制御システムは、ダイナミックコントロールの一部を除いて、計画どおり順調に稼動している。

5. KM-CALによる製品の品質特性

5.1 製造条件

KM-CALで製造する製品について、要求される品質を得るための最適製造条件を以下に示す。

(1) 鋼板の化学成分

幾つかの品種の代表成分を Table 5 に示す。軟質ぶりき原板は硬質ぶりき原板と、一般冷延鋼板は従来パッチ焼鈍していた鋼板と、ほぼ同じ素材を用いている。高張力冷延鋼板については、CHLY

の化学成分を表中に示したが、他鋼種の製造も可能である。

(2) 熱延条件

硬質ぶりき原板、電磁鋼板とCHLYの熱延条件は、パッチ焼鈍材と同様である。軟質ぶりき原板と一般冷延鋼板の場合、熱延仕上げ温度はパッチ焼鈍材と同一にし、巻取り温度は高温度にして、炭化物粗大化による軟質化を図っている。

(3) ヒートサイクル

各品種の代表的なヒートサイクルを、Fig. 10に示す。硬質ぶりき原板のヒートサイクルは、従来の過時効処理を有しないCALと同じである。電磁鋼板は均熱温度が高い。軟質ぶりき原板と一般冷延鋼板のヒートサイクルは、急速冷却と過時効処理を含んでいる。CHLYのヒートサイクルは、

Table 5 Typical chemical composition of steels

Steel type	Chemical composition (%)								Aimed quality
	C	Si	Mn	P	S	N	Al sol	Others	
High temper tinplate	0.04 ~0.06	≤0.03	0.25 ~0.35	≤0.020	≤0.020	≤0.004	0.04 ~0.06	—	T4-CA
Low temper tinplate	0.02 ~0.05	≤0.03	0.25 ~0.35	≤0.020	≤0.020	≤0.004	0.04 ~0.06	—	T3-CA
Dual phase steel	0.03 ~0.05	≤0.05	1.2 ~1.3	≤0.020	≤0.020	≤0.004	0.02 ~0.06	[Cr] 0.45 ~0.55	40 kgf/mm ² class (CHLY40)
	0.08 ~0.10	1.00 ~1.20	1.6 ~1.8	≤0.025	≤0.020	—	0.02 ~0.08	[Nb] 0.030 ~0.050	80 kgf/mm ² class (CHLY80)
Cold rolled sheets	0.03 ~0.05	≤0.03	0.30 ~0.35	≤0.020	≤0.020	≤0.004	0.02 ~0.04	—	JIS SPCC class

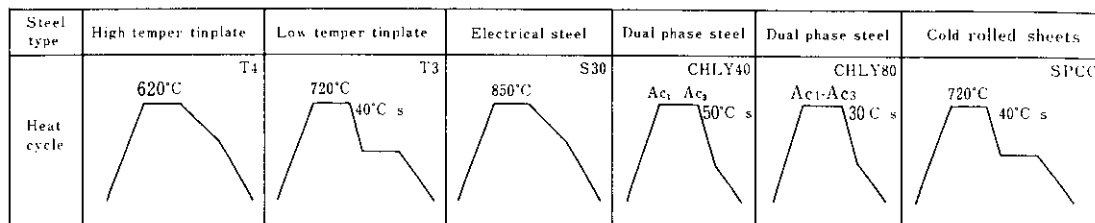


Fig. 10 Typical heat cycles for each type of steels

均熱したあとの急速冷却で焼鈍を終了することが、大きな特徴である。

5・2 製品の品質特性

(1) 硬質ぶりき原板

KM-CALで処理した鋼板の硬度をFig.11に示す。既設の硬質ぶりき原板を専用に処理するCALと同様に、要求品質を十分に満足している。また、すずめっき特性も同様に良好であった。

(2) 軟質ぶりき原板

Table 5に示した素材を用いて製造した、KM-CAL材の硬度をFig. 12に示す。硬度のバラツキが小さく、均質な製品が製造できる。また、めっき特性は、硬質ぶりき原板と同一レベルであり、耐食性の点でバッチ焼鈍材よりも優れている。

(3) 電磁鋼板

当社の電磁鋼板は、阪神製造所荻合工場で大部分を製造しているが、生産性が高いKM-CALの稼動にともなって、その一部を千葉製鉄所に移管

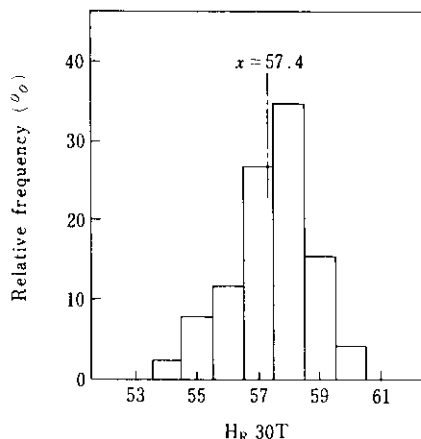


Fig. 12 Hardness distribution of low temper tinplate (T3-CA)

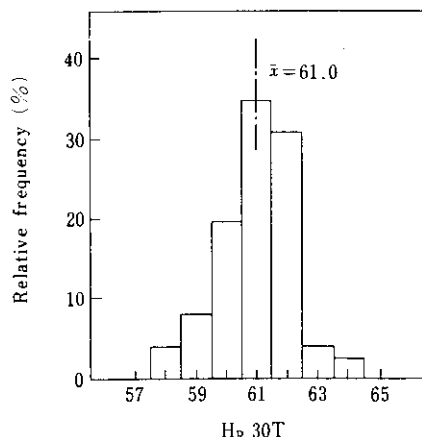


Fig. 11 Hardness distribution of high temper tinplate (T4-CA)

し、生産コストの削減に効果を上げた。主な対象品種は、JIS S60～S30相当のフルプロセス電磁鋼板と、AISI M36相当までのセミプロセス電磁鋼板である。

(4) CHLY

KM-CALによって製造したCHLYの機械的性質をFig.13とTable 6に示す。素材はTable 5に示した化学成分である。40kgf/mm²級鋼(Fig.13参照)は降伏点が19.6kgf/mm²と低く、降伏比の目標であるYR≤45%を達成している。また、80kgf/mm²級鋼(Table 6参照)でも、降伏比48.4%、伸び22%であり、良好な加工性を有している。KM-CALで急速冷却したあとの鋼板形状は、調質圧延を行う一般冷延鋼板と同等であり、全く形状矯正の必要がない。したがって、連続焼鈍直後に降伏伸び現象がない当社のCHLYは、調質圧延工程を省略できる。

(5) 一般冷延鋼板

KM-CALによって製造したJIS SPCCクラスの鋼板の機械的性質を、バッチ焼鈍材と比較して

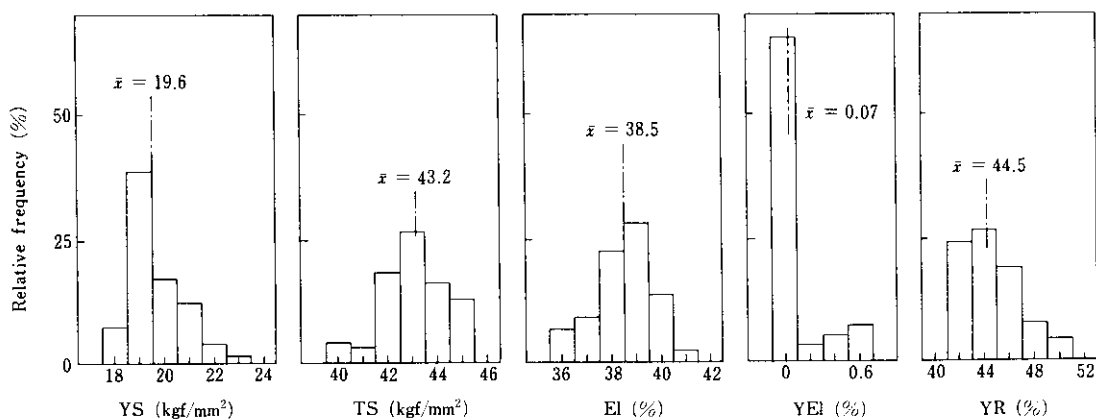


Fig. 13 Distribution of mechanical properties of dual phase steel (CHLY40 0.7mmt)

Table 7に示す。KM-CAL材はバッチ焼鈍材よりも r 値が優れており、今までに報告された連続焼鈍材^{7,8)}と同様の結果である。

当社で開発した^{9,10)}連続焼鈍用の素材を用いて、KM-CALにより製造した超深絞り用冷延鋼板の化学成分と機械的性質をTable 8に示す。機械的性質は、従来のオープンコイル焼鈍による脱炭脱空鋼板と同等以上であり、将来性が注目される。

Table 6 Mechanical properties of dual phase steel

Brand	YS (kgf/mm ²)	TS (kgf/mm ²)	El (%)	YEl (%)	YR (%)
CHLY80	42.0	86.7	22.1	0	48.4
	(1.4mmt)				

Table 7 Mechanical properties of JIS SPCC class cold rolled sheets

	YP (kgf/mm ²)	TS (kgf/mm ²)	El (%)	$\bar{r}$ value	Type of material
KM-CAL	21.4	32.3	44.0	1.69	Continuously cast slab
Batch annealed	21.9	33.2	44.5	1.33	Capped steel

Table 8 Chemical composition and mechanical properties of extra deep drawing quality cold rolled sheets

Chemical composition (%)	C/0.005	Si/0.01	Mn/0.12	Al/0.033	Nb/0.04
Mechanical properties	YP (kgf/mm ²)	TS (kgf/mm ²)	El (%)	$\bar{r}$ value	Annealing
	15.3	29.4	51.2	2.2	860°C×1min
	(0.8mmt)				

6. 結 言

当社は、KM-CALの操業をわずか3箇月の短期間で軌道に乗せ、以下に示すように、操業、品質の両面で、計画したとおりの成果を上げることができた。

- (1) 硬質ぶりき原板は、ハースロールの改良と安定した炉内張力制御によって、600m/minの高速操業が達成された。
- (2) 軟質ぶりき原板は、ガスジェット装置の改良と、急速冷却している鋼板の低張力操業によって、板厚0.20mmまでのT3が製造され、良好な品質特性を得た。
- (3) 堅型炉において、電磁鋼板の高温操業が可能になった。
- (4) 二相組織高張力冷延鋼板CHLYは、均熱温度と冷却速度を高精度に制御することによって、優れた機械的性質を示した。また、鋼板形状は、急速冷却中の鋼板幅方向の均一冷却と低張力操業によって、バッチ焼鈍材で調質圧延を行う鋼板と同等であった。
- (5) JIS SPCCクラスの一般冷延鋼板は、バッチ焼鈍材と同等以上の機械的性質を示した。また超深絞り用冷延鋼板は、素材に極低炭素鋼を用いて良好な成形性を得た。

以上に説明したように、当社は、独自に開発したKM-CALの建設と操業を通じて、新しい連続焼鈍技術を確立した。今後は、この技術を基盤にして、それぞれの製鉄所に合致した、さらには開

発中の新製品も処理しうる新しい多目的 CAL の建設を計画している。

参 考 文 献

- 1) 戸田ほか：Production of drawing-quality steel sheet by continuous annealing and processing, Sheet Metal industries, 51 (1974) 9, 586~603
- 2) 松本：No.2 continuous annealing line for drawing quality cold strip at NIPPON KOKAN, FUKUYAMA WORKS, Steel Times, 205 (1977) 1, 63~69
- 3) How the Japanese have put continuous annealing of sheet steel on the industrial map, Iron and Steel International, 53 (1980) 3, 149~163
- 4) 橋口ほか：Effects of alloying elements and cooling rate after annealing on mechanical properties of dual phase sheet steel, Kawasaki Steel Technical Report (in English), (Sept. 1980) No.1, 74
- 5) 下山ほか：特公昭54-7244 (川崎製鉄㈱)
- 6) 君嶋ほか：特公昭55-14850 (川崎製鉄㈱)
- 7) 戸田ほか：Metallurgical investigations on continuous annealing of low-carbon capped-steel sheets, Trans. ISIJ, 15 (1975) 6, 305~313
- 8) 久保寺ほか：Development of a continuous annealing process for the drawing quality steel strip, Trans. ISIJ, 17 (1977) 11, 663~670
- 9) 橋本ほか：Nb 添加極低炭素アルミキルド鋼による超深絞り用冷延鋼板の開発, 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S1246
- 10) 入江ほか：冷延高張力鋼板の成形性を支配する冶金学的要因, 鉄と鋼, 66 (1980) 8, A205