

技術報告

UDC 621.785.3-932 : 669.14.018.262-122.2

冷延鋼板用連続焼鈍設備と操業*

戸田健三**・原田利夫**・安藤成海**・尾崎康二**

勝谷良碩**・西村輝彦**・白田松男**

On Equipments and Operation of Continuous Annealing and Processing Line "CAPL" for Manufacturing Cold Rolled Steel Sheets

Kenzo TODA, Toshio HARADA, Narumi ANDO, Koji OZAKI
Ryoseki KATSUTANI, Teruhiko NISHIMURA, and Matsuo USUDA

Synopsis:

Cold rolled steel strips with deep drawing quality are manufactured economically by the CAPL (Continuous Annealing and Processing Line) after cold rolling. CAPL combines 5 conventional processes of electrolytic cleaning, annealing, cooling, temper rolling and recoiling with inspection into one line. Materials most suited for the purpose are low manganese steels ($Mn \leq 0.25\%$) with K values of 0-0.15, which are coiled at 670°C or above after hot rolling. The K value is defined as follows:

$$(for\ capped\ and\ rimmed\ steels) \quad K = Mn(\%) - 55/32 \cdot S(\%) - 55/16 \cdot O(\%)$$

$$(for\ killed\ steels) \quad K = Mn(\%) - 55/32 \cdot S(\%)$$

These steels are cold rolled to the final thickness and then passed through the CAPL. The heat cycle of the CAPL furnace section consists of one-minute annealing, cooling to over-aging temperature at the rate of 5° to 30°C per second and over-aging at 350° to 450°C for a few minutes. The radius of the over-aging chamber hearth roll has to satisfy the following relation;

$$d/R = 2.02 \times 10^{-3} - 1.05 \times 10^{-3} \log(t+1)$$

where d : strip thickness (mm), R : radius of hearth roll (mm), t : time during which bending stress occurs (min). The built-in temper mill of CAPL has a new type of work roll changing device which enables the replacement of work rolls in 2 min without the strip having to be cut. With other new devices such as direct strip temperature detector, or strip steering device, it has become possible to combine the above 5 processes organically into one single line to reduce man-power, investment cost, energy consumption and yield loss drastically.

1. 緒 言

自動車車体などのプレス成形加工に供せられる深絞り用冷延鋼板の従来の製造工程では、冷間圧延後における電解清浄、バッチ式焼鈍、コイル冷却、調質圧延、検査精整と独立した5工程を要し、多数の要員、長い製造所要日数、多量の間在庫、複雑多岐なコイルハンドリングなどの合理化されるべき多くの問題を含んでいた¹⁾。

このうち特に非能率的なバッチ式焼鈍を連続焼鈍に置き換える試みはこれまで数多くなされてきたが、急速加熱および急速冷却という連続焼鈍の条件下では十分な深絞り性を持った冷延鋼板を得ることはできず、あまり加工性を必要としないブリキ²⁾ および亜鉛鉄板³⁾ の製造に

適用されるにすぎなかつた。もし、深絞り用冷延鋼板が連続焼鈍で製造可能となれば、バッチ焼鈍で数日を要していた焼鈍時間がわずか数 min に短縮され、かつ冷延工場のかんりの部分を占めていた焼鈍工程のスペースが大幅に縮小されることなどの利点が得られるが、さらに前後工程である電解清浄、コイル冷却、調質圧延、検査精整工程が連続焼鈍に連結しえた場合には、要員削減、中間仕掛量およびコイルハンドリング回数的大幅減少など画期的な合理化がはかれる。しかし、従来、バッチ焼鈍材に匹敵するような優れた材質の冷延鋼板を工業的規模の連続焼鈍により製造することはもとより、前後工程を連結して1ラインに統合することは、種々の技術的困難さのため実現しえなかつた。

* 昭和48年10月本会講演大会にて発表 昭和49年12月27日受付 (Received Dec. 27, 1974)

** 新日本製鉄(株)君津製鉄所 (Kimitsu Works, Nippon Steel Corp., 1 Kimitsu, Kimitsu 299-11)

最近、深絞り用冷延鋼板を連続焼鈍で製造する新しい方法と、さらにこれに前後工程を結合する技術が開発され、連続焼鈍処理設備 (Continuous Annealing and Processing Line, 略して CAPL) が日本において工業的規模で稼動を開始した⁴⁾。この CAPL は新日本製鉄 (株) 君津製鉄所において昭和 47 年 10 月稼動を開始して以来、きわめて順調な生産を続けており、その製品は各方面の需要家で好評のうちに使用されている。以下 CAPL の設備、操業実績、および製品材質について報告する。

2. CAPL 実現の技術的背景

CAPL 実現のための技術的ポイントは、深絞り用冷延鋼板の製造を連続焼鈍化するための新しい素材の開発と、機能および性質の異なる独立した前述の 5 工程を 1 元化するための設備の開発にあった。

2.1 適正素材

深絞り用冷延鋼板を連続焼鈍で得るための素材条件としては、冷間圧延後極く短時間の焼鈍で完全に再結晶し、かつ十分な粒成長を生ずることが要求される。この目的のためには真空脱ガス後 Ti を添加することもひとつの方法であるが、製造コストの増加に伴い工業的に好ましくない。本報では従来工程より経済的な製造プロセスを開発するため、通常のリムドまたはキャップド鋼およびアルミキルド鋼を対象にして検討を進めた。

従来のブリキ用原板⁵⁾ およびバッチ焼鈍で製造されている冷延鋼板⁶⁾ の成分例を CAPL 用素材と比較して Table 1 に示す。

短時間焼鈍で十分な再結晶と粒成長をおこなわしめるため、CAPL 素材では Mn, S, O の間の相互関係が重要な要因になるとして次式で与えられる指標 “K” を導入し、この値を 0~0.15、さらに Mn を 0.25 以下となるように成分調整をおこなった⁷⁾。

(リムド、キャップド鋼)

$$K = \text{Mn}(\%) - \frac{55}{16} \cdot \text{O}(\%) - \frac{55}{32} \cdot \text{S}(\%) \dots\dots (1)$$

(キルド鋼)

$$K = \text{Mn}(\%) - \frac{55}{32} \cdot \text{S}(\%) \dots\dots (2)$$

この鋼を用い熱間圧延時 670°C 以上の高温で捲取り、酸洗を経て所定の板厚に冷間圧延されたストリップを素材としている。鋼中の Mn, S, O は熱間圧延工程で高温に捲取られた後の冷却過程で適正分布をもった MnS, MnO に変化すると同時に再結晶に有害な固溶 S, O が除去され、地鉄の清浄化がもたらされるため、次の急速焼鈍で十分な結晶粒成長が生ずるものと考えられる⁸⁾。同時に優れたランクフォード値が得られているが、この機構については今後詳細な研究が必要であろう。Table 1 に示したブリキ原板および従来のバッチ焼鈍系の冷延鋼板においては上記成分調整、熱延条件制御が適用されていないため、製鋼段階での酸素量の測定および管理もほとんどおこなわれておらず、Mn, S などの含有量も比較的高く、連続焼鈍によつて深絞り用冷延鋼板を製造することは不可能と考えられていた。

2.2 焼鈍条件

焼鈍後の急速冷却時に過飽和に固溶する C 量低減の方法として過時効処理が一般に知られているが、深絞り用冷延鋼板を得るために必要な過時効処理時間は従来の実験報告⁹⁾では 1 hr 程度であるため、工業化する場合には過時効温度でいつたんコイルに捲取り、コイル状で均熱し過時効処理をおこなうことが提唱されていた。しかし、過時効温度は通常 300°C 以上であり、コイルは大気中では酸化するため、この方式でコイルングおよびそれに続く過時効処理は非酸化性雰囲気中でおこなうことが前提となる。これは設備技術的に困難である上、いつたんコイルに捲取ることの後続工程との直結が不可能となることから従来のバッチ式焼鈍方式と比較しその工業的メリットは期待しがたい¹⁰⁾。

CAPL では縦型炉を採用し、過時効帯で適正な曲率半径をもつハースロール (hearth roll) による繰返し曲げをストリップに与えており、この曲げ応力と先に述べた K 値管理、低 Mn 化、熱延高温捲取りなどの効果により、過時効処理時間を 5 min 以内で完了することを可能ならしめていると思われる⁸⁾。

焼鈍温度から過時効温度までの 1 次冷却速度は歪時効特性に顕著な影響を与え、実験室的検討⁸⁾によれば、この冷却速度が 5~35°C/sec の場合に最も好ましい歪時

Table 1. Chemical composition of various steel sheets.

		C	Mn	Si	P	S	Remarks
Black plate		0.09	0.32	-	0.009	0.039	
Cold-rolled sheets with deep-drawing quality	Conventional	0.049	0.35	0.001	0.12	0.020	
	CAPL	0.07	0.22	0.01	0.004	0.011	[O]: 0.051 K value: 0.012

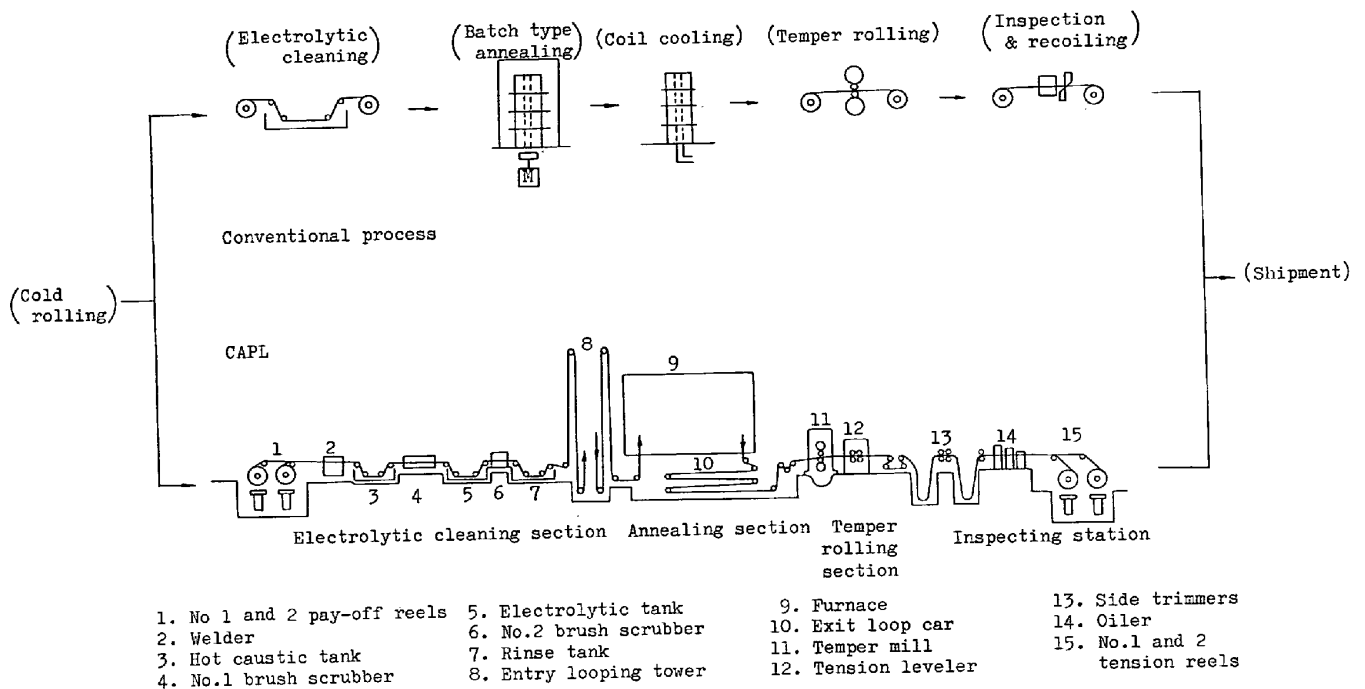


Fig. 1. Layout of CAPL compared with the conventional process.
Conventional five processes are integrated into one single line.

効特性が得られた。

以上 2・1 および 2・2 に関する冶金学的検討の結果については別報⁸⁾で報告した。

2.3 設備技術的条件

従来の深絞り用冷延鋼板の製造工程においては Fig. 1 に示すように冷間圧延後下記機構を持つ 5 つの独立した工程を要していた¹⁾。

(1) 電解清浄工程

冷間圧延油を洗浄除去する。

(2) バッチ焼鈍工程

加熱再結晶させ結晶粒度を調整し、集合組織を改善する。

(3) コイル冷却工程

室温まで防錆雰囲気中で冷却する。

(4) 調質圧延工程

軽度の圧延により機械的性質、形状、表面状態を調整する。

(5) 検査精整工程

製品の検査および規定単重コイルへの分割をおこなう。

CAPL ではこのうち (2) バッチ焼鈍、(3) のコイル冷却の工程を連続ライン化すると同時に調質圧延機での超迅速ワークロール組替装置の開発などに成功することにより上記 (1)～(5) までの 5 工程を連続 1 ラインに統合することが可能となった。なおこの場合バッチ焼

鈍を連続焼鈍化するのみでは工業的メリットに限界があり、前後工程を結合することにより省力、省エネルギーなどに多大の成果をあげたことは前述の通りである¹⁰⁾。従来のブリキ原板用連続焼鈍においては上記 5 工程のうち、(1)～(3) までの連結はなされていたが²⁾、調質圧延機以後までの連結はロール組替装置の開発などが技術的に困難であったため実現していなかった。CAPL のロール組替装置では後述するように、ストリップを切断することなくかつ 2 min 程度の短時間でワークロールの組替えが可能であり、これにより初めて連続焼鈍の結合を可能ならしめた。

3. CAPL の設備

Table 2 に新日本製鉄君津製鉄所 No. 1 CAPL の主仕様を示す。板厚、板幅は冷延鋼板の主用途をカバーする範囲に選択された。なお、炉能力 60 t/h¹¹⁾ は従来のバッチ焼鈍炉の約 30 基分に相当する。

以下に CAPL の各設備に関し概説する。

3.1 前面部

この部分は冷間圧延後のコイルを次々に継ぎ合わせ、炉部へ連続したストリップとして一定速度で送り込むと同時に、冷間圧延油を除去する機能を持つ。Fig. 1 に示すごとく前面部はペイオフリール (pay-off reels)、溶接機、電解清浄装置、入側ルーパー (looper) から構成される。Photo. 1 に前面部外観を示す。

Table 2. Main specifications of No. 1 CAPL at Kimitsu Works.

Production capacity	34,000 tons/month
Strip thickness	0.4 - 1.2 mm
Strip width	750 - 1,240 mm
Line speed	Max. 200 mpm
Furnace capacity	60 tons/hr
Coil weight	Max. 45 tons
Line overall length	291 m

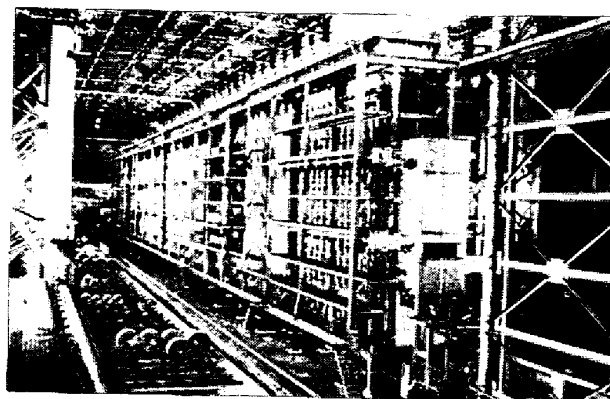


Photo. 2. View of furnace section.

コイルの切替を最短時間でおこなうため2セットのペイオフリールが交互に使用され、また溶接機は短時間で、しかも炉内のハースロール (hearth roll) による繰返し曲げに対して破断しないだけの十分な溶接強度を持たせるため、450 kVA のマッシュシームウェルダ (mash seam welder) が設備された。コイルの切替に要する時間は約 40 sec である。

電解清浄部はホットコースティックタンク (hot caustic tank) による化学的洗浄部、ブラシロール (blush roll) による機械的洗浄部と電気分解による電気化学的洗浄部より構成される。洗浄剤はオルソ珪酸ソーダを使用し、電解電源は 120 kVA の大規模を持つ。なお、この部分は従来の独立の電解清浄ラインと大差ないが、CAPL 実操業の結果では炉内での雰囲気ガスによる清浄効果はかなりあるため、従来工程の場合ほど完璧な電解清浄は必要ないことが確認されており、今後新設する CAPL においては連続化のメリットとしてこの部分を簡略化しうる。

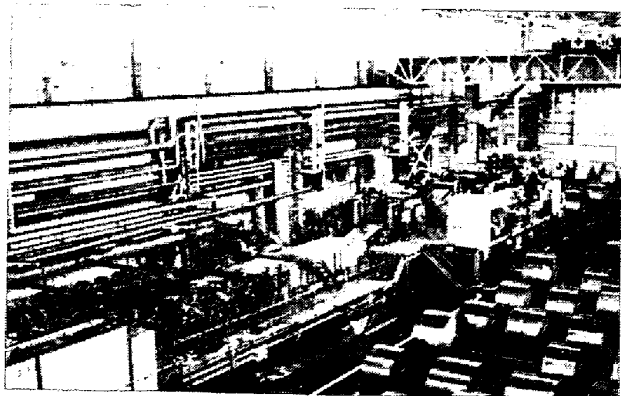


Photo. 1. Entry section consists of pay-off reels, welder and electrolytic cleaning section.

前面ルーパはストランド (strand) 方式とし、16 ストランド、最大 300 m のストリップを貯えることにより溶接時の手間取り時間を吸収し、炉部の速度を一定に保つことを可能とする。なお、前面部は従来のブリキ原板用連続焼鈍ラインの前面部と基本的には大差ない。

3.2 炉部

炉部は Photo. 2 にみるように竪型であり、Fig. 2 に示すごとく5ゾーンから構成され、全長 137 m である。

キャップド鋼の焼鈍サイクルの一例を Fig. 2 下部に示すが、 $700^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ min}$ の焼鈍と $350^{\circ}\text{C} \sim 450^{\circ}\text{C} \times 5 \text{ min}$ の過時効からなり、従来のブリキ原板用連続焼鈍の焼鈍サイクル¹¹⁾と比較し過時効処理を持つ点に特徴がある。キルド鋼の場合はランクフォード値が特に重視されるため焼鈍温度は A_3 変態点以下の比較的高い温度が採用される。

炉内雰囲気ガスは H_2 と N_2 の混合ガスを使用し、定常時 2% の H_2 で操業される。

加熱帯は最高ストリップ温度 900°C までの加熱能力を持ち、熱源はコークス炉ガス (coke oven gas) でラジアントチューブ (radiant tube) による間接加熱方式を用いている。加熱能力は最大入熱量 $1560 \times 10^4 \text{ kcal/hr}$ で6ゾーンの制御帯に分割され、最適加熱パターンが選択できるようになっている。

均熱帯はライン休止後の炉昇温およびストリップ保温のため 3000 kW の電熱ヒーターを装備している。

冷延鋼板には厳しい材質特性が要求されるため焼鈍サイクルを厳密に管理する必要があるため、そのため炉内各部のストリップ温度を直接検出する装置の開発を要した。従来輻射高温計により炉内ストリップ温度を測定する試みがブリキ原板用連続焼鈍炉などでも行われたが¹²⁾、種々の外乱を受けるため精度が低く実用化されるに至らなかった。このため従来の連続焼鈍では炉温を制御するこ

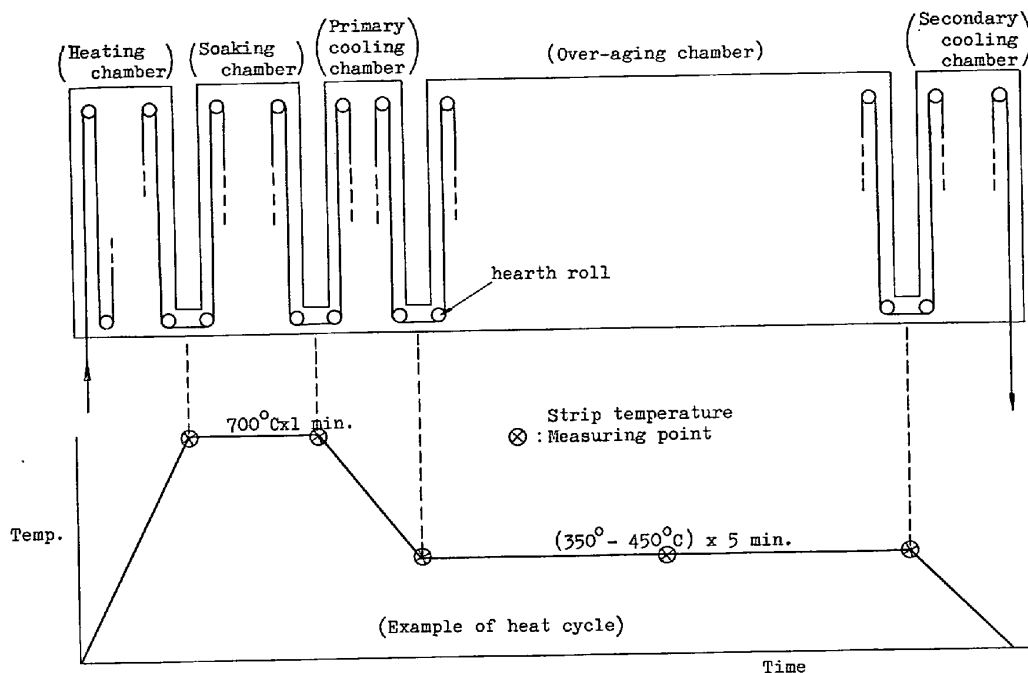


Fig. 2. The furnace section and typical heat cycle.

とにより間接的にストリップの焼鈍サイクルを制御する方法しかとれなかった。CAPL では特殊な外乱防止装置を開発しストリップの真温を検出することに成功した結果¹³⁾、ストリップ温度に基づく焼鈍サイクルの直接制御を実現し $\pm 5^{\circ}\text{C}$ の精度で制御している。この板温計は、Fig. 2 に示すように加熱帯出口、均熱帯出口、1次冷却帯出口、過時効帯中央および出口の合計5カ所に設置されている。

1次冷却帯は焼鈍後過時効温度までの冷却をおこなう帯域であるが、製品の時効特性から $5^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ の冷却速度を要し、さらに冷却中ストリップ形状が劣化せず、かつ構造上の簡潔さが必要なことから従来一般に用いられている水冷ジャケット (jacket) を用いたガスジェットクーラー (gas jet cooler) 方式を採用している。

次の過時効帯は均熱帯と同様、ストリップ温度を保持するだけでよく、4500 kW の電熱ヒーターを装備してある。

過時効帯におけるハースロール径は、CAPL 技術成立のための基本条件のひとつである。ブリキ用連続焼鈍炉を2回通板することにより、それぞれ焼鈍および過時効処理をおこなった実験の結果は、予想に反し過時効処理により降伏強度が増加し全伸びが低下することが判明した。この原因はブリキ用連続焼鈍に用いられている直径の比較的小さなハースロールでストリップが繰り返し曲げを受けることによる応力時効に起因しているものと考えられる。今回の実験例では連続焼鈍のハースロール径は $356\text{ mm}\phi$ と $559\text{ mm}\phi$ の2種で、これは今回テス

トした板厚 0.8 mm の冷延鋼板を過時効処理するには小さすぎるものと思われる。これを立証するため本報の素材を水平型連続焼鈍炉で通板して同様の実験をおこなったところ、予想通りの過時効処理効果を示した。この事例に基づき実験室的に応力時効挙動を詳細に検討した結果、ストリップ表面に付加される応力が $13\text{ kg}/\text{mm}^2$ 以下の場合正常な過時効効果の現われることが見出された⁸⁾。これを実炉の設計に応用するには、さらに応力時効時間を考慮しなければならない。すなわちストリップがハースロールに接触している時間が長い程、応力時効による全伸び低下が著しくなるのでこの応力時効時間の変化に応じて臨界ハースロール径は変動する。この変動は応力時効時間の対数に依存し、各種連続焼鈍炉あるいは実験炉における実験結果から次式が得られた。

$$d/R \leq 2.02 \times 10^{-3} - 1.05 \times 10^{-3} \log(t+1) \quad \cdots (3)$$

d : 板厚 (mm), R : 曲率半径 (mm)

t : 応力を受ける時間 (min)

君津 No. 1 CAPL における計算例を示すと、最大仕様板厚として $d=1.2\text{ mm}$ 、応力を受ける時間 $t=0.84\text{ min}$ であるので (3) 式より $R \geq 690\text{ mm}$ を得る。

なお、若干の応力付加は逆に固溶 C, N の析出を促進させ過時効処理を迅速化するものと推定されるので⁸⁾、連続焼鈍炉の型式としては水平型よりも縦型の方が好ましいものと考えられる。

次の2次冷却帯は1次冷却帯同様水冷ジェットクーラーを使用しているが、特に後段は冷却効率を上げるため冷凍機を用いた雰囲気ガス冷却を行いストリップを 40°C

まで冷却せしめ、後続の調質圧延との連結を可能ならしめている。

炉内ストリップの全長はほぼ 1000 m を越すが、これを蛇行させることなく通板せしめるため炉内 4 カ所にステアリング (steering) 装置を設置した。すなわち、各ゾーン間のスロート部でストリップ両端の位置を TV カメラにより検出し、そのビデオ信号により各ゾーンの最終ハースロールの位置を修正することにより、炉内ストリップのセンタリング (centering) をおこなっている。炉内にはステアリング装置を設置した例は 2~3 あるが、当法は検出端およびステアリングロールの位置に特徴があり、十分な効果を発揮している。

炉内のストリップはゾーンごとに異なった温度に加熱または冷却されるため、各ゾーンで微妙に伸縮しストリップ張力に変動をもたらすが、これを防ぐため炉内張力は各ゾーンごとに独立に調整可能な制御系となっており、さらに各ゾーンにテンションメーターを設置して正確なストリップ張力を検出している。これにより、炉内ストリップは炉内各所で適正張力分布を実現し過大張力によるヒートバックル、過小張力によるウォークを防止している。

3.3 後面部

この部分は、連続焼鈍後デッドソフト (dead soft) 状態のストリップに軽度の調質圧延をおこなって機械的性質を整えた後、冷延鋼板コイル製品の最終仕上げとして幅切り、検査、防錆油塗布などをおこなった後規定重量に捲取る機能を持ち、Fig. 1 に示すように調質圧延機、サイドトリマー (side trimmer)、塗油機、捲取りロールなどが設置されている。Photo. 3 は後面部から見た CAPL を示す。

炉出側のルーパーは建屋スペースの有効活用の点から 4 ストランド水平ループカー (loop car) 方式とし、炉部地下に設置した。ストリップ貯蔵能力は最大 500 m あり、後続の調質圧延機のワークロール (work roll) 組

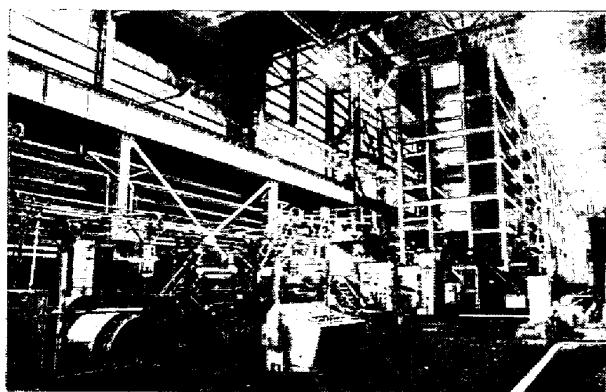


Photo. 3. Delivery section consists of temper mill, side trimmers, inspecting station and recoilers.

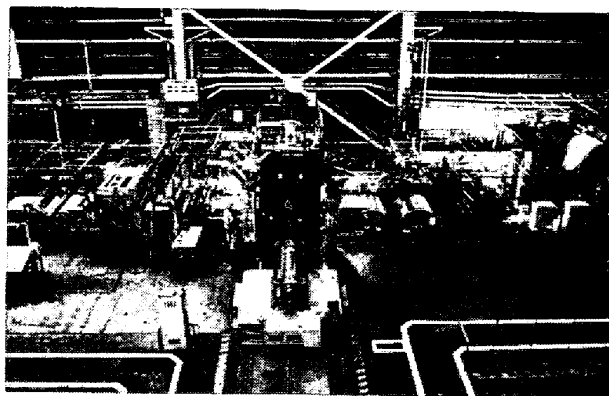


Photo. 4. View of temper mill with work roll changing rig.

替、サイドトリマーの幅セット替え、捲取りロールの切替えなどに要する後面部の停止時間中も炉部を一定速度で通板することを可能ならしめている。

Photo. 4 に調質圧延機を示すが、油圧圧下システムを持つ 4 重シングルスタンド (single stand) で、ワークロール径 380 mmφ、バックアップロール (back up roll) 径 890 mmφ、ロール胴長 1500 mm と炉部能力にバランスした低速小型ミルである。

調質圧延機を連続焼鈍と結合するに当っては、ストリ

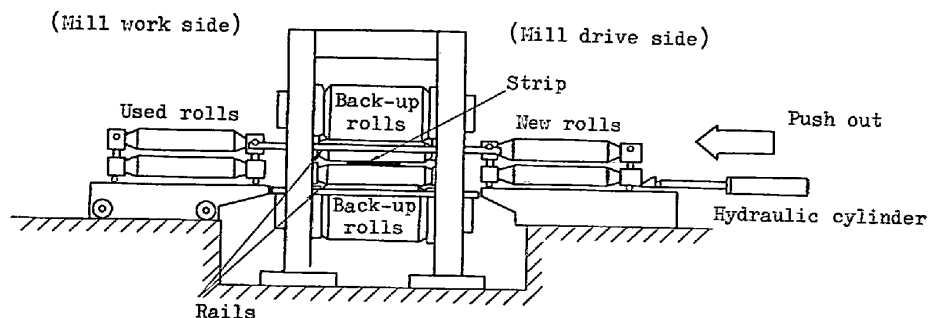


Fig. 3. Push-out type work roll changing device enables the replacement of work rolls in 2 minutes without having to cut the strip.

Table 3. Comparison of investment costs of conventional process.

Process	Main equipment (70,000 tons/month)	Investment cost %									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Conventional	Electrolytic cleaning line x 1										
	Batch annealing furnace (90t/ch.)x50										
	Temper mill x 1										
	Recoiling line x 4 Crane x 13										
CAPL	CAPL x 2										
	Crane x 4										

ップを切断することなく、しかもきわめて短時間でワークロールを組み替えることが必須条件となるため、まったく新しいタイプのワークロール組替装置の開発が要求されたが、Fig. 3 に示すようなプッシュアウト (push out) 方式の組替装置の開発によりこれらの条件は完全に満足された。すなわち、駆動側に準備された2本の新ロールを油圧によりミルに押し込み、同時にこれによつて使用済ロールを作業側に押し出すものであり、装入と押し出しを同時におこなうため、きわめて短時間でロール交換を完了しうる。また上下ワークロールはおのおののチョック (chock) に取付けられた車輪により上下別々のレール上を走行せしめることによりストリップを切断することなく組替えが可能となつた。本装置により、ロール組替に必要な後面部の停止時間は実績で2minにおさまっている。

ストリップの伸び率制御は、ミル入出側ブライドルロール (bridle roll) の回転比一定制御と、ミルの圧下力一定圧延の組合せにより、 $\pm 0.1\%$ の伸び率精度を得ている。

ミルと次のテンションレベラーの間にはブライドルロールを設置しており、ミルとレベラーはそれぞれ独立に張力を設定しうる。これにより調圧効果とレベリング効果はそれぞれ最適値を選択することが可能である。

調質圧延機についてテンションレベラー (tension leveller) および2対のサイドトリマーが設置されている。トリム層の処理はベラー (baler) でプレス後、屋外のバケットに投入されるまで完全自動化されている。

検査精整部においては、走間超音波探傷装置、 γ 線板厚計などによる通常の検査設備に加え、渦流式連続硬度計を備えオンラインで迅速な材質管理が可能である。また防錆油の塗布には均一な塗油をおこなうため静電方式によるミクロンオイル (micron oiler) を設置している。コイルの分割は走間ドラムシャーにより後面を停止することなく2セットのテンションリールへの切替えをおこなうことになつている。

3.4 CAPL 設備の評価

君津 No. 1 CAPL での稼動実績に基づき、典型的な生産単位として月産 70 000 t の能力規模の冷延鋼板製造プラントを想定し、CAPL プロセスを従来プロセスと対比評価してみると Table 3 のごとくなる。すなわち、まず設備投資額では、CAPL は単なる従来工程の集合体でなく、捲取り捲戻し装置など主補機の集約、コイル運搬装置の省略などにより、従来工程の約 74% に節減し得る。また、設備数が少なくかつ中間仕掛け置場が不要になるため、工場所要面積は従来工程の約 40% に減少する。さらに従来プロセスでは各工程間に最少2回ずつのクレーンなどによりコイル運搬およびコイル転倒作業などで、5工程を終了するまでに少なくとも12回以上のコイルハンドリングを必要としたのに対し、CAPL ではわずか2回で済ませることができ、これはクレーンの投資額節減はもとより後に述べる製品損傷の減少にも大きな効果を示す。

4. CAPL の操業実績

君津 No. 1 CAPL は前述のごとく昭和47年10月に営業運転を開始以来順調に立上り、昭和48年月6には月産 34 000 t のフルスケール操業に入つた。昭和49年10月までの累計生産量はキルド鋼を含めて68万tに達したが、これらは市場各方面で従来工程材と同等もしくはそれ以上の評価を受けている。

4.1 生産実績および作業能率

CAPL における月別生産量推移を Fig. 4 に示す。Fig. 5 には平均 t/hr の推移を示す。最近の安定操業下でのサイズ別 t/hr の実績を Fig. 6 に示すが、いずれのサイズでもほぼ設計値を満足している。

Fig. 7 は作業率の月別推移であるが、ほぼ 98% の安定した高作業率を持続している。最近1カ年の実績休止原因別パレート図を Fig. 8 に示すが、当初予想されたトラブルとして連続焼鈍で起こりがちなストリップ蛇行、ヒートバックル (heat buckling)、ストリップ破断

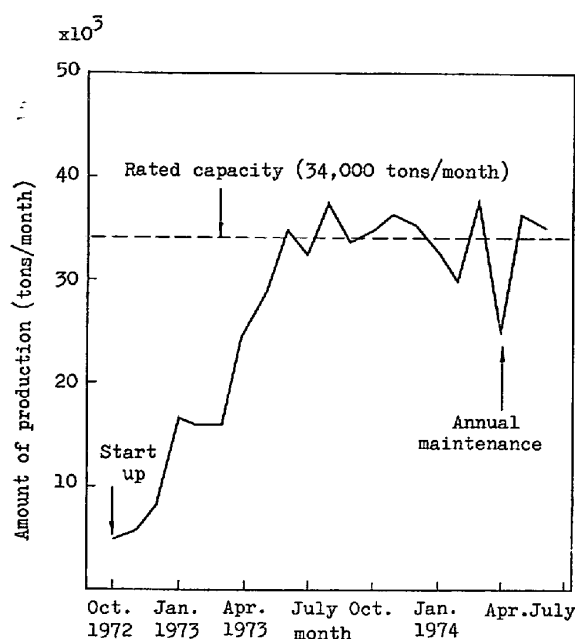


Fig. 4. 680 000 tons of cold-rolled sheets were produced by No. 1 CAPL at Kimitsu Works. (Oct. 1972—Oct. 1974)

などはほとんどなく、設計時考慮された種々の設備上の新技術がその効果を十分発揮していることがわかる。

4.2 エネルギー消費および歩留

君津製鉄所冷延工場における従来プロセスと CAPL との製品 t 当りエネルギー消費量の実績を Table 4 に示す。CAPL では一部熱源に電力を使用するため電力

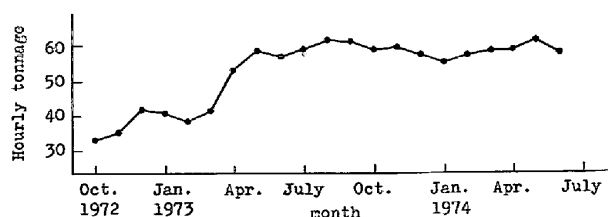


Fig. 5. Progress in hourly tonnage of No. 1 CAPL at Kimitsu Works.

消費量はやや多いが、COG および蒸気は大幅に少なく、使用エネルギー総量としては従来法に対し約 23% のエネルギー節減になっている。たとえば、CAPL の加熱帯と 135 t/charge のバッチ式ガス直火型焼鈍炉の熱精算結果を比較すると Fig. 9 のごとくなる。CAPL ではラジアントチューブによる間接加熱方式を採用している不利にもかかわらず熱効率が高い。この原因のひとつは炉体表面積の縮小に基づく熱放散量の減少によるものであり、CAPL 加熱帯表面積はバッチ炉の場合と比較して 1/3.3 に小さまっている。さらにバッチ炉はインナーカバー (inner cover)、コンベクター (convector)、ハースプレート (hearth plate) など製品コイル以外の加熱にエネルギーが浪費され大きなエネルギー損失を生じている。

CAPL による工程の単一連続化は必然的にコイルハンドリング疵の著しい減少をもたらし、コイルのエンドクロップ (end crop) によるスクラップロス (scrap loss)

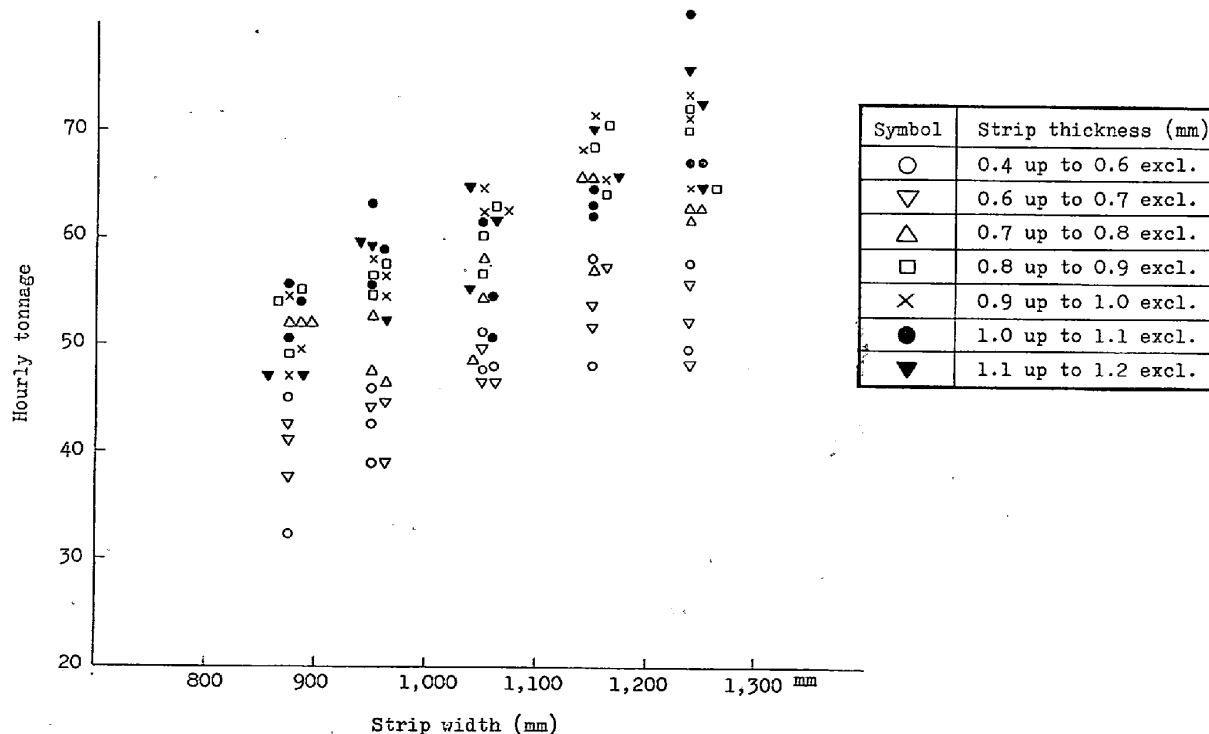


Fig. 6. Relation between strip size and hourly tonnage.

Table 4. Comparison of energy consumption by CAPL and conventional process.
(Capped steels)

	CAPL	Total	Conventional process				
			Elect. cleaning	Batch annealing	Coil cooling	Temper rolling	Inspection & recoiling
Coke oven gas	$\times 10^3$ kcal/ton 179	232	-	232	-	-	-
Electric power	55	49	14	17	8	5	5
Steam	59	100	64	-	36	-	-
Total	293	381	78	249	44	5	5

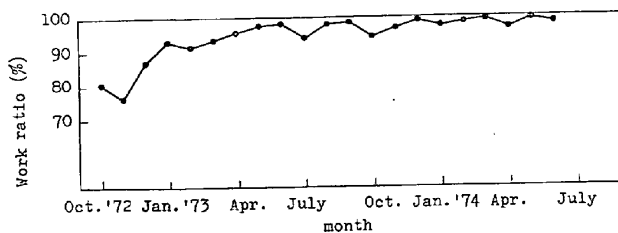


Fig. 7. Work ratio of CAPL can be compared favorably with that of any conventional line.

を従来プロセスの場合の 52% にまで減少できた。またバッチ焼鈍で宿命的に伴う焼付疵、カーボンデポジット (carbon deposit), さらに工程間の仕掛け期間中に発生する錆, 調質圧延やリコイルライン (recoiling line) でのコイルスリップ (coil slip) 疵などから完全に解放された結果, 検査落ちは 50% に減少している。特に CAPL での歩留管理は短時間処理のため, 欠陥発生に対したちに対策をとる点に特徴がある。また, 炉内ストリップは高温下で繰り返し曲げと引張り張力による一種の形状矯正効果を受けるため, 製品の平坦度は非常に優れている。

4.3 CAPL 操業面の評価

CAPL の操業にともない, 当初予想した各種メリット

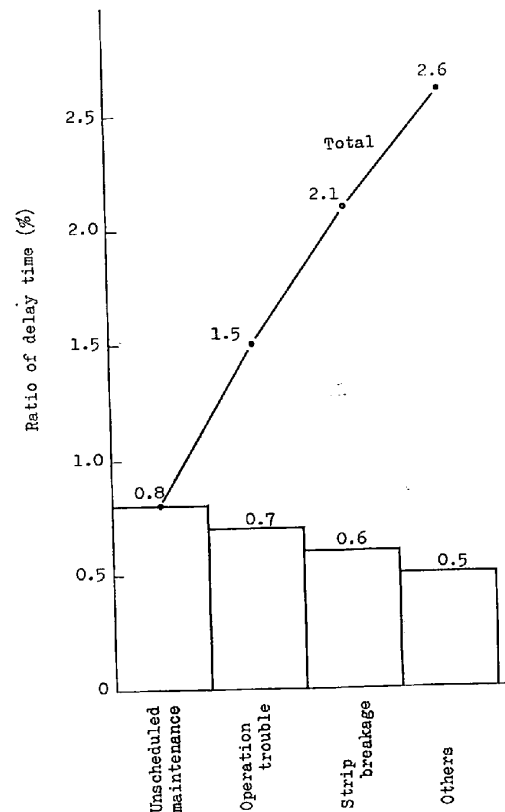


Fig. 8. Items of unscheduled shut-down (June '73—July '74).

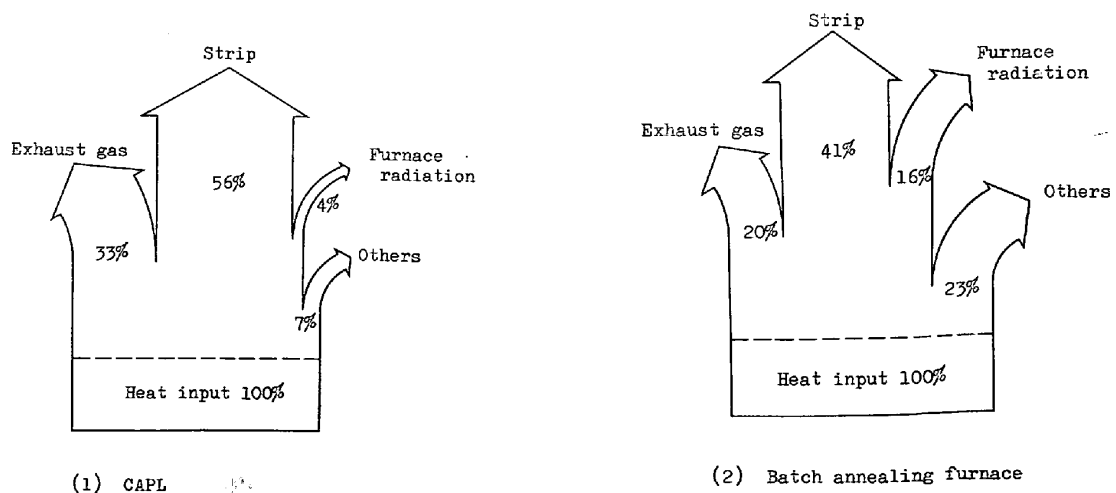


Fig. 9. Heating efficiency of CAPL is much better than that of batch annealing furnace.

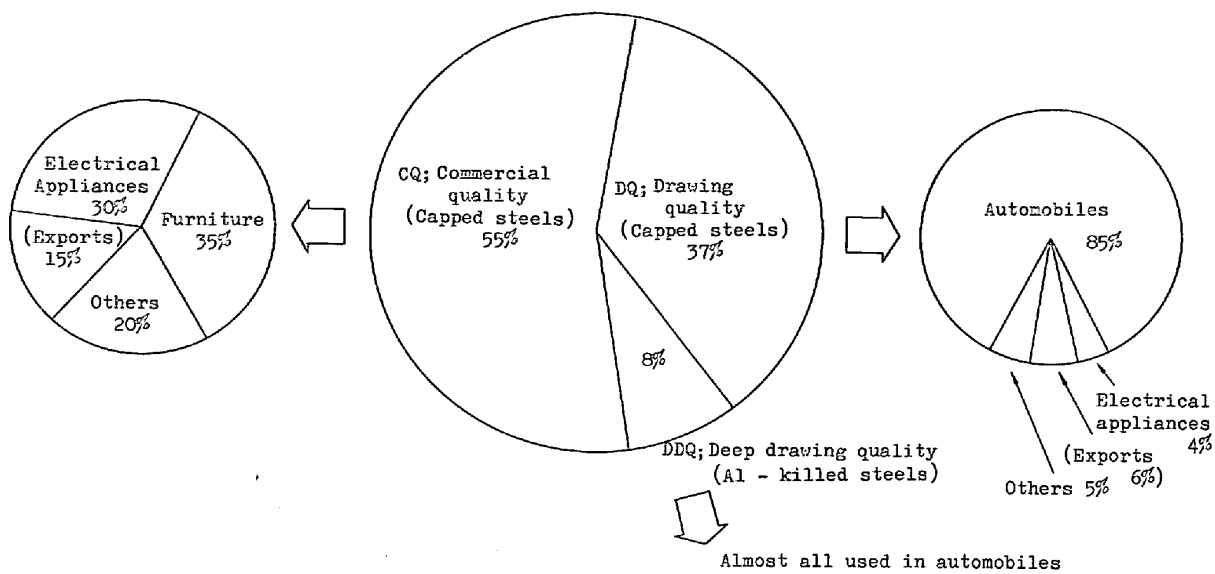


Fig. 10. Products by No. 1 CAPL at Kimitsu Works have been widely used in various operations including the autobody stamping plants, without trouble.

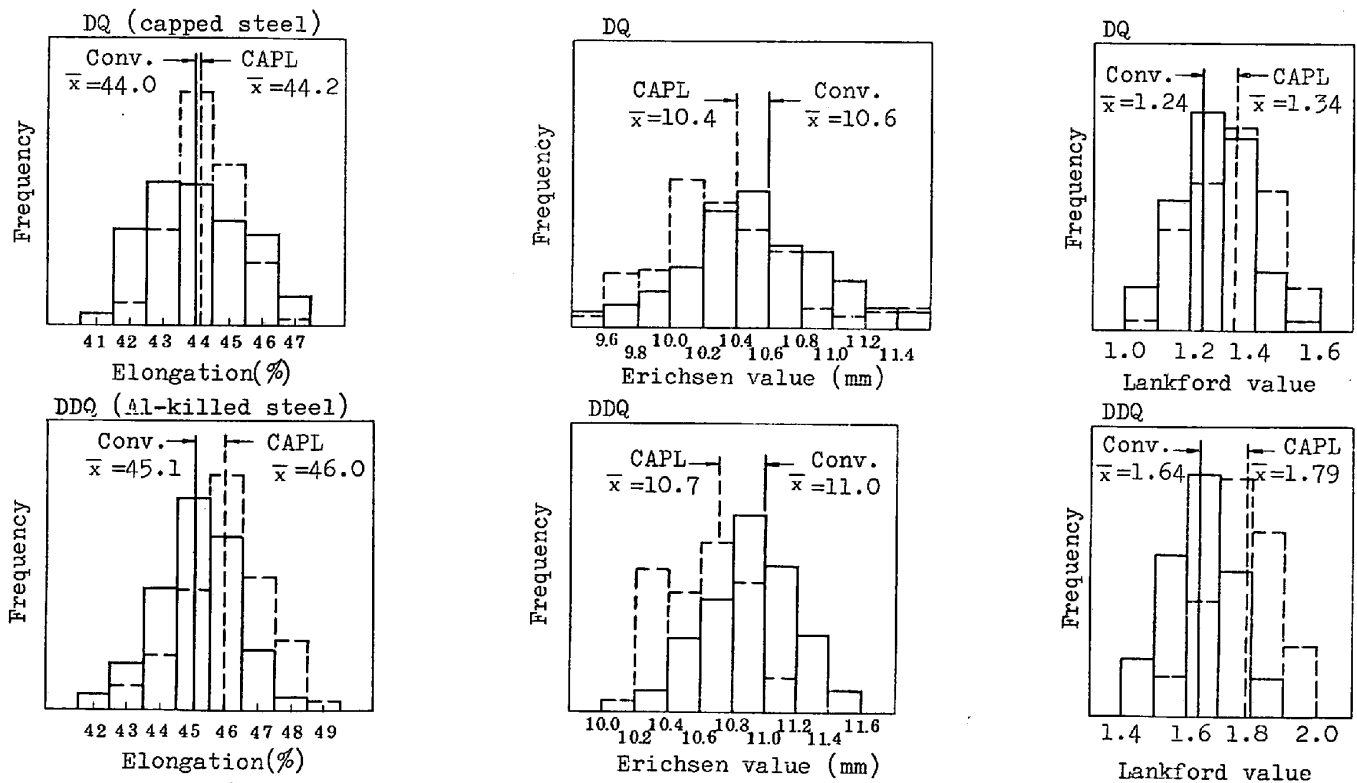


Fig. 11. Mechanical properties, especially the Lankford values, of the CAPL products are superior to those of conventional products.

が現実のものとして着々と確認されてきた。前述のエネルギー、歩留に加えこれらの実績を Table 5 に示す。まず、要員は連続化にともなう各工程の受払作業の削減およびコイルハンドリングなど付帯作業の省略により大幅に削減され従来プロセスの場合の 27% に減少した。君津 No. 1 CAPL の要員は 8 名である。

製造所要日数は非能率的なバッチ焼鈍およびコイル冷却を持つ従来工程では冷延後約 10 日を要していたが、CAPL では 1 日、実質処理時間はわずか 10 min で完了する。これは中間仕掛け量の大幅な圧縮と、需要家に対するクイックデリバリ (quick delivery) を実現するとともに生産管理、工場管理をきわめて簡素化した。これ

Table 5. Various advantages of CAPL.

Item		CAPL	Conventional
Number of personnel		27%	100%
Processing time		1 day	10 days
Yield loss	Scrap loss due to end cropping	52%	100%
	Rejection through inspection	50%	100%
Stock in-process		10%	100%
Maintenance cost		46%	100%
Energy consumption		77%	100%

らの成果は前述の設備投資額の節減とともに、製造コストの大幅切下げをもたらした。

5. CAPL による冷延鋼板の品質

Fig. 10 に示すように最近の君津 No. 1 CAPL による品種別生産比率は、一般用(CQ) 55%, 絞り用(DQ)

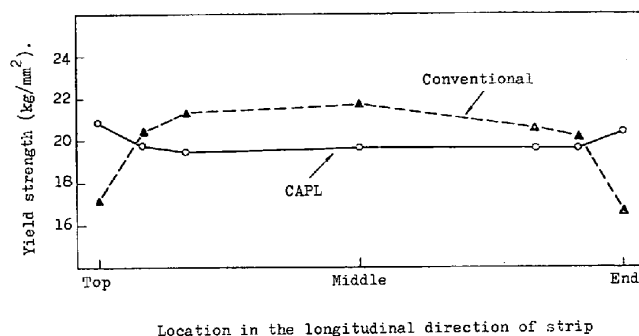


Fig. 12. CAPL products have better uniformity of mechanical properties.

37%, 深絞り用 (DDQ) 8%, となつている。用途別には CQ は主として家具、電機で、DQ, DDQ はそのほとんどが自動車用として使用されている。

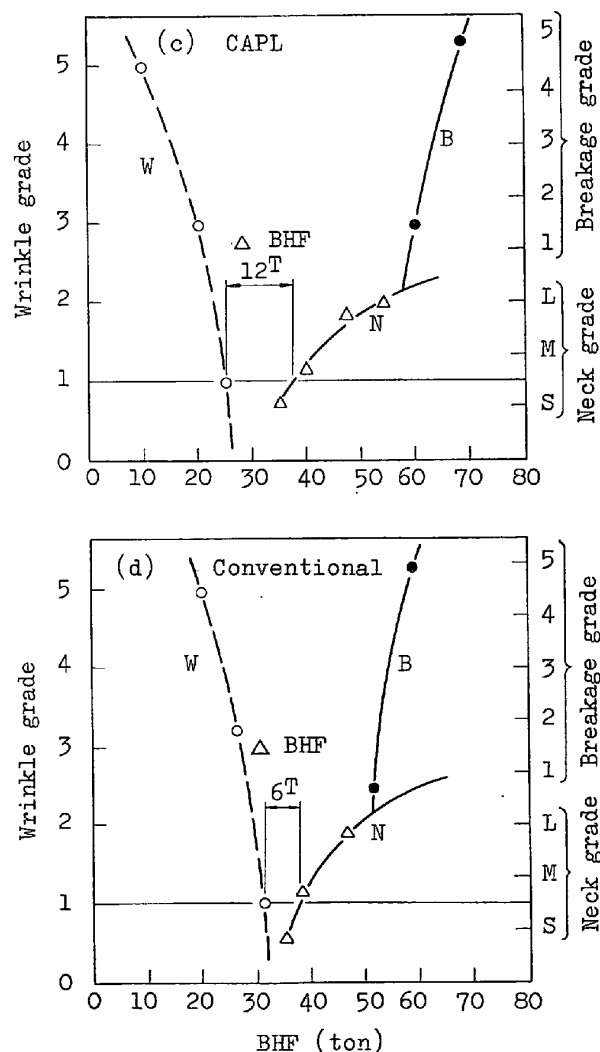
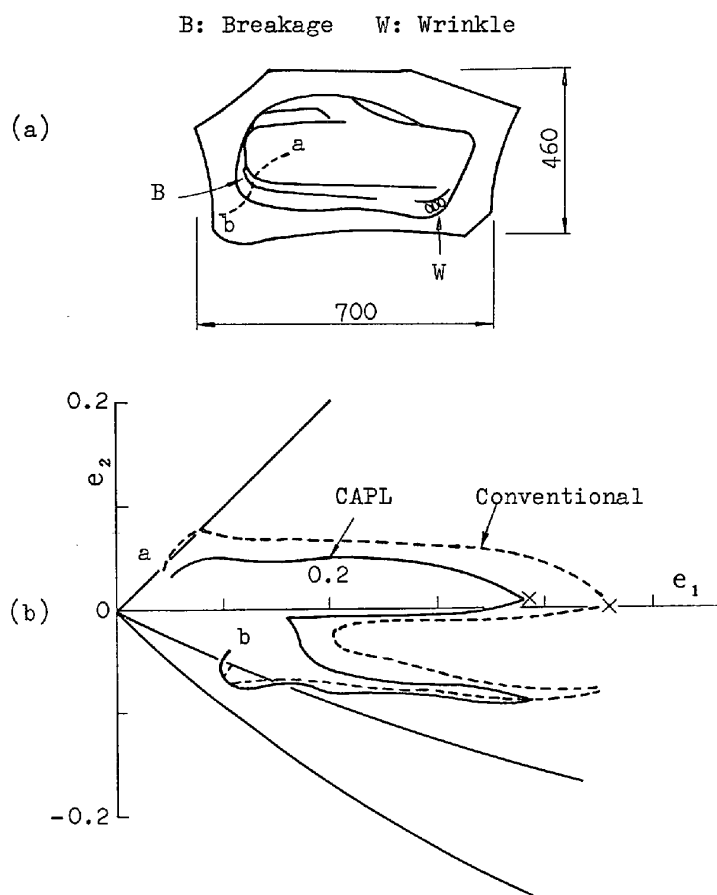


Fig. 13. Rear fender-drawing type; CAPL products (capped steels) showed excellent press performance (wider Δ BHF).

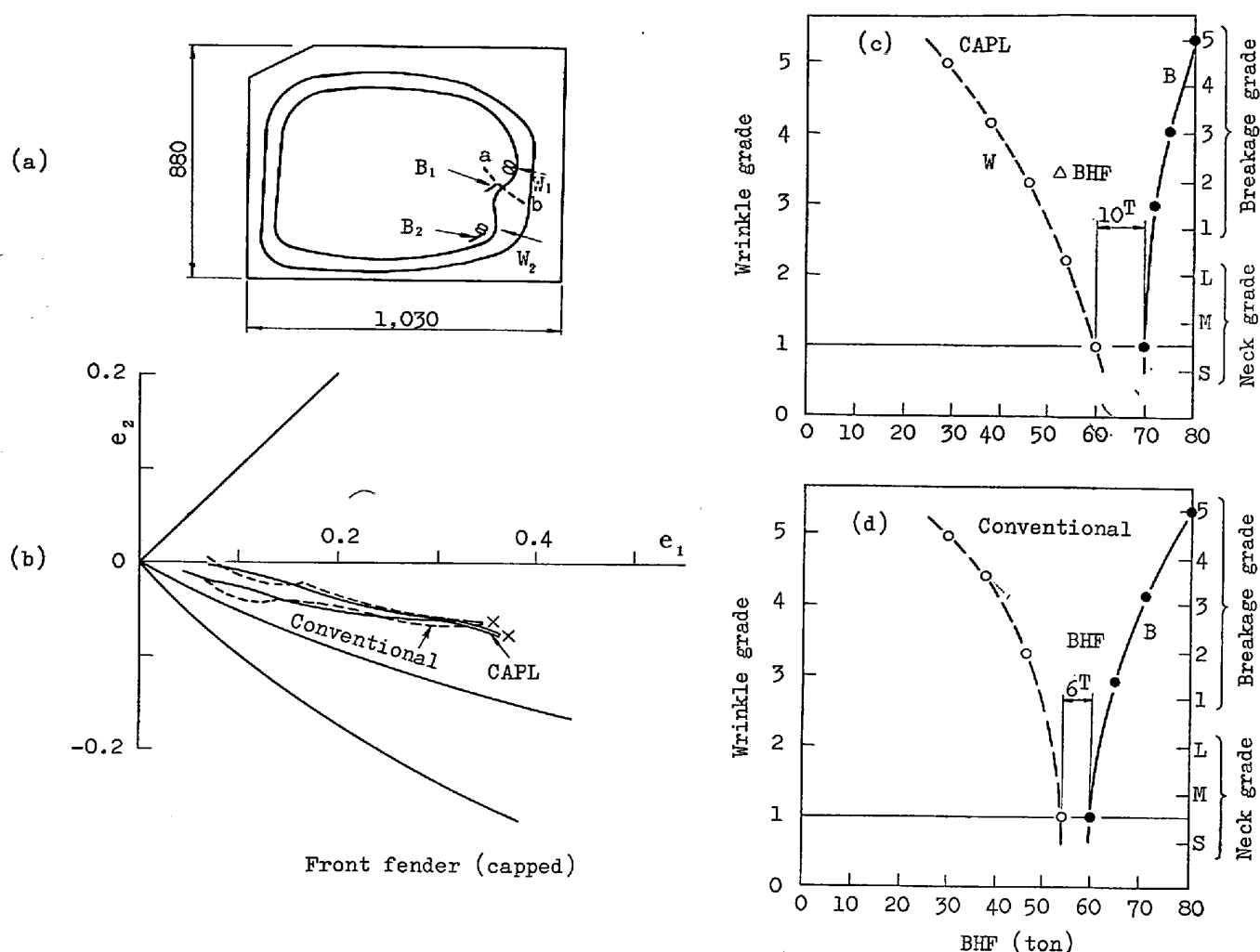


Fig. 14. Front fender-stretching type; CAPL products (capped steels) showed excellent press performance (wider Δ BHF).

5.1 機械的諸性質

Fig. 11 では CAPL 材とバッチ焼鈍による従来工程材の最近における機械試験値の実績分布を対比した。基本的には CAPL 材の材質は従来工程材と同等もしくはそれ以上と評価される。全伸びをはじめ、降伏応力、硬度などから、CAPL 材は従来材に対しやや軟質で延性に富む。熱間圧延時の高温捲取りによりカーバイドが凝集し、局部伸び、したがってエリクセン値はやや低い。ランクフォード値が大幅に向上しているため、以下に述べるごとく実用性能はむしろ従来材よりも優れている。

CAPL 材のランクフォード値は従来材に比較して、DQ, DDQ を問わずいずれも 0.1 以上の優位を示しているが、これはすでに述べたごとく K 値の調整、熱間圧延で高温捲取り、および CAPL ヒートサイクルの相乗効果が深絞り性に好ましい結晶方位の選択成長を促すゆえであり、CAPL 法の材質面における最も重要な特徴

である。

Fig. 12 にはコイル長手方向の材質変動を示す。バッチ焼鈍の材質面での致命的な欠点は、コイル状熱処理によるコイル内温度分布の不均一であるが、CAPL ではコイルを捲戻しストリップ状で焼鈍するためストリップ全長全幅にわたってまったく同一の熱処理が与えられ、その結果材質の均一性はより優れたものとなる。

5.2 CAPL 製品のプレスによる成形性

上記の機械的諸特性にみる CAPL 材の材質的優位性を実用面で確認するため、実物プレスでの比較評価を試みた¹⁶⁾。使用したプレス型は自動車部品の中でも最も成形性の厳しいフェンダー (fender) 類の中から成形様式の異なる 3 種類、すなわち (1) 絞りタイプのリアフェンダー (rear fender), (2) 張出しタイプのフロントフェンダー (front fender), (3) 絞り張出し複合タイプのフロントフェンダーを選択した。これらのうち (1),

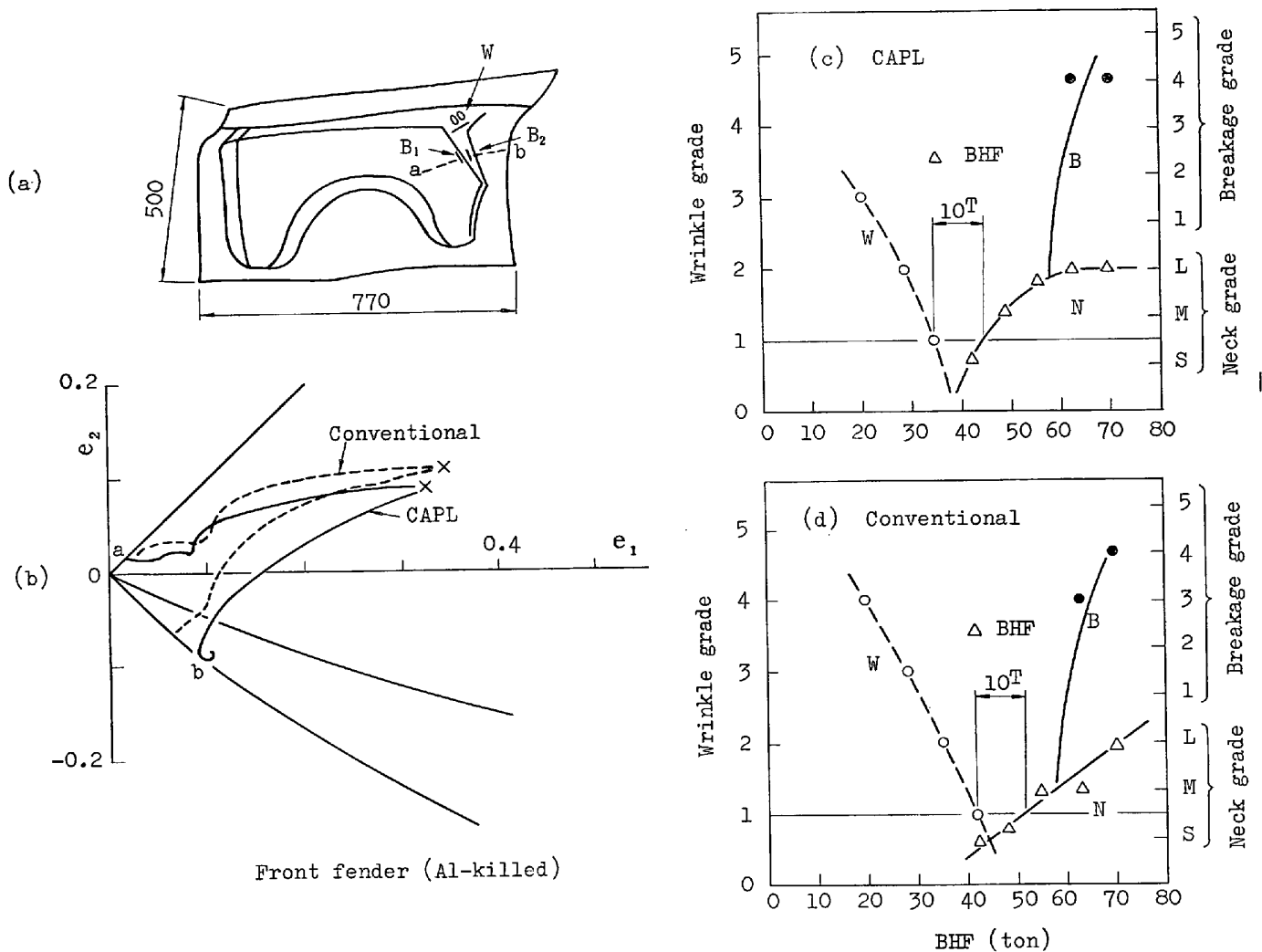


Fig. 15. Front fender-drawing and stretching type; CAPL products (Al-killed steels) showed Δ BHF equal to conventional products.

(2) にはキャップド鋼板を, (3) には Al キルド鋼板を用いた. 成形時の評価には素板拘束力 (BHF) を変化させ, 成形試験を繰返して BHF~シワ・ワレ発生関係図 (press performance diagram と呼ぶ) を作成し, シワおよびワレの発生しない BHF 範囲の広さ (Δ BHF) を指標とした. この Δ BHF が大きい程安定したプレス成形作業が可能となる.

(1) 絞りタイプのリアフェンダーの場合 (キャップド)

Fig. 13(a), (b) に成形品の形状およびワレ近傍の変形状態図を示す. ワレ近傍局部は平面ひずみ変形状態にあるが, 部品の表面積増加はほとんどダイス周辺からの材料流入に依存しており, 全体的には絞り変形主体である. したがって, この部分の成形性は鋼板の絞り性に支配される. Fig. 13(c), (d) に CAPL 材および従来材の press performance diagram を示す. CAPL 材は

従来材に比較してワレ限界 BHF では差が無いが, シワ限界 BHF が小さいため Δ BHF は 12t と従来材より大きくなっている. これは CAPL 材の高ランクフォード値がシワを吸収したためと思われる.

(2) 張出しタイプのフロントフェンダーの場合 (キャップド)

この部品は成形高さが大きく, しかも車体前部に相当する位置が 2 つの凸型 2 次曲面から成っているため, 2 次曲面の側壁部にシワが発生しやすい. これを防ぐため周囲のダイス面に絞りビードを設けて材料流入を少なくしている. したがって全体的には張出し変形主体であるが, ワレ近傍は絞り変形域にあり, 発生するワレは壁ワレである. Fig. 14(c), (d) の press performance diagram をみると Δ BHF は CAPL 材の 10t に対し, 従来材は 6t で CAPL 材の方が優れている.

(3) 絞り張出しタイプのフロントフェンダーの場合

(Al キルド)

この部品は成形高さは小さいがポンチ (punch) およびダイス肩半径が小さく形状も複雑であるため、ポンチ肩ワレや壁ワレのボディーシワが発生しやすい。ワレ発生部の変形状態は張出し領域にあるが、絞り変形の支配的な部分も多く全体的には絞り～張出し複合タイプである。Fig. 15 の press performance diagram をみると CAPL 材、従来材とも $\Delta BHF \approx 10t$ であり、シワ・ワレの発生状況もよく似ている。したがって両材はほぼ同等であるといえる。

以上のように、3 種の実物金型による成形試験をおこなったがいずれの場合も CAPL 材は従来材と同等またはそれ以上のプレス成形性を示した。この理由は CAPL 材の高ランクフォード値が成形時の絞り抵抗を緩和し、同時にボディーシワを吸収したことにあると思われる。

このほかに、形状性や張り剛性についても調査をおこなったが、CAPL 材は従来材と同等の特性を示した。こうして CAPL 材が自動車用鋼板としてすべての点で満足した材質特性を具備していることが確認された。

6. 結 言

CAPL は当初期待された効果を実現しつつ、早くも安定操業期にはいつた。昭和 49 年 10 月までの延べ 68 万 t におよぶ製品は、自動車産業をはじめ各方面に使用されているが、従来材の用途を完全にカバーしてまったく問題ない。しかし CAPL 技術開発の真の目標には単に深絞り用鋼板を製造するばかりでなく、この技術をさらに発展させ新しい需要動向に即応した新製品、たとえば良加工性高張力鋼板¹⁴⁾、ホーロー用鋼板¹⁵⁾などの開発も含まれている。CAPL における各種焼鈍サイクルの選定と素材条件の組合せにより、今後の新製品、新技術の

開発には無限の可能性が期待され、省エネルギー、省資材、省力型の新技術としてこの CAPL は今後の各種冷延鋼板製造技術の主流をなすものと思われる。

文 献

- 1) D. A. McARTHUR: Iron Steel Eng., 39 (1962) 2, p. 112
- 2) W. O. W. PRICE and E. H. VAUGHAN: Iron Steel Inst. Spec. Rep., 79 (1963), p. 71
- 3) G. C. TURNER: Iron Steel Eng., 40 (1963) 3, p. 123
- 4) K. TODA, B. KAWASAKI, and T. SAIKI: Iron Steel Eng., 50 (1973) 10, p. 44
- 5) E. W. WILLIAMS: Iron Steel Inst. Spec. Rep., 79 (1963), p. 88
- 6) P. N. RICHARDS: Iron Steel Inst. Spec. Rep., 67 (1960), p. 118
- 7) 戸田, 西脇, 権藤, 武智, 阿部: 鉄と鋼, 59 (1973) 11, S. 497
- 8) 戸田, 権藤, 武智, 阿部, 上原, 小宮: 鉄と鋼, 61 (1975) 10, p. 2363
- 9) R. F. DEWSNAP: Iron Steel Inst. Spec. Rep., 79 (1963), p. 112
- 10) D. J. BLICKWEDE: Flat Rolled Products, Vol. 1, (1959), p. 91 [Interscience Publishers]
- 11) H. DREVER: Iron Steel Eng., 34 (1957) 2, p. 69
- 12) T. P. MURAV: Iron Steel Eng., 48 (1971) 2, p. 33
- 13) 草鹿, 大野, 井内: 鉄と鋼, 59 (1973) 4, S. 234
- 14) 西脇, 権藤, 武智, 難波, 増井: 鉄と鋼, 59 (1973) 11, S. 500
- 15) 権藤, 武智, 難波, 川崎: 鉄と鋼, 60 (1974) 4, S. 334
- 16) K. Toda, S. HANAI, B. KAWASAKI, and H. TAKECHI: Sheet Metal Ind., 51 (1974) 9, p. 586