

連続焼鈍法による全調質度ぶりき原板の製造技術の開発*

川崎製鉄技報
23 (1991) 4, 308-314

Advanced Manufacturing Process for Tin Mill Blackplates with All Temper Designations by Continuous Annealing



久々湊 英雄

Hideo Kuguminato
千葉製鉄所 管理部技術サービス室 主査(課長補)



加藤 寿勝

Toshikatsu Kato
千葉製鉄所 管理部任用鋼板管理室



西川 廣

Hiroshi Nishikawa
千葉製鉄所 製鋼部第1製鋼課長



白石 昌司

Masaji Shiraishi
千葉製鉄所 熱間圧延部第1熱間圧延課長



下山 雄二

Yuji Shimoyama
エンジニアリング事業部 圧延技術部冷延技術室 主査(課長)



藤長 千香子

Chikako Fujinaga
鉄鋼研究所 薄板研究部 薄板研究室

1 緒 言

飲料缶、食缶あるいは各種キャップ等に使用されるぶりきの材質は調質度で規定される。調質度はロックウェルト硬さ(HR30T)の値をもって表わされ(JIS G3303)、1回圧延製品では軟質なものからT1~6に区分され、2回圧延製品は同様にDR8~10に区分されている。

各調質度のものをつくりわけするため、一般的にはT3以下の軟質ぶりき原板は低炭素Alキルド鋼素材を用いて箱焼鈍法、T4以上の硬質ぶりき原板は連続焼鈍法、そしてDRぶりき原板はいずれかの焼鈍を行った後、2回圧延(double cold-reducing, DR圧延)法で製造される。しかし、軟質ぶりき原板についても均一な材質が短時間で得られる連続焼鈍法の適用が望まれていた。

当社においては、世界に先駆けて低炭素Alキルド鋼を素材とし、

要旨

ぶりき原板で最も軟質な調質度T1(HR30T 49)は、従来の連続焼鈍法では製造が難しかった。しかしNb微量添加極低炭素Alキルド鋼(Nb 0.003-0.009%, C 0.003%以下)を用いて、熱間圧延仕上げ温度は低温(830°C前後)、巻取温度は中温(600°C前後)、そして連続焼鈍の熱サイクルは再結晶温度直上の中温、短時間(750°C, 10s)均熱に制御してT1を製造する技術を開発した。この新製造法によって、異方性が小さく深絞り加工性に優れ、均一な材質を有する板厚の薄い0.15mmのぶりき原板も、効率よくCALで生産ができるようになった。千葉製鉄所では、全調質度を加工硬化法でつくり分ける目的で、炉後部に広範囲の圧下率を制御できる多目的圧延機を直結したNo.4 CALが1990年3月に稼働した。この結果、この新CALのみでT1~6, DR8~10の全調質度ぶりき原板を経済的に製造できるようになった。また極低炭素鋼の特徴を活かしてシーム溶接用極薄鋼板やPPキャップへの適用を図った。

Synopsis:

The authors have developed a new process for manufacturing the softest T1 grade blackplate (HR30T 49) by using continuous annealing line (CAL). This development has been made possible by the use of Nb-added extra-low carbon steel (Nb=0.003 to 0.009%; C=0.003% or below) and by proper control of hot-rolling and annealing conditions, namely, by controlling the hot-rolling finishing temperature at a lower range (aiming at 830°C) and the hot-coiling temperature at a medium level (aiming at 600°C), and by applying a new heat cycle to the CAL which recrystallizes cold rolled blackplate at a medium temperature in a shorter time (750°C, 10s). Kawasaki Steel Corp. has constructed a new production line at No. 4 CAL (top speed-in-furnace of 1000 m/min) and a multipurpose cold-rolling mill in Chiba Works in March 1990. Technical conditions for the manufacture of all temper grades, T1-6 and DR8-10, have been established, and high productivity and excellent quality for the kind of steel grades have been achieved.

急冷・過時効処理帯を有する連続焼鈍法で軟質化できる技術を確立し、T2までの商業生産を行ってきた¹⁻⁵⁾。もし、連続焼鈍法で最も軟質なT1が製造できれば、T2以上は加工硬化法でつくりわけることができるので、製造工程の合理化が図れる効果が期待された。

しかし、T1の製造は次に示す理由で難しかった¹⁾。低炭素Alキルド鋼を素材として連続焼鈍法で軟質ぶりき原板を製造するためには、結晶粒径を大きくするとともに固溶C、Nの残存量を少なくすることが重要である。結晶粒径の粗大化は、C量を少なくして、熱間圧延巻取温度CT(coiling temperature)および連続焼鈍温度を高く

* 平成3年8月12日原稿受付

温にすることで得られる。しかし、硬度は、C量が0.02~0.07%で最も低く、この範囲より多くても少なくても高い。特に軟質化が期待されるC量の少ない領域において、結晶粒径が大きくなるにもかかわらず硬度は高い。これはC量が少ないと、過時効過程において固溶Cの析出サイトとして働く炭化物が減少し、過時効処理時のCの析出が遅れるためである。したがって、結晶粒径がある程度小さくなくても、固溶Cが過時効過程で短時間で効率的に減少できるように、微細炭化物が分布する程度にC量を含有させることが肝要である。

CTを高温にすると結晶粒径は粗大化するが、炭化物も凝集粗大化し、焼鈍後の固溶C量は多く残存する。また、ぶりきの耐食性を劣化させるので高温巻取は不相当であった²⁾。したがって、CTとしては、炭化物を若干粗大化させ炭化物が疎になることによる硬度の増加をもたらすものの、結晶粒径の粗大化と固溶NをA/Nとして固定する作用により総合的に軟質化が図れる中温が適切である。

連続焼鈍温度をA₁変態点以上に高くした場合には、結晶粒径は粗大化するが、均熱中に生じるオーステナイト相が冷却過程でパーライトに変態するためフェライト中にパーライトが分散した組織となり、軟質化に有効ではない。したがって、A₁変態点直下の低温焼鈍を行わざるを得ず、高温焼鈍で結晶粒径を粗大化して軟質化することはできない。

以上のように、低炭素Alキルド鋼を素材とし、連続焼鈍で急冷・過時効を施して軟質化する方法を追求したが、得られる硬度に限界があり、T1の製造が困難であることが明らかになった。

一方、最近の製鋼技術、特に脱ガス精錬技術の進歩は目ざましく、C量が0.003%以下の極低炭素鋼を経済的に安定して製造できるようになった^{6,7)}。そこで、T1を連続焼鈍法で製造するためには、C量を技術的極限までに少なくした極低炭素鋼を用いる方法を検討すべきであると判断し、研究を行った。

その結果、極低炭素鋼の特徴を活かして、T1のぶりき原板を連続焼鈍法で製造するのに適した条件を開発した⁸⁻¹³⁾。そのうえ、加工硬化法で調質度のつくりわけを行う条件も検討し、焼鈍炉後部に多目的圧延機を直結したNo.4連続焼鈍ライン(No.4CAL)を1990年3月に稼働させた¹⁴⁻¹⁷⁾。このNo.4CALのみで全調質度ぶりき原板を商業生産することに成功したので以下に概要を説明する。

2 極薄ぶりき原板を連続焼鈍法で経済的に製造するための基本的な考え方

ぶりきの板厚は用途上、薄い(JIS G3303 1回圧延製品の板厚下限: 0.15 mm)。一方、近年製鉄技術の進歩によって、極薄化傾向はますます進んでいる。したがって、これからの連続焼鈍法では板厚の薄いぶりき原板を経済的に製造するための条件も合わせて検討する必要がある。その方法として、連続焼鈍炉中を高速で通板するための固有技術を開発するとともに、目的の硬度を得るための連続焼鈍炉への負荷を軽くし、その代わりに材質に大きく影響を及ぼす製鋼、熱間圧延および調質圧延条件を有効に活用することが重要であると考えた。

また、ぶりき切板から缶に仕上がるまでに、端部数ミリメートルを除き、ほとんど全幅・全長が缶になるので、ぶりきの全幅・全長の材質が均一に仕上がる製造仕様確立も重要であった。さらに、缶外面には美しい多色印刷を施されるが、印刷ずれを防ぐため、平坦度に優れたぶりきが要求される。そのためにも、均質なものが必要であった。

ぶりき原板の製造においては、連続焼鈍炉を通板する際の板厚が薄いので、ヒートバックルによる通板トラブルが生じやすい¹⁸⁾。ヒートバックルは、炉内ヘルパーロールのクラウン形状により鋼板にかかる張力が不均一となり、板幅方向の圧縮応力が鋼板の座屈限界応力を超えることによって発生する現象である。これは、通板時の張力が大きいほど発生しやすく、張力を緩めることにより減少するが、張力の緩和により鋼板の板幅方向への蛇行が生ずる。作業においては、適性張力域を設定して通板している。また、ヒートバックルは、焼鈍温度が高いほど、板厚が薄いほど、そして鋼板の降伏強度が低いほど発生しやすくなる。したがって、焼鈍温度は低温が望ましく、低温でも再結晶・粒成長を十分に図れる鋼成分を検討することが最重要課題であった。

ぶりき原板の製造においては、熱延板厚も薄くなる。冷間圧延の圧下率を能力上限の約90%(深絞り用冷延鋼板では約75%)と高くしても、熱延仕上板厚は2~3 mmと薄くなり、熱間圧延機の能力との関係で圧延時間が長くなり、圧延中の温度低下が大きくなることも考慮する必要があった。もし、熱延仕上温度FDT(finish-ing delivery temperature)を一般的に行われているA₃変態点以上の高温で仕上げようとした場合、スラブはより高温に加熱せざるを得ず、その結果、ロール表面に熱衝撃による割れが生じやすくなり、ロール寿命の低下および表面欠陥の発生につながる。したがって、FDTは低温が望ましい。なお、低温FDT圧延が可能になればスラブ加熱温度SRT(slab reheating temperature)も低温にできるので、熱延板中の析出物が大きくなり、焼鈍板における結晶粒径が大きくなり、軟質化に大きく寄与できる¹⁹⁾可能性があった。そのうえ、消費エネルギーの削減、スケールの減少による歩留り向上が図れる。

CTを高温にすれば再結晶・粒成長が容易になり、深絞り加工性の向上に好ましい(111)再結晶集合組織を発達させることができる²⁰⁾。しかし、圧延方向・前後端部の温度低下にともない材質が不均一になりやすい²¹⁾。さらに、熱延板のスケール生成量が多くなるので酸洗性が低下する。したがって、CTは熱延板の全幅、全長で安定して確保できる中温以下で、そのうえ、できるだけ結晶粒径を大きくできる温度が望ましい。

調質圧延に1回圧延法を用いる場合、圧下率は1~2%と低く狭い範囲で行われるので、加工硬化法による各調質度のつくりわけはできない。そこで、つくりわけとしては、主に鋼成分の調整と焼鈍法との組合せで行わざるを得ず、数種類もの素材が必要であった。しかし、箱焼鈍法に代わって、連続焼鈍法でT1の硬さが得られるようになれば、圧下率を大きくとれるDR圧延と組合せてつくりわけ加工硬化法を適用できるようになる。その結果、連続焼鈍法に統一できるので工程の合理化が進むとともに、連続焼鈍炉を通板する際の板厚も大きくなり、通板性を改善できるという効果も期待された。

3 調質度T1のぶりき原板を連続焼鈍法で製造するための検討

3.1 低温焼鈍に適した鋼成分の検討

調質度T1のぶりき原板を低炭素Alキルド鋼を用いた連続焼鈍法で製造することは、焼鈍中に低減できる固溶Cに限界があり、そのうえ結晶粒径も小さいため困難であった。また、板厚の薄いぶりき原板を連続焼鈍炉内を効率よく通板するためには、再結晶温度の低い素材が必要であった。そこで、固溶C量が少なく、結晶粒径の

Table 1 Chemical compositions and hot rolling temperatures of steels used to study the effect of carbon content

Steel type	Chemical compositions (wt %)				Hot rolling temp. (°C)		
	C	Mn	Al	N	SRT	FDT	CT
Low-C Al-killed steel	0.011~0.090	0.26	0.030	0.0025	1 255	860	610
Extra low-C Al-killed steel	0.002	0.15	0.052	0.0015	1 160	840	580

Table 2 Chemical compositions, hot rolling temperatures, and cold rolling reduction of steels used to study the effect of Nb content and steel sheets process

Sample steel sheets	Chemical compositions (wt %)				Hot rolling temp. (°C)			Cold rolling reduction (%)
	C	Mn	Al	N	SRT	FDT	CT	
Tin mill blackplate	0.003	0.18	0.051	0.002	1 170	850	570	88
Deep-drawing quality	0.002	0.15	0.040	0.003	1 250	880	680	75

粗大化が図れる極低炭素鋼について、焼鈍温度ができるだけ低温でT1に上げることができる鋼成分の検討を行った。

Table 1 に示す鋼成分および温度で熱間圧延され、さらに0.32 mm まで冷間圧延された鋼板をぶりきに仕上げ、ぶりきの硬度におよぼすC量の影響を調べた結果を Fig. 1 に示す。C量を極限まで低下することによって、T1の硬度を得ることができる。しかし、単なる極低炭素鋼板では軟質化とr値の向上が図れるが、圧延方向に対して45度近傍方向でr値を低下させる集合組織が発達するため、r値の面内異方性(dr)が悪くなる。その改善法として、Nbの微量添加により、冷延母材が細粒になるとともに固溶Cが減少し、再結晶時に45度方向のr値を悪くする集合組織の発達が抑制されることが知られている¹⁹⁾。

Table 2 に示す鋼成分、熱間圧延温度および冷間圧下率で圧延された鋼板をぶりきと深絞り用冷延鋼板に仕上げ、drにおよぼすNb量の影響を調べた結果を Fig. 2 に示す。なお、drは圧延方向に対して0°(L)、90°(T)および45°(D)方向でr値を測定し、次の式により求めた。

$$dr = (r_L + r_T - 2r_D) / 2$$

Nbを微量添加することによりdrは改善できる。特に、ぶりき原板においてその効果は大きい。板厚の薄いぶりき原板のdrが小さくなったことから、冷間圧下率が高かったことがdr減少に影響したと考えられる。絞り加工でカップを成形した後、食品を充填して上蓋を巻き締めて仕上げる2ピース缶製法において、絞り加工用のぶりき原板にはノンイヤリング性が必要なので、drが小さいことは非常に有利である。

一方、Nb添加鋼板では、Nb系析出物による結晶粒界のピン止め効果および固溶NbのDrag効果による結晶粒成長の遅れ²²⁾により、再結晶温度が上昇するので、連続焼鈍温度は高温となり炉内の通板性が悪くなる。したがって、通板性も考慮した最適Nb添加量を検討する必要がある。Fig. 3に、焼鈍温度と硬度との関係(再結晶曲線)に及ぼすNb添加量の影響を示す。素材は0.003% C-0.18% Mn-0.05% Alを基本組成とし、Nbを添加した小型真空溶解鋼である。実験室で50 mm厚に熱間鍛造後、熱間圧延(SRT 1100°C, FDT 840°C, CT 600°C)で板厚を5 mmに圧延後、この熱延板を両面から研削して2.6 mmとした。続けて、冷間圧延(圧下率88%)を施した後、直接通電式の連続焼鈍熱履歴再現装置により冷延板を熱処理した。本実験装置では、鋼板に直接通電して加熱し、冷却時には鋼板両面から窒素ガスを吹き付ける制御冷却方式を採用しているので正確な熱履歴を再現できる。0.003%のNb

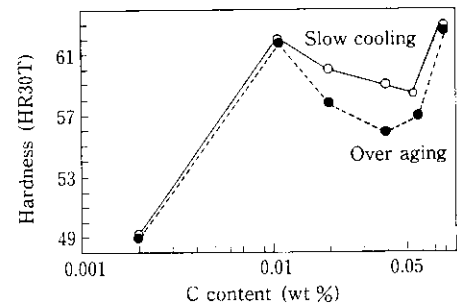


Fig. 1 Effects of carbon content and heat cycles on hardness of tinplate

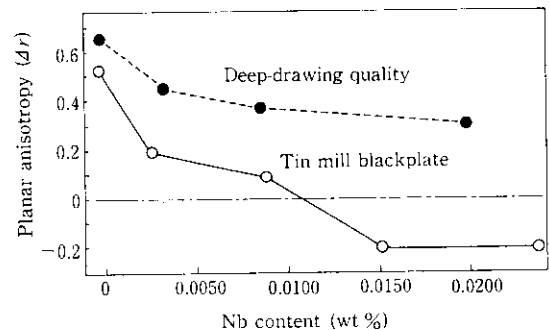


Fig. 2 Effect of Nb on planar anisotropy of r-value (dr) in cold rolled steels of tin mill blackplate and deep-drawing quality

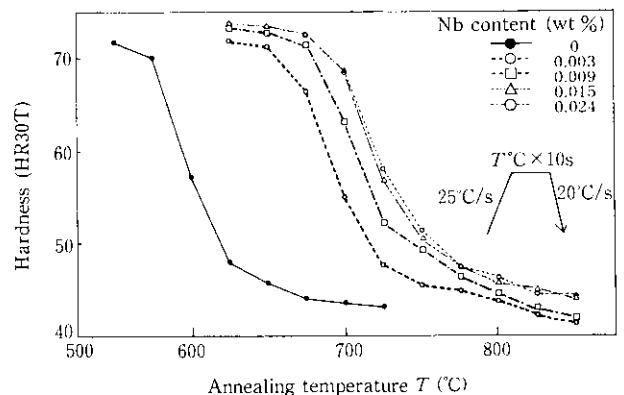


Fig. 3 Effect of Nb content on relation between hardness and annealing temperature

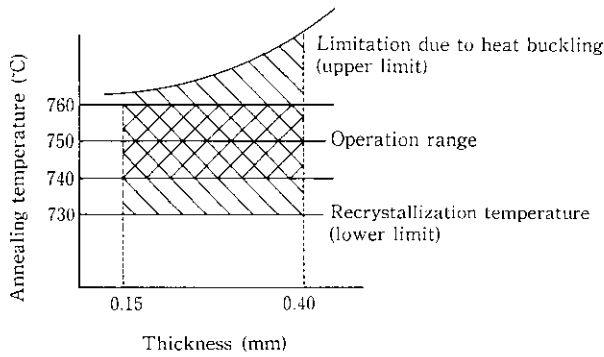


Fig. 4 Optimum conditions of annealing temperature range at No. 4 CAL for manufacturing temper designation T1 products using extra-low C steel

添加により再結晶曲線は約 100°C も高温側に移行し、添加量の増加にしたがってさらに高温になる。一方、No. 4 CAL 設備を検討するに際し、再結晶温度が高くなる Nb 微量添加極低炭素鋼素材の極薄鋼板を経済的に高速通板するための技術開発を進めた。その結果を板厚と操業可能な焼鈍温度範囲の関係として Fig. 4 に示す。図中には、実操業温度範囲も一緒に示す^{19,17)}。板厚が薄くなると通板可能温度は低温になり、最も通板が難しいのは板厚が最も薄い 0.15 mm である。それでも焼鈍温度が 760°C 以下の低温であれば効率よく通板ができる技術を開発した。したがって Nb 添加量の上限は、再結晶温度が 760°C 以下を確保できる 0.009% に、そして下限は Δr が ± 0.2 に安定して納まる 0.003% に設定した。

3.2 均一な材質を得るための熱間圧延温度の検討

絞り加工性に優れた缶用鋼板を製造するためには FDT は A_{r3} 変態点温度以上とするのが一般的である。これは A_{r3} 点以下の α 相域での圧延により熱延鋼帯の板厚中心部に $\{100\} \langle 011 \rangle$ の強い集積が形成され、冷延再結晶板の深絞り性を劣化させるためである。しかし、極低炭素鋼は A_{r3} 点が高温になるので、板厚の薄いぶりき原板用熱延コイルの全幅、全長を A_{r3} 点以上に安定して確保することは困難である。また、CT も高温を安定して確保するのは難しい。そこで、ぶりき原板に適した熱間圧延温度を検討した。Fig. 5 に極低炭素鋼を素材にしたぶりきの r 値に及ぼす FDT, CT の影響を示す。なお、 \bar{r} 値は以下の式により求めた。

$$\bar{r} = (r_L + r_T + 2r_D) / 4$$

工場で 0.0028% C-0.18% Mn-0.04% Al-0.005% Nb を基本組成とした鋼を溶製し、実機にて鋼板を試作した。熱間圧延は工場で SRT 1180~1070°C の低温、FDT 830,800,770°C, CT 650,600,550°C の各 3 条件で行い、冷間圧延 (圧下率 88%) 後、連続焼鈍は均熱温度 750°C で行った。 \bar{r} 値は FDT, CT とともに高温になるにもなって大きく改善される。 Δr は FDT が高温になるにしたがって 0 (ノンイヤリング性) に近づき、CT についても温度が高くなるにしたがって改善される。しかし、CT は 600°C と 650°C では大差なく良好なので、安定した温度を確保しやすい 600°C の中温が適切である。 Δr に関してノンイヤリング性の目的にかなった性能を有するぶりき原板が製造可能である。 \bar{r} 値は、FDT が A_{r3} 点以上で行われる深絞り用冷延鋼板に比べ低いが、従来法の箱焼鈍材 (\bar{r} 値 1.1~1.6) よりは優れている。これは SRT が低温で析出物が粗大になり、焼鈍時の粒成長が速くなったためと考えられる。以上のことから、絞り加工性とノンイヤリング性の両性能が必要な 2 ピース缶用鋼板を製造するための熱間圧延温度は、FDT は 830°C 前後の低温、CT は 600°C 前後の中温が最適である。

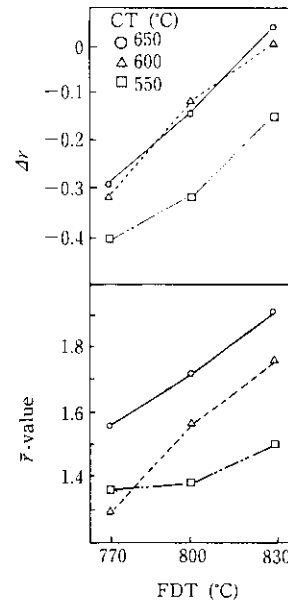


Fig. 5 Effects of hot rolling conditions, CT and FDT, on \bar{r} -values and their planar anisotropy Δr on commercially produced Nb-added extra low-carbon tinplate

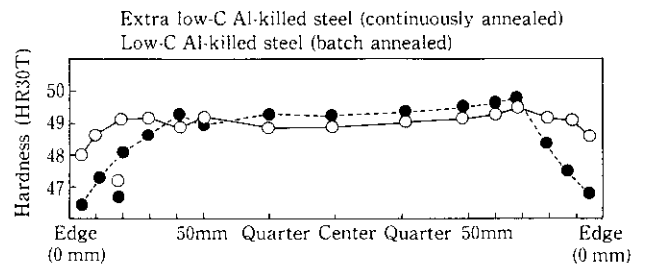


Fig. 6 Distributions of hardness in transverse direction of two kinds of tinplates

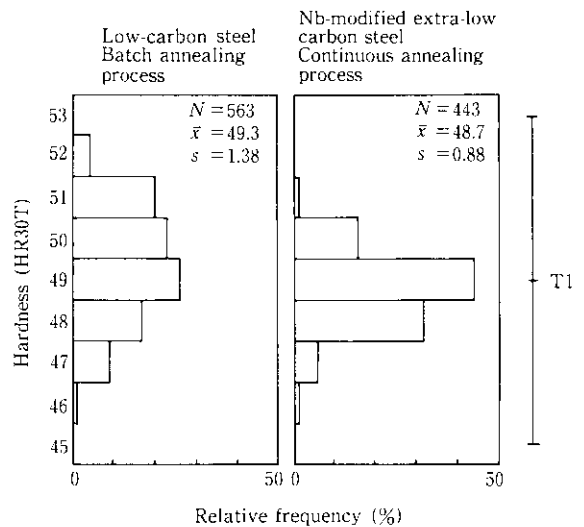


Fig. 7 Effect of steel type and annealing process on hardness distribution of T1 temper tinplate

以上の最適条件で製造したぶりきの板幅方向の硬度分布を箱焼鈍法と比較して Fig. 6 に示す。また、ぶりきコイルの全幅、全長にわたる硬度のばらつきを Fig. 7 に箱焼鈍法と比較して示す。硬度

分布およびばらつきとも連続焼鈍材が小さく、低 FDT、中 CT の効果がみられる。

3.3 極薄鋼板を高速通板するための連続焼鈍の熱サイクルの検討

高調質度、極薄化が進む缶用鋼板の製造において、経済的に対応するためには、連続焼鈍炉内での通板速度を高めることであった。素材としては、中温焼鈍が可能な Nb 微量添加極低炭素鋼板が確立できたので、この鋼板を基本に最適熱サイクルの検討を行った。素材は 0.0016% C-0.015% Si-0.16% Mn-0.008% P-0.011% S-0.052% Al-0.006% Nb-0.0022% N の組成を有するスラブを用いて、FDT 840°C、CT 580°C で熱間圧延後、圧下率 88% で板厚 0.32 mm に冷間圧延を行い、連続焼鈍熱履歴再現装置により冷延板を熱処理し、均熱温度と均熱時間を変化させた試料を作成後、硬度を測定した。その結果を等硬度曲線で整理して Fig. 8 に示す。均熱時間が 10 s 未満の場合、硬度変化に及ぼす均熱時間の影響は大きい。10 s 以上ではその影響は小さい。また、板厚が 0.15 mm でも安定して高速通板できる温度は 760°C 以下の中温であるが、この温度で均熱時間を 10 s 確保すれば、再結晶を十分完了させることができ、T1 のぶりき原板を効率よく連続焼鈍法で製造することができるようになった。

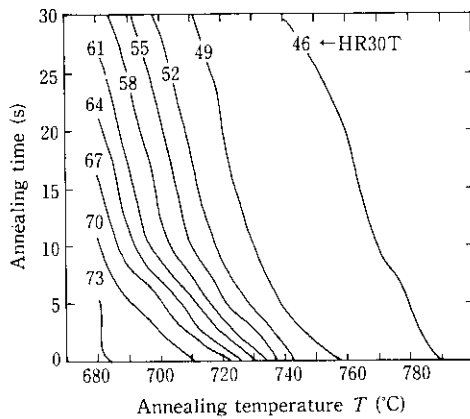


Fig. 8 Effect of annealing temperature and annealing time on hardness of an extra-low carbon Nb-added sheet steel

4 No. 4 CAL による全調質度ぶりき原板の製造法

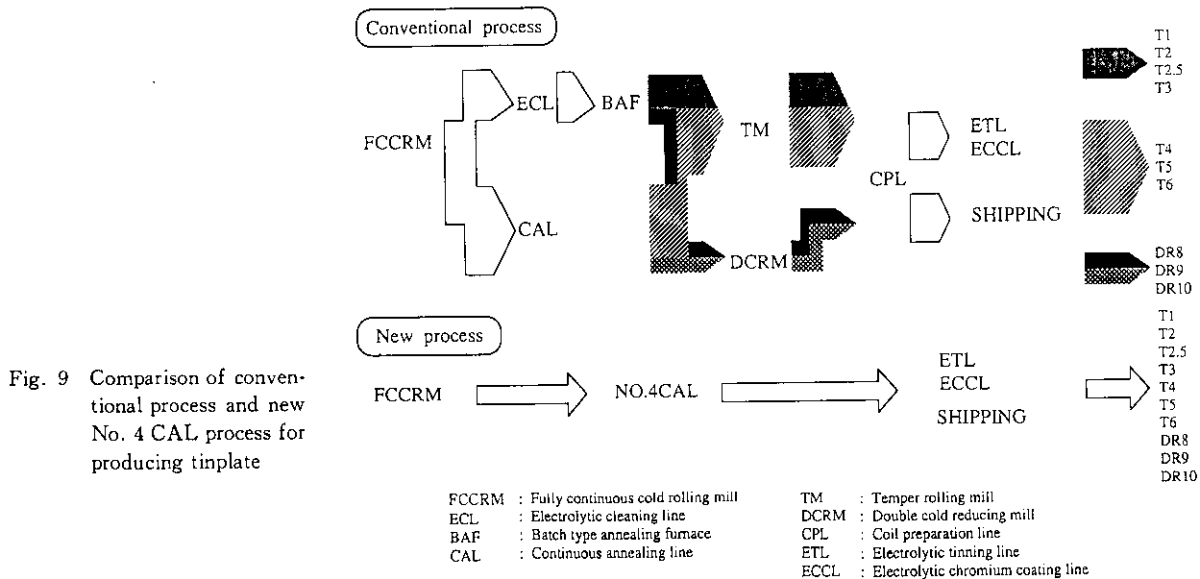
Nb 微量添加極低炭素 Al キルド鋼 (Nb 0.003—0.009%, C 0.003% 以下) スラブを用いて、FDT は低温 (830°C 前後)、CT は中温 (600°C 前後)、連続焼鈍条件は再結晶温度直上の中温・短時間 (750°C, 10 s) 均熱の熱サイクルに制御することにより T1 を製造する技術を開発した。

千葉製鉄所の No. 4 CAL は 1990 年 3 月に稼働し、順調な操業を続けている。その特徴は以下のようにまとめられる。

- (1) Nb 微量添加極低炭素 Al キルド鋼素材を使うことによって従来法と同等以上の材質をもつ T1 が工程生産ができる。
- (2) 世界で初めて炉後部に、広範囲の圧下率を制御できる多目的圧延機を直結したので、1 回圧延製品 T1~6、2 回圧延製品 DR8~10 が同一ラインで製造できる。Nb 微量添加極低炭素鋼素材を用いて、加工硬化法との組合せで T1~3、さらに加工度を大きくして T5~DR8 をつくりわけると、また、N 量を調整した低炭素鋼素材を用いて、熱サイクルおよび加工硬化法との組合せで T3~DR10 をつくりわけると、したがって、Fig. 9 に示すように No. 4 CAL のみで全調質度ぶりき原板を製造できる技術を確認した。
- (3) 設備の主な仕様を Table 3 に示す。Nb 微量添加極低炭素鋼

Table 3 Specifications of No. 4 CAL at Chiba Works

Annual production (t/year)		560 000
Operating speed	Entry section (m/min)	1 200
	Furnace section (m/min)	1 000
	Exit section (m/min)	1 400
Strip	Thickness (mm)	0.15~0.40
	Width (mm)	600~1 067
Coil	Weight (t)	Max. 22.0
	Diameter (mm)	Max. 2 134
Steel type		Tin mill blackplate
Inline mill type		2-stan 4-high multi-purpose cold-rolling mill



素材は、再結晶温度が低炭素鋼素材に比べて約 100°C も高温で、そのうえ降伏強度が低いためバックリングが発生しやすい。しかし、バックリング防止技術の開発により板厚が 0.15 mm の極薄ぶりき原板も効率よく通板できるようになった。また高速通板技術の開発を進めた結果、1 000 m/min の高速で通板できるようになった。この速度は従来の世界最高速 CAL の速度を約 30% 以上も上回るものである。一方、冷延コイルの受取りから焼鈍後、精整済みコイルの次工程への受渡し作業を自動搬送システムで制御する等、徹底した自動化を図った。

5 極低炭素鋼の特徴を活かした缶用鋼板への適用例

5.1 シーム溶接缶胴板への適用

缶胴をロールフォーミングで円筒状に成形し、接合した後、天蓋を巻き締めて食品を充填して、最後に底蓋を巻き締めて仕上げる 3 ピース缶製法において、缶胴の接合法の一つとして、銅ワイヤー型電気抵抗加熱シーム溶接が一般化し溶接速度は向上してきた。胴板には極薄の高調質度材が使用された。しかし、低炭素鋼素材の高調質度ぶりきに溶接を施し、フランジ加工を行うと溶接ナゲット (nugget) 部と母材との境界で破断する、いわゆる HAZ (heat-affected zone) 割れが生じやすかった²³⁾。そのため、極薄化には限界があった。HAZ 割れには、次に示すように C 量の影響が大きいと考えられる。溶接缶用鋼板に従来法 (低炭素 Al キルド鋼—CAL—加工硬化法で仕上げた DR8 ぶりき) と極低炭素鋼を素材とし、従来法と同じ工程で仕上げたものに溶接を行った後の溶接部断面顕微鏡組織を Photo 1 に、硬度分布を Fig. 10 に示す。C 量の多い従来材のナゲット部では結晶粒径が小さく、硬度増加が大きい。しかし極低炭素鋼素材では、硬度増加が非常に小さい。この結果、母材の伸びはいずれも高調質度に仕上げたため小さいが、従来材はさらに溶接ナゲット部の硬度増加が大きくなって、伸びも小さくなるのでフランジ加工で拡缶した際に割れる。一方、極低炭素鋼素材で

は溶接部においても拡缶に必要な伸びが残るため、割れには至らなかったと考えられる。したがって、HAZ 割れに対して有利な極低炭素鋼素材を使うことによって、極薄・高調質度化に十分対応できる。

5.2 PP キャップへの適用

盗用防止機能をそなえた PP キャップ (pilfer proof cap) は、開栓するとキャップ裾部のパーフォレーションのブリッジが簡単に破断し開栓した証拠が残り、同じ状態に復元してシールすることができなくなることから、この名称がつけられた。鋼板は極薄材が使用される。機能を満足させるための材質として、まず深絞り加工性があげられ、製品が小さいためフランジ部のトリミング作業が省略されるので、優れたノイズリング性が要求される。それでいて簡単に破断するために、伸びの小さいものが必要である。これらの材質は従来法では相反するもので、 r 値を大きくするために結晶粒径を大きくすると伸びも大きくなり、 Δr も大きくなる傾向があるため製造が難しかった。しかし Table 4 に示す \bar{r} 値が大きく、 Δr が小

Table 4 Manufacturing specification and mechanical properties of tinplate used for press test of PP cap

Manufacturing specification	Nb added extra-low C Al-killed
Steel type	Steel
Annealing method	CAL
Temper rolling method	DCR
Mechanical properties	
YS (N/mm ²)	463
TS (N/mm ²)	463
El (%)	2.3
Hardness (HR30T)	66.0
\bar{r} value	1.57
Δr	-0.19

Note (1) DCR: Double cold-reducing
 (2) Temper designation: T5CA
 (3) Thickness: 0.15 mm

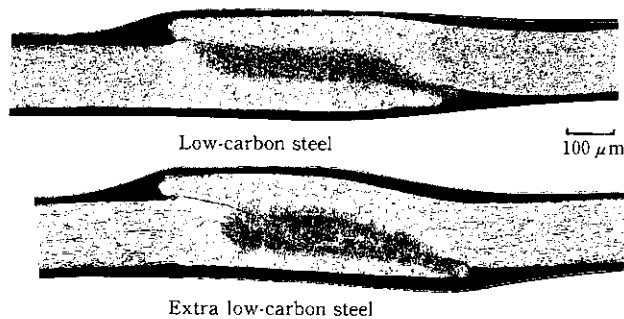


Photo 1 Effect of steel type on cross section microstructure in welded seam

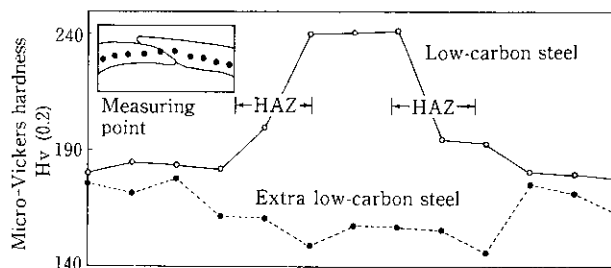
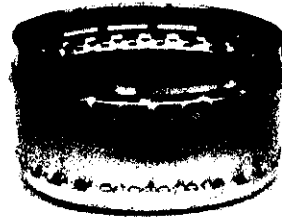


Fig. 10 Effect of steel type on micro-Vickers hardness distribution in welded seam



10 mm

Photo 2 Appearance of pilfer-proof cap

さくできる極低炭素鋼素材を使い、加工硬化を大きく加え伸びを小さくした極薄鋼板 (T6) で成形が可能になった。その PP キャップの外観を Photo 2 に示す。

6 結 言

連続焼鈍法での製造が難しかった最も軟質な調質度ロックウエル T 硬さ T1 のぶりき原板を製造する技術を検討した。その結果、極低炭素鋼の特徴を活かし、Nb 添加量、熱間圧延温度および連続焼鈍・熱サイクルを最適化することにより経済的に製造できる技術を開発した。千葉製鉄所では世界最高速で通板できる No. 4 CAL が稼働した。この新 CAL では T1 を製造するとともに、炉後部に多目的圧延機を直結したので、加工硬化法による調質度のつくり分けと組合せて、全調質度のぶりき原板の商業生産を始めた。

T1 ぶりき原板の製造条件を要約すると以下のとおりである。

- (1) 素材として Nb を 0.003~0.009% の微量添加した極低炭素鋼を用いる。これにより異方性の少ない軟質材が得られる。
- (2) 熱間圧延仕上温度は 830°C 程度の低温、熱延巻取温度は 600°C 程度の中温とする。これにより、熱延コイルの全幅・全長にわたって均一な温度が安定して確保でき、均一な材質を有するぶりき原板が得られる。
- (3) 連続焼鈍での熱サイクルは、焼鈍温度は 750°C の中温で、粒成長を図るために必要な均熱時間は 10 s と短時間である。したがって、板厚の薄い 0.15 mm の原板も効率よく 1 000 m/min の高速で通板できる。

また、極低炭素鋼の特徴を活かしてシーム溶接缶用極薄銅板や PP キャップへの適用を図った。

参 考 文 献

- 1) 久々湊英雄, 泉山禎男, 角南秀夫, 柳島章也, 中里嘉夫, 小原隆史: 川崎製鉄技報, **14** (1982) 4, 466
- 2) 望月一雄, 安田顕, 市田敏郎, 久々湊英雄, 泉山禎男, 浮穴俊通: 鉄と鋼, **68** (1982) 11, S1176
- 3) 坂田 敬, 永野正道, 西田 稔, 久々湊英雄: 鉄と鋼, **68** (1982) 11, S1177
- 4) 久々湊英雄, 泉山禎男, 小野高司, 柳島章也, 太田範男, 小原隆史: 鉄と鋼, **68** (1982) 11, S1178
- 5) F. Yanagishima, Y. Nakazato, Y. Shimoyama, H. Sunami, Y. Ida, T. Haga, and T. Irie: "Development of a Multipurpose Continuous Annealing Line for Cold Rolled Sheet Steels", 1982 AISE Spring Rolling Mill Conference, Baltimore (USA)
- 6) 高崎順介, 入江敏夫, 芳賀雄彦, 柳島章也, 駒村宏一: 鉄と鋼, **68** (1982) 9, 150
- 7) N. Sumida, T. Fujii, Y. Oguchi, H. Morishita, K. Yoshimura, and F. Sudo: *Kawasaki Steel Technical Report*, **8** (1983), 69
- 8) 川崎製鉄(株): 特公平 1-52450
- 9) 川崎製鉄(株): 特公平 1-52451 (登録番号 1569910)
- 10) 川崎製鉄(株): 特公平 1-52452 (登録番号 1569990)
- 11) 小原隆史, 坂田 敬, 西田 稔, 久々湊英雄, 秋山知彦, 太田範男: 鉄と鋼, **69** (1983) 5, S409
- 12) 久々湊英雄, 秋山知彦, 浮穴俊通, 太田範男: 鉄と鋼, **69** (1983) 5, S410
- 13) T. Obara, K. Sakata, K. Osawa, M. Nishida, and T. Irie: *Proceedings of the Symposium on "Technology of Continuously Annealed Cold-Rolled Sheet Steel"*, ed. R. Pradhan, TMS-AIME, (1984), 363
- 14) 下山雄二, 八角忠明, 吉田峰夫, 大野浩伸, 中村武尚, 池田三郎, 増野登彦, 佐久田 満: 材料とプロセス, **4** (1991) 2, 597
- 15) 池田三郎, 市井康雄, 千野俊彦, 中村武尚, 下山雄二, 大野浩伸: 材料とプロセス, **4** (1991) 2, S598
- 16) 川原仁志, 大野浩伸, 小川博之, 江原 真, 中島康久, 比良隆明: 材料とプロセス, **4** (1991) 2, S599
- 17) 下山雄二, 八角忠明, 大野浩伸, 大西建男, 中村武尚, 千野俊彦: 川崎製鉄技報, **23** (1991) 4, 300
- 18) 佐々木 徹, 比良隆明, 阿部英夫, 柳島章也, 下山雄二, 田原紘一: 川崎製鉄技報, **16** (1984) 1, 37
- 19) 佐藤 進, 小原隆史, 高崎順介, 安田 顕, 西田 稔: 川崎製鉄技報, **16** (1984) 4, 273
- 20) W. T. Lankford, S. C. Snyder, and J. A. Bauscher: *Trans. ASM*, **42** (1950), 1197
- 21) 潮田浩作, 小山一夫, 高橋 学: 鉄と鋼, **76** (1990) 9, 1536
- 22) 西沢泰二: 鉄と鋼, **70** (1984) 15, 1984
- 23) M. Sodeik, K. Taffner, and F. Weber: 鉄と鋼, **73** (1987) 5, 討 31