
連続焼鈍法による軟質ぶりき原板製造技術の開発

Manufacture of Soft Temper Tin Mill Blackplates in Multipurpose Continuous Annealing Line (KM-CAL)

久々湊 英雄(Hideo Kuguminato) 泉山 禎男(Yoshio Izumiyama) 角南 秀夫(Hideo Sunami) 柳島 章也(Fumiya Yanagishima) 中里 嘉夫(Yoshio Nakazato) 小原 隆史(Takashi Obara)

要旨：

当社が開発した多目的連続焼鈍炉 (KM-CAL) は、従来、箱焼鈍法で製造されていた軟質ぶりき原板をも製造するために、急冷、過時効処理帯を有している。また、極薄鋼板でも平坦度を悪化することなく急冷ができるように、炉内にブライドルロールを設置するなどの改善がはかられている。この設備によって軟質ぶりき原板を製造するには、C を 0.02～0.07%，N を 0.003%以下に調整した低炭素 AI キルド鋼連铸材を用い、熱延巻取温度はやや高め、620℃程度とする。連続焼鈍は、再結晶保持温度 700℃前後、急冷速度 40～70℃/s、過時効処理 350～450℃×60s の条件で行い、その後 0.8%程度の低圧延率で調質圧延を施す。これらの条件により順調な工程生産を行っている。

Synopsis：

The multipurpose continuous annealing line developed by Kawasaki Steel Corporation (KM-CAL) has rapid cooling and overaging sections to additionally manufacture soft-temper tin mill blackplates which have so far been produced by the bath annealing process. Further, improvements such as in-furnace bridle rolls are incorporated in this continuous annealing line to permit rapid cooling without the deterioration of flatness even in extra-thin steel sheets. The conditions for the production of soft-temper tin mill blackplates by KM-CAL are: (1) use of low-carbon AL-killed CC slabs of 0.02 to 0.07%C and not more than 0.003%N, (2) hot-mill coiling temperature of 620℃, (3) continuous annealing conditions: recrystallization temperature of 700℃, rapid cooling rate of 40 to 70℃/sec and overaging at 400 to 450℃ for 60 sec, and (4) temper rolling with a low reduction of 0.8%. Commercial production was successfully carried out.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

連続焼鈍法による軟質ぶりき原板製造技術の開発

Manufacture of Soft Temper Tin Mill Blackplates in Multipurpose Continuous Annealing Line(KM-CAL)

久々湊 英雄*
Hideo Kuguminato

泉山 禎男**
Yoshio Izumiyama

角南 秀夫***
Hideo Sunami

柳島 章也****
Fumiya Yanagishima

中里 嘉夫*****
Yoshio Nakazato

小原 隆史*****
Takashi Obara

Synopsis:

The multipurpose continuous annealing line developed by Kawasaki Steel Corporation (KM-CAL) has rapid cooling and overaging sections to additionally manufacture soft-temper tin mill blackplates which have so far been produced by the batch annealing process. Further, improvements such as in-furnace bridle rolls are incorporated in this continuous annealing line to permit rapid cooling without the deterioration of flatness even in extra-thin steel sheets. The conditions for the production of soft-temper tin mill blackplates by KM-CAL are: ① use of low-carbon Al-killed CC slabs of 0.02 to 0.07%C and not more than 0.003%N, ② hot-mill coiling temperature of 620°C, ③ continuous annealing conditions: recrystallization temperature of 700°C, rapid cooling rate of 40 to 70°C/sec and overaging at 400 to 450°C for 60 sec, and ④ temper rolling with a low reduction of 0.8%. Commercial production was successfully carried out.

1. 緒言

飲料缶や食缶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T硬さ(H_R30T)の値をもって表され(JIS G3303)、軟質なものからT1からT6に区分されている。各調質度のものをつくりわけるため、従来は、T3以下の軟質ぶりき原板は箱焼鈍法で、T4以上の硬質ぶりき原板は連続焼鈍法で製造されてきた。しかし、軟質ぶりき原板についても均質な材質が短時間の焼鈍で得られる連続焼鈍法の適用が望まれていた。

連続焼鈍法による軟質ぶりき原板の製造技術としては、リムド鋼を用いて熱間圧延の巻取温度(以下CT:Coiling Temp.と略記)を高温で行った後、冷間圧延、再結晶焼鈍、急冷、過時効処理を施してできることが報告されている¹⁾。しかし、板幅端部リム層のC含有量が少ないリムド鋼を用いた連続焼鈍材は、低い硬度が得られるものの、板幅方向の硬度分布がかなり不均一になる。一方連続鑄造(連鑄)製Alキルド鋼素材を用いて、連続焼鈍法で軟質ぶりき原板を製造できれば、ぶりきの品質は次に示すような改善が見込まれるが、キルド鋼を用いて製造できたという報告は、ほとんどなされてないし、商業生産が行われている前

* 千葉製鉄所管理部冷延管理室

*** 千葉製鉄所管理部部長

***** 千葉製鉄所冷間圧延部部長

[昭和57年5月28日原稿受付]

** 千葉製鉄所管理部冷延管理室主査(課長)

**** 千葉製鉄所冷間圧延部冷延技術室主査(課長)

***** 技術研究所第3研究部薄板研究室主任研究員(掛長)

例もなかった。

- (1) 化学成分が均一なので、材質の均一化が図れる。したがって、平坦度が改善され²⁾、印刷を施しても印刷模様の色ずれが生じない。
- (2) 清浄度が高く、鋼板表面に露出する非金属介在物が減少するので、ぶりきの耐食性を改善できる³⁾。
- (3) 連続焼鈍材の降伏強度が高くなるので、ロールコーター方式で塗装を行っても塗装板が反るといった恐れはない。
- (4) 焼鈍時間が著しく短縮されるので、焼鈍中に鋼板表面へCやMnなどが富化濃縮して生ずる表面欠陥が防げる。

なお、脱酸剤にSiを使うと、ぶりきの耐食性を悪化させるので、Alキルド鋼の方が好ましい⁴⁾。

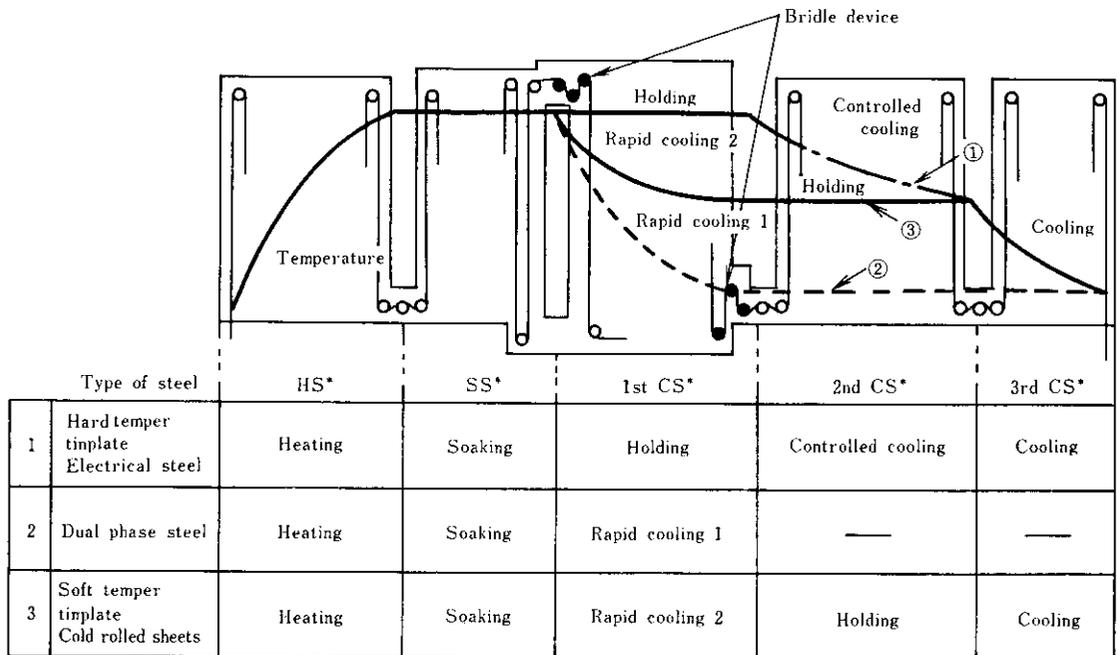
当社で連続製Alキルド鋼素材を用いて、軟質ぶりき原板を連続焼鈍法で製造するのに適した条件を検討し工程化に成功したので、以下に概要を説明する。

2. 軟質ぶりき原板製造に対する多目的連続焼鈍設備の適性

当社では多目的連続焼鈍ライン、KM-CAL (Kawasaki Steel Multipurpose Continuous Annealing Line) を建設し、昭和55年7月に操業を開始した⁵⁾。Fig. 1に示すように急冷、過時効処理設備を有して1パスで3種類のヒートサイクルが得られ、5品種の製造を考慮して設計されている。その内、ぶりきに関しては、既存CALでも製造できる硬質ぶりきのみならず、軟質ぶりき原板も製造できる可能性が見込まれていた。

軟質ぶりき原板を既存CALで製造する場合には、①単純冷却のため、鋼中Cが過飽和に固溶して硬質になる、②鋼板幅方向の冷却むらで温度差が生じ、平坦度が悪化するとともに、炉内での通板性も悪くなりやすい、などの問題があった。

これらの問題に対して、KM-CALの設計時には、以下のような対策を図った。



*HS : Heating section, SS : Soaking section, CS : Cooling section

Fig. 1 Structure of the furnace and function of each section

- (1) 均熱帯は高温を保持できる。
 - (2) 冷却帯は3帯で構成した。第1冷却帯では固溶Cの過飽和度を高めるために急冷する。第2冷却帯では温度を保定し、過時効処理を施してCの析出を図る。そして、第3冷却帯では鋼板が空気に触れても酸化されない温度まで冷却する。
 - (3) 鋼板幅方向の温度分布を測定し、幅方向の冷却能を制御して、冷却むらを防止する。
 - (4) 第1冷却帯の入口と出口に炉内ブライドルロールを設置し、急速冷却中の鋼板張力がFig. 2に示すように他帯より約200kgf低い状態で通板できるようにした。
 - (5) ロールヒーターを設置し、鋼板とロールの温度差を小さくするなど、種々の制御法を採用した。
- 以上の結果、ぶりきのような極薄鋼板でも平坦度を悪化することもなく、急冷ができるようになった。

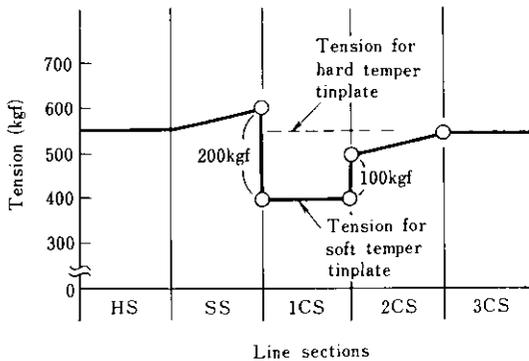


Fig. 2 Tension applied to thin gage (below 0.22mm) in each section of hearth for soft temper tinplate

3. 連続焼鈍の適正条件の実験的検討

工程生産に適した熱サイクルを求めるために、

Table 1に示すような化学成分および熱間圧延条件下で製造した熱延鋼帯を酸洗し、88%の冷間圧延率で最終板厚0.3mmに仕上げ、0.3×60×300(mm)の供試材を採取し、直接通電式薄板熱処理炉で連続焼鈍のシミュレーション実験を行った。

極薄鋼板のぶりきに適した連続焼鈍条件を決めるに際しては、まず、通板作業が容易にできることを考慮する必要がある。そのため、焼鈍温度はできるだけ低温を目標にした。

調査結果をFig. 3に示す。熱サイクルは、再結晶処理条件（保持温度 T_r 、保持時間 t_r ）と過時効処理条件（急冷速度 V_Q 、保持温度 T_0 、保持時間 t_0 ）にわけられる。再結晶処理条件によって再結晶粒径および炭化物組織が決定される。 T_r はC量と素材熱間圧延時の巻取温度（CT）に強く依存するので、素材ごとに適した温度があるが、C量の少ない鋼でも十分に再結晶し、パーライト析出の A_1 変態点よりは低い700°Cにそろえた。次に、過時効処理を効率的に進めるには、固溶Cの過飽和度を高めることが重要で、そのためには溶解度の大きい温度域からの冷却速度を大きくする。そのうえで過時効条件を検討することが有効である。 V_Q は30、50、100°C/sに変化させたが、硬度に及ぼす影響が小さかったので、操作性も考慮して40~70°C/sとした。 T_0 については、300°Cの低温では硬度が高く、400°Cでは硬度が最も低くなったが400~450°Cの範囲では大差なかった。300°Cの場合は過時効の進行が著しく遅れ硬度が高くなったと考えられる。 t_0 は T_0 を450°Cに設定して調べたが60s以上に維持すれば目標の硬度が得られた。したがって、以下の調査はこの熱サイクルで行い、 V_Q は50°C/s、 t_0 は60sと一定にした。

4. 調質圧延条件の実験的検討

KM-CALで急冷、過時効処理を施しても、非時

Table 1 Chemical composition of CC Aluminum-killed steel and hot rolling conditions

Steel	C	Si	Mn	P	S	Al	N _{Total}	N as AlN
D-1	0.035	0.018	0.27	0.017	0.011	0.049	0.0029	0.0020

FT : 835°C, CT : 520°C, Thickness of hot coil : 2.6mm

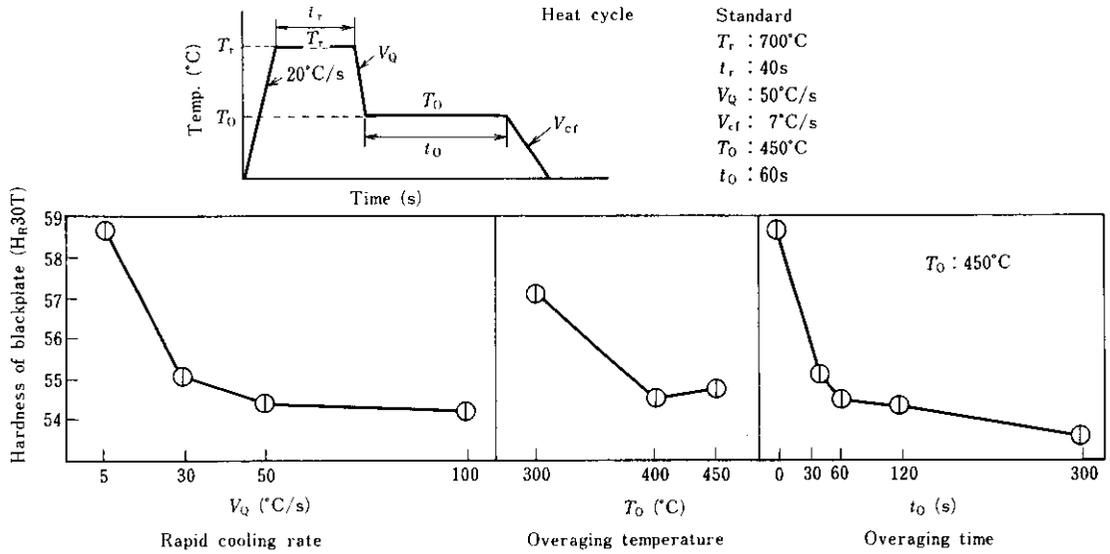


Fig. 3 Effects of heat cycle on hardness of blackplate

効性の鋼板を得ることはむずかしい。また、ぶりきの場合は、めっき後、リフロー処理（350°Cからの水焼入れ）が施されるが、その際、調質圧延により導入された転移に固溶CやNが固定されて歪時効硬化が大きくなる。したがって、軟質ぶりき原板をつくる場合には、適切な調質圧延率の選択も重要になる。

Table 1 に示した熱延鋼帯を用いて、酸洗後、冷間圧延で板厚0.30mmに仕上げた。この冷延鋼帯を先に決めた熱サイクルで、KM-CALにより焼鈍し供試材を採取した。供試材は実験用小型圧延機で各種圧延率の圧延を行い、硬度を測定した。つづいて、実験室でめっき、リフロー処理を施して、再び硬度を測定した。その結果を Fig. 4 に示す。硬度は、圧延率が高いと単純に高くなることがわかった。実験における圧延率は、板面粗度および形状矯正も考慮して、0.8%に決めた。

5. 適切な素材条件の選択

5.1 実験方法

実験は Table 2 に示すような化学成分および熱間圧延条件で製造した厚さ 2.6mm の素材を用いて行った。CT が高温になるに従って結晶粒径は大

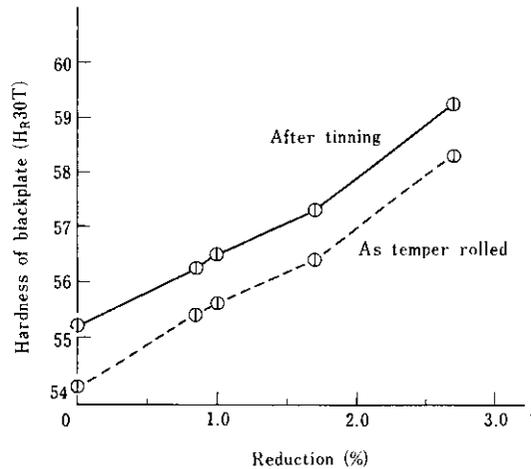


Fig. 4 Effect of temper rolling reduction on hardness in blackplate

きくなるが、640°C以上になると炭化物が凝集粗大化し、それが原板表面に露出するとぶりきの耐食性を悪化させる⁶⁾。したがって、CTは、最高でも、従来の耐食性を維持できる 620°C の中温にとどめた。鋼A、C、D、F、Gは材質に及ぼすC量の影響を検討するため、 N_{Total} 量 0.0025% を目標にほぼ一定にして、C量を5水準に変化させた。また、鋼Bは材質に及ぼすN量の影響を検討するため、C量が鋼Aと同水準でN量を0.004%と多

Table 2 Hot rolling conditions and chemical composition of annealed samples

Symbols		Hot rolling conditions		Chemical composition (wt%)								
		Finishing temperature (°C)	Coiling temperature (°C)	C	Si	Mn	P	S	Al	N _{Total}	N as AlN	N _{Total} - N as AlN
A-1	○	860	540	0.008	0.016	0.25	0.017	0.008	0.024	0.0023	0.0012	0.0011
A-2	◇	860	620	0.008	0.017	0.25	0.017	0.008	0.025	0.0021	0.0012	0.0009
B-1	⊖	855	535	0.007	0.018	0.27	0.016	0.012	0.031	0.0041	0.0011	0.0030
C-1	⊙	845	540	0.024	0.012	0.26	0.019	0.014	0.047	0.0023	0.0013	0.0010
C-2	◆	850	625	0.021	0.011	0.26	0.018	0.012	0.047	0.0028	0.0020	0.0008
D-1	⊕	835	520	0.035	0.018	0.27	0.017	0.011	0.049	0.0029	0.0020	0.0009
D-2	◇	835	625	0.034	0.017	0.27	0.016	0.010	0.047	0.0029	0.0027	0.0002
E-1	⊖	860	540	0.042	0.022	0.27	0.018	0.012	0.044	0.0044	0.0020	0.0024
F-1	●	837	515	0.059	0.013	0.26	0.014	0.012	0.050	0.0020	0.0015	0.0005
F-2	◆	830	625	0.056	0.014	0.26	0.012	0.011	0.050	0.0020	0.0019	0.0001
G-1	●	850	540	0.073	0.016	0.26	0.017	0.014	0.042	0.0023	0.0015	0.0008
G-2	◆	850	615	0.068	0.016	0.26	0.017	0.013	0.042	0.0024	0.0020	0.0004

くしたものの、また、鋼Eは同じくC量が鋼Dと同水準でN量を0.004%と多くした。熱間圧延の仕上温度は同水準とし、CTは低温(540°C前後)と中温(620°C前後)の2水準に変化させた。

この熱延鋼帯を酸洗後、冷間圧延機で板厚0.3mmに圧延し、先に決めた熱サイクルでKM-CALにより焼鈍し、2スタンド調質圧延機で圧延率0.8%の調質圧延を行い、ハロゲン法電気錫めっきラインで#25(錫付着量5.6g/m²)のめっき、リフロー処理を施した。このぶりき鋼帯から供試材を採取し、硬度、引張特性および化学成分を調べた。また、鋼A, C, Gについては、連続焼鈍後、調質圧延後およびめっき・リフロー処理後の各工程で供試材を採取し、各工程における硬度の変化を調べた。材質に及ぼす残存固溶成分全体としての影響を知る方法としては一般に「時効指数」が用いられるが、この実験では、AlN中のN量をブロムエステル法で定量分析し、N_{Total}との差を固溶N量として求め、C量と炭化物分散状況がほぼ同一の材料について固溶Nの影響を調べた。

5.2 ぶりき材質に及ぼすC, N含有量およびCTの影響⁷⁾

Fig. 5に、ぶりきの材質に及ぼすC量および固

溶N量の影響をCTとN量で層別して示す。降伏強度は全体に高く、製造条件との関係は硬度とほぼ同じ傾向を示した。以下に硬度について略述する。

(1) C量の影響

C量が0.02~0.07%で硬度が低く、この範囲より多くても少なくとも高くなる。C量が最も少ない鋼Aが最も硬い。

(2) N量の影響

固溶N量が少ないと、硬度も単純に低下する。

(3) CTの影響

中温材は低温材に比べ、いずれのC量でも硬度は低い。また、C量が同水準の鋼D-1とE-1を比較すると、固溶N量が14ppm多い、鋼D-1は、E-1に比較して硬度が約4高い。

5.3 加工硬化および歪時効硬化に及ぼすC含有量とCTの影響

C量の異なる鋼A, C, Gについて、連続焼鈍後、調質圧延後およびめっき、リフロー処理後の硬度に及ぼすC量とCTの影響を求めFig. 6に示す。

(1) 硬度変化

連続焼鈍後の硬度に対しては、CTの影響が最

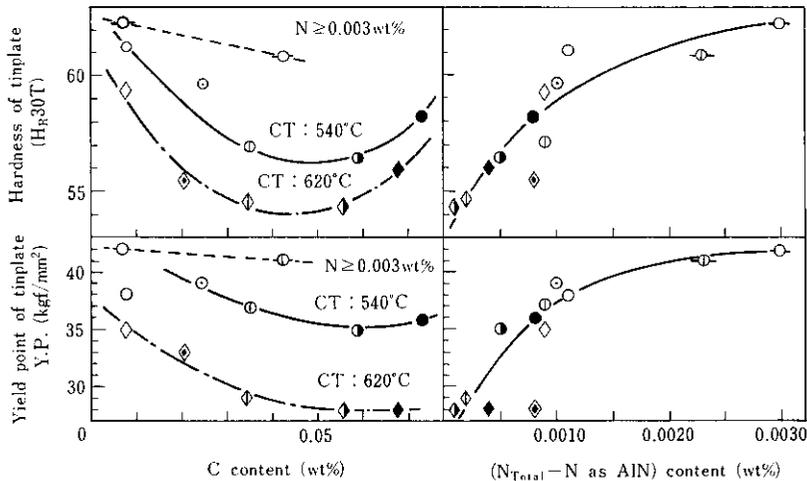
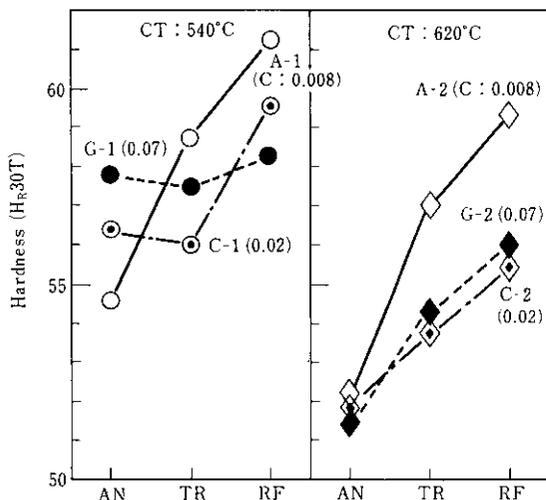


Fig. 5 Effect of C content and $(N_{Total} - N \text{ as AlN})$ content on mechanical properties of tinplate after tinning



AN: As annealed, TR: As temper rolled, RF: Reflowed

Fig. 6 Effect of carbon content and coiling temperature on hardness change during processing

も大きく、CT 中温材の硬度は低温材に比較して平均的に約 5 低くなった。調質圧延による加工硬化には、特異な現象がみられた。すなわち、C 量の最も少ない鋼 A では CT にかかわらず大幅な硬化が生じたが、CT が低温で C 量の多い鋼 C-1 と G-1 では軟化傾向がみられた。めっき、リフロー処理による歪時効硬化に関しては、CT が低温で C 量の多い鋼 G-1 が約 0.5 と小さく、その他は一樣に大きく増加した。連続焼鈍後からリフロー処

理後までの硬度増加は C 量が少ないと大きい。また、ぶりきの硬度は、CT 低温材では連続焼鈍後の順番が逆転して、C 量が多いと小さい。

(2) 顕微鏡組織の変化

連続焼鈍後の顕微鏡組織を Photo. 1 に示す。結晶粒径は C 量が少ないと大きく、C 量が同水準のもので比較すると、CT 中温材は低温材に比較していずれも大きい。一方、炭化物組織は、CT 低温材では、C 量の少ない鋼 A に微細炭化物が非常に少ないが、C 量が多いと密に分布する。また、CT 中温材は、低温材に比較して若干粗大化し、分布も疎になる。

5.4 適切な素材条件⁸⁾

以上の結果を整理すると、以下のようになる。

(1) 結晶粒径、C の析出に関する条件

連続焼鈍後の硬度は、結晶粒径に大きく依存し、結晶粒径が大きい CT 中温材で低くなる。つぎに、同一 CT で比較すると、連続焼鈍後からリフロー処理後までの硬度増加は粒径及び炭化物の分布に関係があり、結晶粒径が小さく、微細炭化物が密に分布したもので少なく、逆に、結晶粒径が大きくて、炭化物の少ないもので多い。

一般に、箱焼鈍法で製造した場合には C 量が少ないと結晶粒径は単純に粗大化し、硬度も低下する。しかし、連続焼鈍材では C が 0.02% 以下と C 量が少ないと、結晶粒径が大きいにもかかわらず

CT (°C)	540		620	
	Microstructure	Carbide	Microstructure	Carbide
0.008				
0.02				
0.07				

Photo. 1 Optical micrographs of annealed tinplates

硬度が高くなった。この原因は次のように考えられる。C量の低めものは連続焼鈍で短時間の過時効処理を施すと、結晶粒径の粗大化に対応して軟質化する。しかし、その効果よりも、C量が少ないことによって、固溶Cの析出サイトとしての微細炭化物が少なく、結晶粒界までの距離も長くなって、Cの析出に必要な拡散距離が長くなる。その結果、過時効処理時のCの析出が遅れて、め

つき時の時効硬化が増大し、硬度が増す。したがって、軟質ふりきを得るためには、結晶粒径はある程度小さくなくても、微細炭化物が密に分布する程度のC量を含むことが重要になる。

(2) AINの析出に関する条件

固溶Nは粒成長を阻害し、固溶強化を増す。箱焼鈍法ではNはAINとして析出して、固溶Nは残らない。しかし、連続焼鈍法ではAINとして十分

析出できず、固溶Nが残存する。したがって、焼鈍前にN量を少なくすることが肝要である。その方法としては、スラブ中のN量を少なく(0.003%以下)し、熱延時に炭化物が凝集粗大化しない程度の中温域で巻取って、AINの析出を促進することが有効である。

CTを中温にすると、結晶粒径が大きくなり、炭化物は若干粗大化するが、硬度は低温材より小さい (Fig. 6 参照)。この原因は、炭化物の分布が疎になることによる硬度の増加よりも、結晶粒径が大きくなるとともに、AINの析出率が高くなった軟質効果が大きいためと考えられる。

6. T4~T2ぶりき原板のつくりわけ

ぶりき用の素材の製造仕様は調質度ごとに異なっているので工程管理が複雑で、生産効率も悪かった。そこで前述の知見をもとに、同一成分のAlキルド鋼素材を用いて、熱延および焼鈍条件を変更することにより、T4~T2ぶりき原板をつくりわけを試みた。

C 0.055%, Mn 0.26%, Al 0.018%の低炭素Alキルド鋼連铸材を使い、熱間圧延で仕上温度を変えて板厚2.6mmに圧延し、620°Cの中温で巻取った。この熱延鋼帯を酸洗後、板厚0.3mmに冷間圧延を行い、KM-CALにおいて既存CALで行える単純熱サイクル、および急冷、過時効処理サイクルで焼鈍を行った。さらに0.8%の低圧延率調質圧延の後、めっき、リフロー処理を施して、ぶりきの硬度変化を調べた。その結果を Fig. 7 に示す。

単純サイクルの焼鈍では硬度が約61のT4ぶりきが得られた。一方、50°C/sで急冷後450°Cで60sの過時効処理材では硬度が単純サイクルのものより約3.5低くなって、T3ぶりきが得られた。さらに結晶粒径が大きくなるとT2ぶりきも製造できる。

7. 工程生産

軟質ぶりき原板を連続焼鈍法で製造するための適正条件をまとめて、Table 3 に示す。軟質な原板を得るためには、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

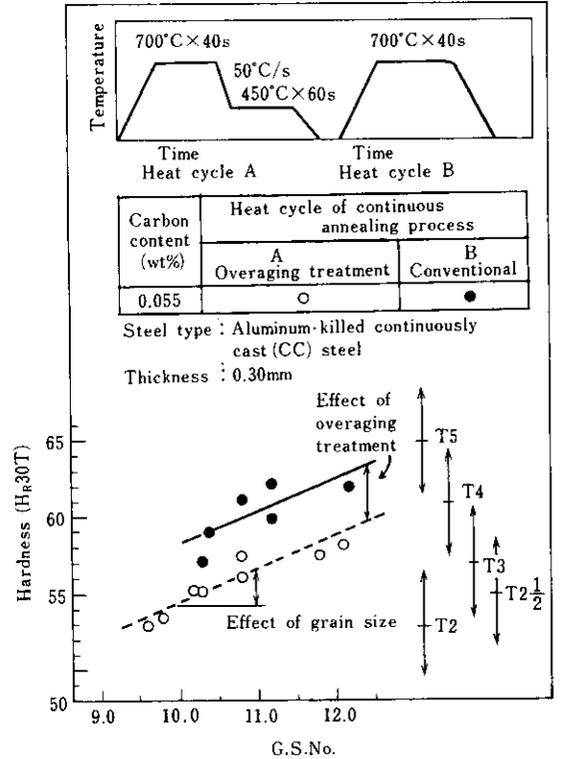


Fig. 7 Effect of overaging treatment, carbon content and grain size number (G.S.No.) on hardness of tinplate

Table 3 Conditions suitable for producing soft temper tinplate in KM-CAL

Material steel	Steel type: C.C. low carbon aluminum killed steel C: 0.02~0.07 (wt%) N _{Total} ≤ 0.003 (wt%) N _{Total} - N as AlN ≤ 0.001 (wt%)
Hot rolling	Coiling temp.: 620°C
Heating cycle	Annealing (700°C × 40s) Cooling rate (40~70°C/s) Overaging (400~450°C × 60s)
Temper rolling	Rolling reduction: 0.8(%)

である。その連続焼鈍条件としては、再結晶温度

を高くして結晶粒の成長を促進し、急冷・過時効帯では固溶Cの析出が効率的に進む熱サイクルを採用する。一方、素材条件としては、固溶Cの析出サイトとしての微細炭化物が密に分布して、固溶N量が少なく、そのうえで結晶粒径の粗大化を図ったものが適している。

N量を0.003%以下に調整するためには、製鋼段階でAl脱酸時の空気からのN吸収を防ぐことが肝要である。取鍋溶鋼を空気からしや断し、取鍋底部から不活性ガスを吹き込んで攪拌しながら、Alワイヤーで添加する方法が有効である。

以上の結果、板厚0.20mmまでの軟質ぶりき原

板の製造が可能になり、昭和55年7月のKM-CAL稼動以来、硬質材のほか、調質度T3~T2の原板も工程生産を続けている。

Fig. 8にT3ぶりき工程材の硬度のばらつきを、造塊材、連铸材、および箱焼鈍法とKM-CAL法を比較して示す。連铸材をKM-CALで処理したぶりきが、硬度のばらつきが最も小さい。また、連続焼鈍法でぶりき原板を製造する場合に素材にキャップド鋼を用いた場合に比べると、連铸製Alキルド鋼を用いた場合にはFig. 9に示すように板幅方向の硬度分布に大幅な改善が認められる。

また、連铸-連続焼鈍法で製造したAlキルド鋼

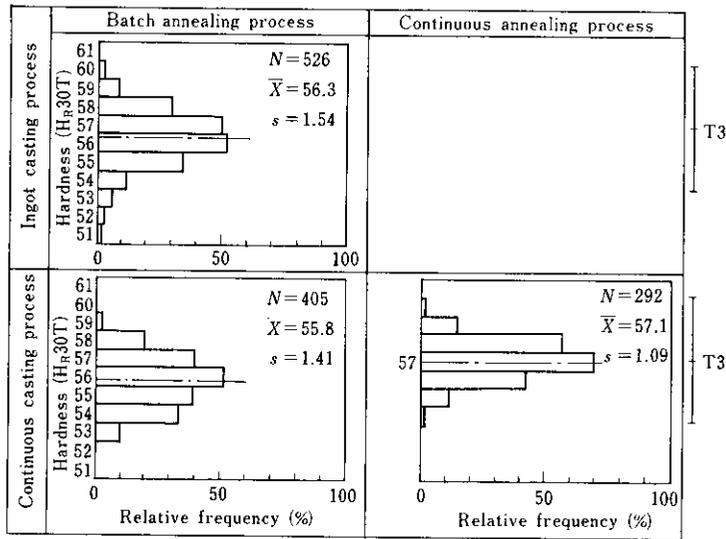


Fig. 8 Effect of slab production process and annealing process on the hardness distribution of soft temper tinplate

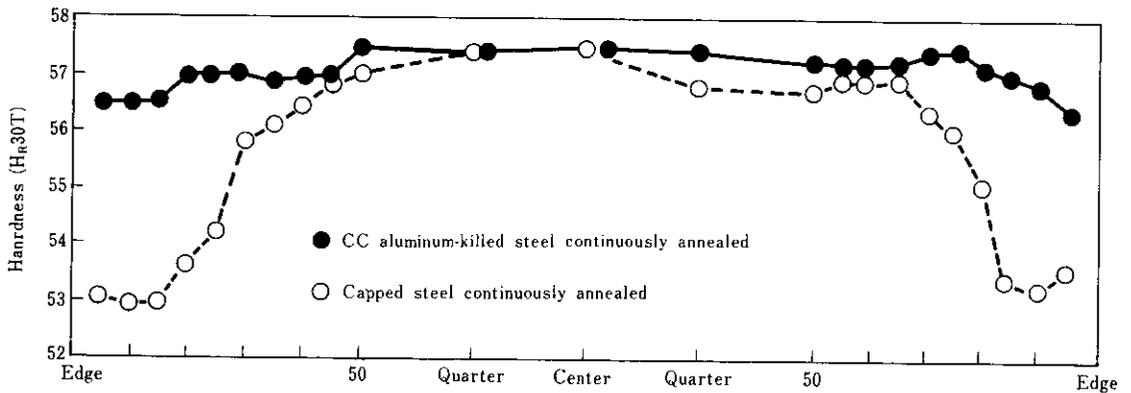


Fig. 9 Distribution of tinplate hardness in transverse direction

のぶりきは、軟質であってもコーター反りが生じないだけの高い降伏強度を示している。

8. 結 言

多目的連続焼鈍炉 (KM-CAL) は、従来、箱焼鈍で製造されていた軟質ぶりき原板も製造するために、急冷、過時効処理帯を有し、極薄鋼板でも平坦度を悪化することなく急冷ができるように、種々の改善が図られている。その KM-CAL で軟質ぶりき原板を製造するための条件を、特に硬度に大きく影響を及ぼす、製鋼、熱間圧延、焼鈍

および調質圧延条件について検討を行った。その結果、連铸製 Al キルド鋼素材で製造できる条件が確立でき、商業生産が可能になった。均質性のすぐれた T3~T2 の軟質ぶりき原板を得る条件を要約して以下に示す。

- (1) 素材は C を 0.02~0.07%, N を 0.003% 以下、に調整した低炭素 Al キルド鋼連铸材とする。
- (2) 熱延巻取温度は 620°C 程度の中温とする。
- (3) 連続焼鈍の熱サイクルは、再結晶保持温度を 700°C 前後、急冷速度を 40~70°C/s、過時効処理を 400~450°C として 60s 行う。
- (4) 調質圧延は 0.8% 程度の低圧延率とする。

参 考 文 献

- 1) 久保寺, 荒木, 西本, 田中, 栗原: 鉄と鋼, 60 (1974) 4, S331
- 2) 泉山: 川崎製鉄技報, 12 (1980) 3, 548
- 3) 蛇目, 原, 松島, 高野, 神原: 鉄と鋼, 66 (1980) 2, A85
- 4) 望月, 番, 原田: 鉄と鋼, 66 (1980) 2, A93
- 5) 柳島, 下山, 鈴木, 角南, 芳賀, 北田, 入江: 川崎製鉄技報, 13 (1981) 2, 195
- 6) 望月, 安田, 市田, 久々湊, 泉山, 浮穴: 鉄と鋼, 68 (1982) 12, S1176
- 7) 坂田, 小原, 永野, 西田, 久々湊: 鉄と鋼, 68 (1982) 12, S1177
- 8) 久々湊, 泉山, 小野, 柳島, 太田, 小原: 鉄と鋼, 68 (1982) 12, S1178