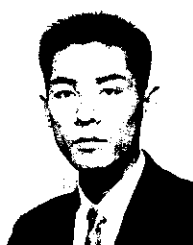


Tin Mill Products with an Excellent Expansion Formability for Welded Cans



荒谷 誠
Makoto Aratani
千葉製鉄所 管理部缶
用鋼板管理室 主査
(主席掛長)



小幡 由紀夫
Yukio Kobata
千葉製鉄所 管理部缶
用鋼板管理室 主査
(掛長)



久々湊 英雄
Hideo Kuguminato
千葉製鉄所 管理部
主査(部長補)

要旨

缶胴部を拡大成形する飲料缶用 3 ピース溶接缶に適した鋼板を開発した。従来の硬質鋼板では、(1) 缶胴を拡大成形すると、母材部が高さ方向に大きく収縮変形し、溶接部は変形しにくい凸形状になり、蓋を巻締めると傷める恐れがあった。 r 値の問題であり、鋼中 C 量を多くし、缶胴周方向の r 値を小さくして収縮変形量を小さくした。(2) ストレッチャーストレインが発生し、美粧性を損ねた。ひずみ時効性の問題であり、箱焼鈍過時効処理を行ない解消した。(3) 大板の幅最端部位置から板取りした場合、溶接部近傍でくびれ現象が発生した。伸びが小さいことと、板幅最端部の板厚減少の問題である。伸びは中温連続焼鈍 (750°C) で増大し、板厚は熱延鋼帯の板クラウンを小さくし、変形応力を増大して解決した。

Synopsis:

Kawasaki Steel has developed a steel suitable for three-piece beverage cans whose bodies are expanded after welding. The reasons why the conventional steel cannot be applied to the same use are, as follows: (1) When a welded body is expanded, it shrinks in the direction of the can height, except the less formable welded portion, which becomes in a convex shape and may hurt the body when it is curled and seamed with a can top lid. This is caused by a high r -value in the peripheral direction of the can body. (2) Stretcher strain is generated and causes poor surface appearance. This is caused by the strain aging effect. (3) When a can is made from the extreme edge portion of a steel sheet, necking may occur at the welded portion of the can. This is caused by a low elongation and a decrease in thickness at the extreme edges of the steel sheet. Kawasaki Steel has solved these problems of (1) to (3) respectively by the countermeasures, which are, as follows: (1) In order to decrease the r -value in the peripheral direction of the can body, the concentration of carbon is increased. (2) In order to reduce the strain aging effect, an over-aging treatment with a batch annealing furnace is applied. (3) In order to increase the elongation, a continuous annealing at a temperature of about 750°C is applied. And Kawasaki Steel has decreased the crown of the hot rolled strip, the raw material of a tin mill product, in order to avoid the decrease in thickness at the extreme edges of steel sheets.

1 緒 言

食缶の生産量は年間約 400 億缶であり、その 95% はコーヒーなどが充填される飲料缶である。食缶容器には 2 ピース缶と 3 ピース缶がある。2 ピース缶は、プレス加工で一体成形された胴部・底部と蓋部の 2 部品で構成されている¹⁾。胴部・底部には、ぶりきやティンフリースチール (chromium plated tin free steel, TFS, JIS G3315) の缶用鋼板が使用されている。3 ピース缶は、胴部、底部および蓋部の 3 部品で構成されている²⁾。胴部には、ぶりき、TFS または溶接缶用の薄目付ぶりき LTS (lightly tin-coated steel) が使われている。缶用鋼板を所定のサイズに板取りした後、ロールフォーミングで円筒状に加工後接合し、さらに、両端に蓋部と底部を組み付

けて製作する。接合としては、はんだ法、ナイロン接着法、電気シーム溶接法などの方法がある。

近年、缶デザインに特徴を持たせるために、胴部中央を拡大成形した 3 ピース拡大缶³⁻⁵⁾ が使われ始めている。拡大缶の胴部は板取り後、溶接して円筒とした後で、Fig. 1 に示す割型を挿入して拡大し、割型を縮小して抜き去る方法で製作される。拡大変形量は、空缶輸送時の輸送効率を考慮して通常 10% となっている。

一方、電気シーム溶接缶 (溶接缶) に PET フィルムをラミネートした素材を用いた新しい缶が登場してきた⁶⁾。ラミネート缶の外面にはグラビア印刷で美しい意匠が刷り込まれた PET フィルムが、内面には飲料の風味やうまみを保持するために透明 PET フィルムが貼られている。Fig. 2 に鋼板の圧延方向、ラミネートフィルム貼合の方向および缶胴部の加工成形方向との関係を示す。従来法ではフィルム貼合の方向と圧延方向は 90° 異なっており、缶胴体円周方向は圧延方向と同じ方向になっていた。これに対してフィルムラミ

* 平成 11 年 5 月 24 日原稿受付

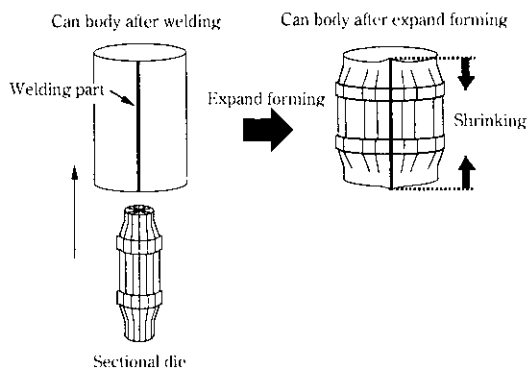


Fig. 1 Schematic illustration of expand forming

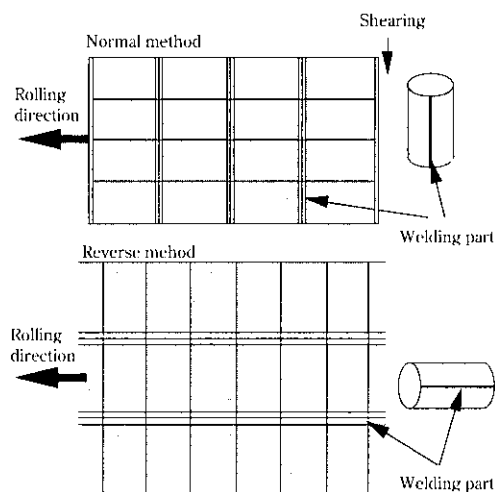


Fig. 2 Manufacturing method of can body

ネット法 (reverse method) では、ラミネート作業での効率を上げるためにラミネートフィルムは素材コイルの圧延方向に連続して貼り付けられる。この時、溶接に必要な幅 (片側約 2mm) はフィルムを貼らない部分として残している。フィルムラミネート法では胴体円周方向が圧延方向に対して 90° の方向になっており¹⁰⁾、したがって溶接方向およびネックイン加工方向も圧延方向と 90° の方向となる。鋼板の加工性は通常、圧延方向に優れており、90° 方向では劣る。拡大缶においては拡大変形させる方向は加工性に劣る方向となっている。鋼板の異方性のために缶胴部を拡大加工させる際に缶高きの収縮が生じた。これは従来の溶接缶では見られなかったことであり、拡大加工溶接缶に使用する鋼板固有の問題である。

本論文では、フィルムラミネート素材を溶接後、拡大して仕上げる溶接缶に適した鋼板を開発した結果について述べる。

2 飲料用溶接缶用鋼板と拡大加工

2.1 缶用鋼板の種類と特徴

缶用鋼板は、製法と機械的特性によって次の 4 種類に大別される。

(1) 箱焼鈍法による軟質鋼板

低炭素 Al キルド鋼を素材にして、冷間圧延後に箱焼鈍を行ない製造される。この鋼板は非時効性の軟質鋼板である。加工性に優れている。

(2) 連続焼鈍法による硬質鋼板

低炭素 Al キルド鋼を素材にして、冷間圧延後に連続焼鈍を

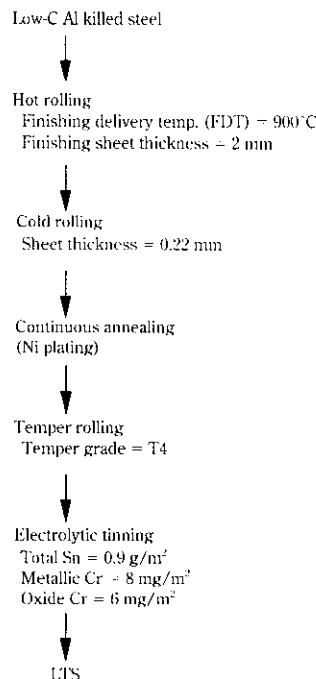


Fig. 3 Manufacturing process of LTS

行ない製造される。この鋼板はひずみ時効硬化性の硬質鋼板で、薄肉軽量化に適しているという特徴を有する。

(3) 2 回圧延法による高強度・極薄鋼板

低炭素 Al キルド鋼を素材にして、冷間圧延後に、連続焼鈍を行ない、さらにその後、数十%の圧下率で 2 回目の冷間圧延を行なって製造される¹¹⁾。

近年、製造法は (3) と同様であるが、素材に極低炭素 Al キルド鋼を使用した缶用鋼板も製造されている^{12~14)}。

(4) 連続焼鈍法による固溶強化鋼板

国内では、軽量化のために飲料用溶接缶用鋼板の薄肉化²⁰⁾が求められている。またネックイン加工²¹⁾を活用する技術の進展にともなう高ネックイン加工性能と缶体強度を確保するための高硬質性能が要求されている。2 つの性能は相反する特性であるが、両者を兼ね備えたものが望まれている。

冷間圧延時の特性を考えると、冷間圧延時には軟質で、その後の熱処理などで硬質になる鋼板が望ましく、開発された固溶強化連続焼鈍材が使われている^{22~24)}。

2.2 溶接缶の拡大加工および評価

溶接缶用に使用されている硬質鋼板を素材にした拡大缶の製造法について述べる。0.04%C-0.04%Al-0.0025%N の成分を基本組成とする低炭素 Al キルド鋼を溶製し、Fig. 3 に示す方法で原板を製造し、すずめっき処理した鋼板を、さらに、Fig. 4 に示す方法で拡大加工を施して、拡大缶を製作する。

2.3 拡大缶製造における技術課題

上記の方法で試作した拡大缶には、次の 3 つの課題が発生した。すなわち (1) 鋼板の異方性による缶高き方向の収縮、(2) ひずみ時効性によるストレッチャーストレインの発生、および (3) 変形能不足によるくびれ現象が発生した。これらの改善策を検討した。

2.3.1 鋼板の異方性の改良

缶胴円筒部の拡大加工による変形は、Fig. 1 に示したように、溶

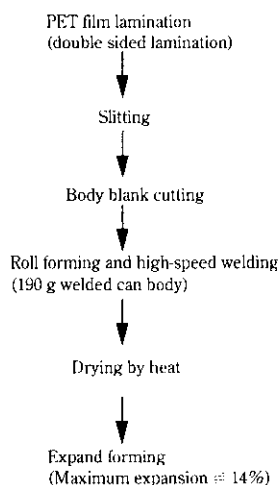


Fig. 4 Manufacturing process of welded can with expand forming

接部以外での高さ方向の変形量が大きく（収縮変形が大きく）、溶接部での収縮が小さかった。この状態で蓋を取り付けるための二重巻き締めを行なうと、凸形状の溶接部で蓋を傷める可能性が高いと考えられた。

缶高さ方向の不均一収縮の原因として、まず第一に板厚異方性の影響が挙げられる。圧延時の板幅方向（缶の円周方向）の塑性ひずみと板厚方向（缶の半径方向）の塑性ひずみの差異、すなわち板厚異方性の影響により、板幅方向の変形が板厚方向の変形よりも大きかったためと考えられる。

これまでの用途では、板面から行なう薄鋼板の成形において板厚の変化を少なくするために板厚方向より板幅方向で変形しやすいように材料設計が図られている。このことは拡大缶用途に必要な特性と逆の考えである。したがって、拡大缶の不均一収縮を解決するために、板厚方向の塑性ひずみ特性を改善した材料を検討した。

板厚異方性の指標として r 値がある。 r 値は単軸引張状態下における板幅方向のひずみと板厚方向のひずみの比で定義される。従来用途の材料では $r > 1$ であるが、拡大缶用途として必要な板は $r < 1$ の特性を有する鋼板である。

缶高さ方向の不均一収縮のもう 1 つの原因として溶接後のラップ板厚が素材厚の約 1.4 倍となったこと、および、溶接ナゲット部の結晶粒が小さくなって、硬さが増して、溶接部の変形能が、周辺部のそれより小さくなったことが考えられる。

2.3.2 ひずみ時効性の改良

円筒加工と焼付けを行なった後に拡大加工を行なうと、ストレッチャーストレインが発生した。ストレッチャーストレインはひずみ時効性を有する鋼板に見られる現象で、鋼中に C, N などの侵入型固溶成分を固溶状態で残存させると耐時効性が劣化して、成形時に発生する²⁹⁾。3 ピース缶においては、曲げによる円筒加工を行なう場合に、円筒形状が折れ線状に屈曲するフルーティング現象と呼ばれる類似現象が生じることが知られているが、連続焼鈍材を用い、固溶成分を多く残存させて製造されるひずみ時効性鋼板を使った場合でも、フルーティングは発生させないで製造することができる。

これに対して、拡大加工時にストレッチャーストレインが発生した原因は、その後の熱処理によって、転位に固溶 C、固溶 N が固着し、ひずみ時効性が現われて、再び硬質鋼板相当の材質になったためと考えられる。

2.3.3 変形能の改良

くびれは、板取り位置が、板厚が薄くなるコイル幅端部のときに

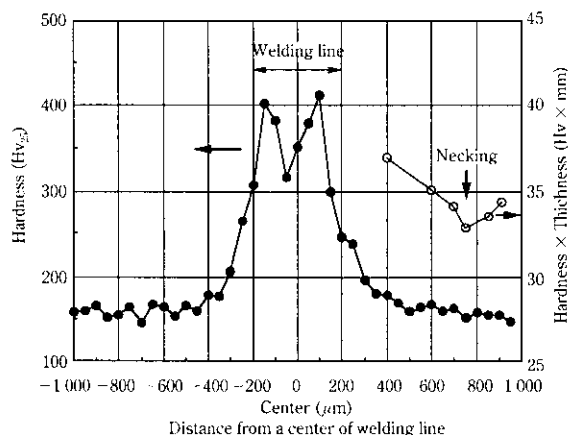


Fig. 5 Hardness distribution in a vicinity of welding line

だけ発生した。また、主に拡大変形量が最も大きい缶胴高さ中央部において、接合ラップ部の近傍の母材部で見られた。

拡大加工後に測定した断面の硬さと、加工前の原板板厚を、溶接部からくびれが発生した母材部の位置において測定した。その結果を Fig. 5 に示す。くびれは断面硬さ Hv と板厚との積が最小になる位置で発生することが分かる。

くびれは、形状観察の結果から、溶接部が拡大加工時に割型のセグメント間、すなわち、実質的に板が拡大される位置に存在した時にだけ発生していたことも分かった。溶接時の熱影響によって生じた変形能の小さい溶接部がセグメント間に位置すると、この部分での伸びが不足となり、この部分を補償するために、溶接部のすぐ近傍で大きな拡大変形が生じ、くびれが発生すると推測される。

上述の考察から、くびれ改善法としては、コイル幅端部から板取りしたときの溶接部近傍における変形能を大きくすること、すなわちコイル幅最端部の板厚を大きくすることが有効である。

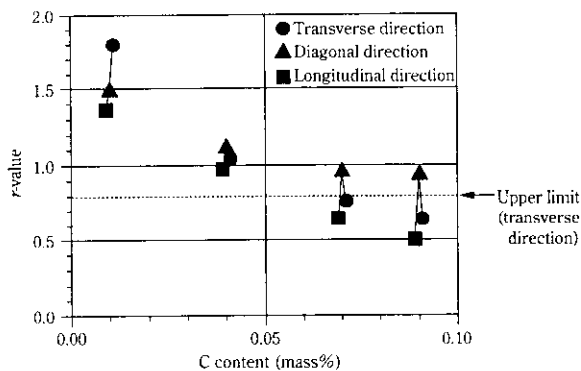
3 拡大缶に適する成分・材質と製造法の開発

前章で明らかとなった 3 つの改善の考え方に基づいて、(1) 小 r 値材の開発、(2) 時効性改善のための固溶成分の調整と熱処理条件の最適化、(3) コイル幅端部板厚を得るための板クラウン形状の最適化を行なった。その結果について述べる。

3.1 小 r 値材の開発

r 値に影響を及ぼす因子としては、(1) 炭化物や窒化物など析出物の再結晶過程における析出挙動や分散状態²⁶⁾、(2) 熱間圧延温度²⁷⁾、(3) 冷間圧延の圧下率²⁷⁾、(4) 焼鈍条件²⁸⁾ などがある。ここでは r 値を安定して小さくする方法として連続焼鈍法を中心にして鋼中 C 量に着目した。

r 値および拡大後の収縮変形率と C 量との関係を調べた。C 量を 0.01～0.09% で 4 水準に変化させた 0.07%Al-0.0025%N を基本成分とする Al キルド鋼を素材に、通常の連続焼鈍法による硬質鋼板製法で仕上げ、評価した。Fig. 6 に C 量と r 値との関係を示す。C 量が増すと r 値は低下した。C 量が 0.07% 以上では r 値の変化は小さい。Fig. 7 に幅方向 (T) r 値をパラメータにして、収縮変形率と缶円周方向位置との関係を示す。C 量が 0.07% 以上であれば、 r 値は 0.8 以下となり、収縮変形率も小さく、凸形状も小さくなって、蓋の巻き締め上、問題は生じなかった。収縮変形量を小さくするためには C 量を 0.06～0.08% とすればよいことがわかった。

Fig. 6 Effect of carbon content on the r -value

3.2 ひずみ時効性改良のための固溶成分の調整と熱処理条件の最適化

拡大倍に発生するストレッチャーストレインとくびれを防止するために、固溶成分を少なくする製法を検討した。

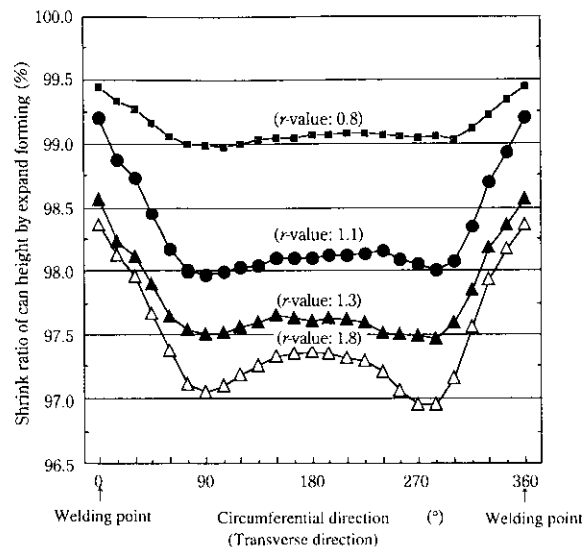
固溶 C 量、固溶 N 量を少なくする方法として、製鋼精錬時に混入する N 量を極力少なくし、焼鈍時に炭化物や窒化物として析出させることが有効である²⁹⁻³²⁾。熱間圧延巻取温度 (CT) を高くして巻取の方法も考えられるが、結晶粒が粗大となるとともに r 値も大きくなるので好ましくない。

伸びを大きくするためには、肌荒れにならない範囲で結晶粒をできるだけ大きくすることが有効であり、連続焼鈍を高温で行なう条件を検討した。0.07%C-0.07%Al-0.0025%N を基本成分にして、次の 5 種類の焼鈍条件で調査した。

- (1) 700°C 低温連続焼鈍
- (2) 700°C 低温連続焼鈍の後半で 550°C 過時効処理
- (3) 700°C 低温連続焼鈍後、550°C 箱焼鈍過時効処理
- (4) 750°C 中温連続焼鈍後、550°C 箱焼鈍過時効処理
- (5) 700°C 箱焼鈍

缶用銅板の連続焼鈍温度は、低炭素鋼を A1 変態点 (720°C) 直下の温度で行なわれる。1990 年に稼働した千葉製鉄所第 4 連続焼鈍ラインは極低炭素鋼 (再結晶温度 750°C) も高速通板 (炉部通板速度 1000 mpm) ができる缶用銅板専用中温設備で、中温焼鈍も工程生産が可能である。

結果を Table 1 に示す。750°C 中温連続焼鈍と 550°C 箱焼鈍過時効処理を行なった (4) は Photo 1 に示すように、結晶粒は大きく、

Fig. 7 Effect of transverse r -value on shrinking ratio of can height by expand forming

ストレッチャーストレインの発生も見られなかった。

焼鈍処理 (2) は、降伏点伸びは小さくなったが、ストレッチャーストレインを解消するには不十分であった。

過時効処理を箱焼鈍で行なった³³⁾ (3) は、 r 値は 0.7 と小さく、ストレッチャーストレインは解消された。

単なる箱焼鈍を行なった (5) は、非時効性にはなるものの、 r 値が 1.27 で拡大倍には適しない。

750°C 中温連続焼鈍と 550°C 箱焼鈍過時効処理を行なった場合に、 r 値を増大することなく、ひずみ時効性を大幅に改善できた理由として次のことが考えられる。Al 変態点以上の中温焼鈍でも、箱焼鈍・低温過時効処理を前提とする場合には、昇温過程で N は AlN として固定されて、冷却過程で C は炭化物として析出し、固溶 C が減少して、ひずみ時効性も改善される。その結果、結晶粒が大きくなり、伸びは、箱焼鈍の伸び (39%) と同等の 38% と大きくなったものと考えられる。

上に述べたように、箱焼鈍の高温均熱帯を避けて、低温設定で昇温と冷却過程を有効に使うことによって、 r 値を大きくすることなく、ひずみ時効性を改善する方法を見出した。

3.3 板厚均一化

これまで 3.1 と 3.2 節で述べた特性を維持しながら、くびれを改

Table 1 Effect of annealing method on mechanical properties and quality after expand forming

Run No.	Annealing temperature (°C)		Temper grade	Hardness (HR 30 T)	r -value (transverse direction)	El. (%)	Y. El (%)	G. S. No.	Shrink ratio (%)		Stretcher strain	Thickness reduction ratio (%)
	CAL	BAF (O.A)							Welding point	Wall		
(1)	700		T4	61	0.66	31	7	12.6	0.5	1.0	Appearance (clear)	32
(2)	700→550		T3	58	0.70	32	3	12.4	0.6	1.1	Appearance (small)	26
(3)	700	550	T3	56	0.64	34	0	12.5	0.5	0.9	No	11
(4)	750	550	T2.5	55	0.68	38	0	12.1	0.6	1.0	No	5
(5)		700	T2	52	1.27	39	0	10.3	0.8	2.0	No	4

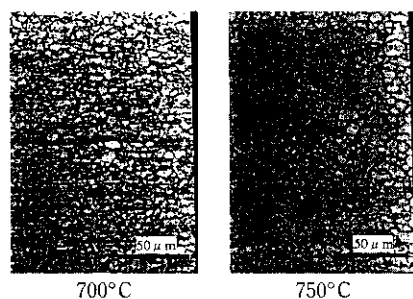


Photo 1 Effect of annealing temperature on the microstructure (CAL type)

善するために、幅方向の板厚プロファイルを平坦にして、幅方向最端部の板厚を大きくする方法を検討した。その方法として、熱間圧延板クラウンを小さくすることが基本になる。千葉製鉄所第3熱間圧延工場では、ベアクロスミルと強力なワークロールベンダーを採用し、板クラウンを広い範囲で、高精度に制御することが可能である³⁴⁾。本設備を用いて製造した時の板クラウンの一例を Fig. 8 に示す。板厚は板幅方向において $\pm 20 \mu\text{m}$ の均一性を有することが分かる。本設備を使用して製造される幅方向板厚の均一性に優れた拡大缶用鋼板を用いることで拡大時のくびれは解消された。

4 結 言

缶胴部を拡大させた飲料缶用3ピース溶接缶に適した鋼板を開発した。

従来材を使用した時に生じた3つの課題に対して、それぞれ適切

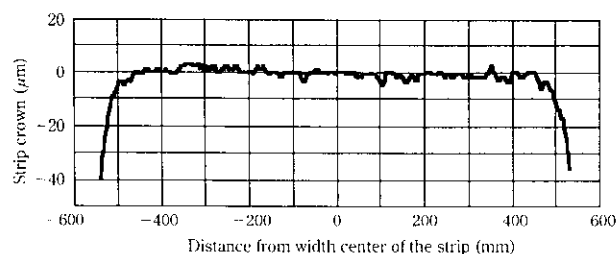


Fig. 8 Example of strip crown

な解決策を見出した。

- (1) 缶胴高さ方向での収縮変形は、缶円周方向（幅方向）の r 値を小さくなるように鋼中 C 量を 0.06~0.08% に最適化することによって解決された。
- (2) ストレッチャーストレインの発生に対しては、耐ひずみ時効性を制御するために、750°C での連続焼鈍後に 550°C 箱焼鈍過時効処理を行なうことによって、その発生を抑えることができた。
- (3) くびれの発生に対してはその発生原因を究明した。その結果、伸びの改善に対しては、中温連続焼鈍 (750°C) が可能な第4連続焼鈍ラインを用いることによって、板厚の均一性改善に対しては、高精度板クラウン制御システムを有する第3熱間圧延工場での板クラウンの小さな鋼板を製造することによってくびれの発生は防止された。

これらの新しく見出した製造技術を缶用拡大缶製造に適用することによって、拡缶性に優れた溶接缶用鋼板を安定して製造することが可能となった。

参 考 文 献

- 1) W. Panknin, C. H. Schneider, and M. Sodei: "Plastic Deformation of Tin Plate in Can Manufacturing", Sheet Metal Ind., Aug. (1976), 137
- 2) 東洋鋼板(株):「ぶりきとティンフリースチール」, (1974), [(株)アグネ]
- 3) 山崎方宏: 食品と容器, **29**(1988)6, 284
- 4) "Reforming", The Canmaker Feb., (1996), 32
- 5) "Zippy Can Wins Design Prize", The Canmaker Aug., (1998), 9
- 6) 大和製罐(株): 特開平5-111674
- 7) 北海製罐(株): 特開平5-42605
- 8) 山崎方宏: Beverage Japan, June (1996)174, 98
- 9) 田中泰之: Beverage Japan, June (1996)174, 100
- 10) 菅沼七雄, 山田純夫, 登坂章男, 久々湊英雄: 金属, **65**(1995)6, 475
- 11) 周藤悦郎: 塑性と加工, **11**(1970)112, 351
- 12) 久々湊英雄, 加藤寿勝, 西川 廣, 白石昌司, 下山雄二, 藤長千香子: 川崎製鉄技報, **23**(1991)4, 44
- 13) 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
- 14) H. Kuguminato, T. Kato, T. Sekine, A. Tosaka, C. Fujinaga, S. Shimoyama, H. Ohno, and R. Asaho: "Advanced Manufacturing Process for Tin Mill Blackplate with All Temper Designations by Continuous Annealing Developments in the Annealing of Sheet Steels", edited by R. Pradhan and Gupta, The Minerals, Metals & Materials Soc., (1992), 397
- 15) C. Fujinaga, A. Tosaka, T. Kato, and H. Kuguminato: *ISIJ Int.*, **34**(1994)1, 108
- 16) 奥田金晴, 藤長千香子, 登坂章男, 古井 修, 佐藤 覚, 久々湊英雄: *CAMP-ISIJ*, **9**(1996)536, 428
- 17) 奥田金晴, 登坂章男, 古井 修, 佐藤 覚, 久々湊英雄: *CAMP-ISIJ*, **9**(1996)1342, 472
- 18) 奥田金晴, 登坂章男, 古井 修, 佐藤 覚, 久々湊英雄: 鉄と鋼, **83**(1997)9, 569
- 19) K. Okuda, C. Fujinaga, K. Sakata, H. Kuguminato, and T. Obara: "Applications of Ultra-low-carbon Steel Sheet to Tin Mill Blackplate", 39th MWSP Conf. Proc., ISS, XXXV(1998), 93
- 20) 今津勝宏: プレス技術, **22**(1984)12, 69
- 21) 今津勝宏: 食品工業, **27**(1984)16, 55
- 22) 登坂章男, 荒谷昌利, 久々湊英雄: 川崎製鉄技報, **27**(1995)3, 169
- 23) 荒谷昌利, 登坂章男, 古井 修, 小原隆史, 久々湊英雄: 鉄と鋼, **83**(1997)4, 251
- 24) 登坂章男, 荒谷昌利, 小原隆史, 久々湊英雄, 泉山植男: までりあ, **36**(1997)4, 379
- 25) 周藤悦郎:「ストレッチャーストレイン」, 金属学新占, (1970), [日本金属学会]
- 26) 山田 正, 吉田育之, 江島端男, 松村 理: 鉄と鋼, **58**(1972)1, 93
- 27) R. L. Whiteley and D. E. Wise: "Relationship Among Texture, Hot Mill Practice and the Deep Drawability of Sheet Steel", SIME 4th Mechanical Working Conf., Chicago, (1962)
- 28) 高橋政司, 寺崎富久長, 小玉 強: 日本金属学会誌, **35**(1971)1, 20
- 29) 丸岡邦明, 古永直樹, 菊岡敏夫: 鉄と鋼, **81**(1995)12, 1180
- 30) 丸岡邦明: 鉄と鋼, **82**(1996)6, 520
- 31) 丸岡邦明, 河野 彪, 佐柳志郎: 鉄と鋼, **82**(1996)9, 760
- 32) 丸岡邦明, 河野 彪: 鉄と鋼, **82**(1996)10, 847
- 33) 川崎製鉄: 特公昭61-14213
- 34) 今江敏夫, 野村信彰, 三吉貞行: 川崎製鉄技報, **28**(1996)4, 219