製缶特性に優れた窒素固溶強化型の 極薄缶用鋼板の開発

登坂 章男^{*1)} 荒谷 昌利^{*2)} 小原 隆史^{*3)}
久々 湊英雄^{*4)} 泉山 禎男^{*5)}

1. 開発の背景

金属缶は現代社会に適合した飲料缶用容器として評価され、1995年度の国内の生産量は約390億缶にもなっている。金属缶を構造で分類すると2ピース缶(プレス加工で一体成形された胴部と底部、および蓋部の2部品で構成される缶)と、3ピース缶(天蓋、缶胴、底の3部品で構成される缶)があるが、3ピース缶の比率は49%である。大量消費される飲料缶には食品保護という基本性能の他に、美観性に優れるとともに、合理化のための軽量化、すなわち鋼板の薄肉化が求められる。そのために、缶用鋼板には缶体強度を確保するための原板の高強度化を具備した特性が要求される⁽¹⁾。

鋼板の強化法は大別して(1)固溶強化、(2)結晶粒微細化強化、(3)析出強化、(4)変態組織強化、(5)加工硬化がある。これまでは缶用鋼板に適した方法として、焼鈍後に二次圧延を施して薄肉化と高強度化を同時に行なう(5)の強化法を利用した二回圧延鋼板が用いられていた。しかし、極薄化にともなって加工硬化度が大きくなると、圧延方向と直角方向の材質差が大きくなり、製缶加工性に劣るという問題が発生した。一方、(1)法はそのような問題はないものの、鋼に含有できる元素には各々に上限規制があるため、Mnなどの固溶強化能が小さい元素による強化には限度がある。Pは強化能こそ大きい鋼の耐食性を劣化させるために缶用鋼板には不適である。また、C、Nは強力な固溶強化能を有しているが、鋼中にC、Nなどの元素が固溶状態で残存すると時効性が劣化する。その結果、曲げによる円筒加工で3ピース缶の缶胴部の成形を行う際に、鋼板が折れ線状に屈曲するフルーティング現象が発生するとして、従来は固溶C、Nの残存量を低減

する製法が検討されてきた⁽²⁾。しかし、実際には缶用鋼板には、低炭素鋼を素材とした連続焼鈍材が用いられており、固溶元素が残存していて時効性を有しているものが、問題なく使われている場合も多い。

著者らは、時効性鋼板でもフルーティングが発生しない場合がある点に着目し、フルーティングの発生原因の究明を行ない、フルーティングを発生させないための製胴条件を明確にした。そして、従来、時効性のマイナス面から、侵入型固溶元素をいかに低減させるかが検討されてきたのに対し、逆に、それを積極的に多く残存させる固溶強化鋼板の研究に取り組んだ。その結果、鋼板の薄肉化傾向に対応した強度、優れた圧延性、製缶加工性を有し、高速製缶に適した鋼板を開発することができた。

2. フルーティング発生原因の解明

(1) フルーティング現象

フルーティングの代表的な外観を図1に示す。これは3ピース缶の製胴工程を模擬し、材料を飲料缶と同じ小径の円筒パイプに巻き付けた時に生じたものである。缶胴が多角形状に変形していることがわかる。

この現象は非時効性鋼板では見られず、時効性が高くなるにしたがい発生しやすくなるため、固溶強化元素としてのCやNの利用が制限される根拠となっていた。しかし、実製缶においては時効性を有する鋼板でもフルーティングが発生することなく使用できており、その理由は明確でなかった。

図1 フルーティングの外観。

* 川崎製鉄株式会社

技術研究所薄板研究部門：1)主任研究員 2)研究員 3)部門長
千葉製鉄所：4)管理部主査 5)取締役副所長

Development of Thin-Gauge N-added High Strength Tin Mill
Blackplates with Good Canning Properties; Akio Tosaka,
Masatoshi Aratani, Takashi Obara, Hideo Kuguminato, Yoshio
Izumiyama (Kawasaki Steel Corporation)

1997年1月29日受理

そこで、時効性鋼板であっても製缶ができる条件について、特に実際の製缶加工様式に合わせて説明を進めた。

(2) 実機製缶におけるフレクサーの効果

3 ピース缶胴の成形装置の一例を図 2 に示す。塗装・焼付け後、一缶単位にスリットされたブランクシートはロールにより搬送され、途中、フレクサーとよばれる一種のレベラー機構で素材に軽度の曲げ・曲げ戻し加工が付与され、その直後に特定の角度に設定されたエッジに衝突することによって強制的に曲げられ円筒状に缶胴が成形される。

このフレクサーによる曲げ・曲げ戻し成形が鋼板の材料特性の変化に及ぼす影響について図 3 に示す。供試材には後述する開発鋼を用いた。塗装、焼付け処理によるひずみ時効により降伏応力(YS)、降伏点伸び(Y-EI)が大きくなったブランクシートでも、フレクサーにより曲げ、曲げ戻し加工を受け、YS、Y-EI が顕著に低下する。それは、転位が固溶 C、固溶 N の固着から解放され、可動転位密度が増加した結果と考えられる。フレクサー通過後は自然時効により YS、Y-EI が回復することからこの考え方の妥当性が裏付けられる。

(3) フルーティングに及ぼす製缶速度の影響

フレクサーによる YS、Y-EI 低減効果は見られたが、フレクサー処理後も降伏現象は残っており、フルーティング消失現象を完全に説明することはできないと考えられた。そこで、実製缶において、製缶加工速度が自動車の車体プレス速度に比べて、はるかに大きいことに着目し、円筒成形におけるひずみ速度の影響を調べた。成形試験装置は実際の製缶装置を模擬して作製し、供試材には開発鋼板に塗装・焼付け相当の時効処理(210℃・20 min)を施した試料(YS445 MPa、Y-EI 7.8%)を用いた。成形速度は試料片の送りロールの回転

図2 3 ピース缶胴の成形装置の模式図。

図3 フレクサー通過前後の時効の影響。

図4 フルーティングに及ぼす製缶速度の影響。

図5 折れの外観に及ぼす成形速度の影響。

速度により制御した。フルーティングに及ぼす成形速度の影響を図 4 に、図 5 にその外観を示す。低速での成形では鮮明で、まばらに分散した折れが発生するが、より高速度になるほどこれが不鮮明になるとともに均一に分散するようになり、70 m・min⁻¹ を境にして、ついには目視では判別できなくなる。

フルーティングは本質的には車体プレス時に発生するストレッチャーストレーン模様と同じ現象であり、フルーティングの形態の変化はリュウダース帯の運動に支配される。成形速度が遅い場合には、材料が受ける塑性ひずみの速度に対してリュウダース帯の伝播が十分追従できるため、鋼板表面に一定の幅を持つ筋状の模様(折れ)として現われる。しかし、リュウダース帯の伝播速度はある上限値を有し⁽³⁾、それ以上の高速の成形に対してはリュウダース帯の伝播が追従できなくなり、次々と新たなリュウダース帯が発生することでひずみを緩和するために、見掛け上、折れが消失する。この結果はリュウダース帯の伝播速度とひずみ速度の関係より、数学的に求めた結果とも整合する⁽⁴⁾。実製缶装置の成形速度は本実験条件よりさらに高速で行われており、前述のフレクサーの効果とあいまって、高い時効性を有する固溶強化鋼板であっても実用上問題なく製缶されると判断して、高時効性鋼板の開発に取り組んだ。

3. 基本的な材料設計思想と基礎的検討

(1) 強化元素としての C、N の比較

C と N は Mn などの元素に比べて安価であり、より強力な固溶強化能を有している。しかし、C 量を低炭素鋼の範囲(C; 0.02~0.10 mass%)で増加させても、ほとんどが炭化物として析出するため固溶 C 量の増加は少なく⁽⁵⁾、期待する

図6 鋼板硬さに及ぼすN量とSRTの影響.

表1 開発鋼板の材料特性比較.

銅 板	調 質 圧 延 後				時効後 (210°C・20 min)		
	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	HR30T	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)
通常鋼 (低 N 鋼)	322	415	25	61 (T4 相当)	381	406	27
開欠鋼 (N 添加鋼)	331	455	26	66 (T5 相当)	442	462	27

板厚：0.18 mm，通常鋼成分：0.04%C-0.2%Mn-0.04%Al-0.004%N
(mass%)
開允鋼成分：0.04%C-0.2%Mn-0.04%Al-0.010%N
(mass%)

大きな強化効果は得られない。また、鋼板製造時の圧延性は劣化し、さらに、延性も低下する。一方、Nはフェライト相における平衡溶解度が大きいため、析出物を形成しにくいので、鋼中で固溶状態で残りやすく有効に強化でき、延性も確保しやすい。したがって、強度と延性のバランスの改善という観点から、Nの固溶強化を用いることが最適と結論づけられた。

(2) 硬度に及ぼす N の影響

実製造にあたっては、アルミキルド鋼で、いかに必要な固溶 N 量を確保するかが肝要であった。ぶりきの硬度に及ぼす N 含有量の影響を図 6 に示す。単に total-N 量を増加しても硬度上昇効果は小さく、固溶 N 量を多くすることで硬度は高くなる。その製法としては、鋼中の N 量を約 0.01 mass% と多くすることと⁽⁶⁾、スラブ加熱温度 (SRT) を高温として、AlN を分解固溶させ、そして十分に低い温度で巻き取ることが重要であることが明らかになった。また、これらの条件を制御することで、N 量を多くした鋳片を用いれば調質度 T5 はもちろん、T4 も製造できるので、一鋼種ではほとんどの 3 ピース缶に適用できる⁽⁷⁾⁽⁸⁾。以上の検討結果をもとに、N を約 0.01 mass% 添加した鋼を溶製し、連続焼鈍、調質圧延を施した鋼板の材料特性を表 1 に示す。設定どおり必要な強度と高い延性が得られた。

4. 3ピース缶用極薄鋼板としての開発鋼の有用性

硬質缶用極薄鋼板の材質は、鋼板製造時および製缶加工時は軟質で加工が容易であり、ストレッチャーストレイン模様やフルーティングなどの外観不良が発生せず、それでいて十分な缶体強度を有しているものが理想的である。開発鋼板の

図7 鋼板製造から製缶までの材料特性の変化.

製造過程および製缶加工過程における材料特性の変化を整理して図7に示す。この鋼板の場合、塗装・焼付けによりYS、Y-Elともに大きくなるが、前述のフレクサーを通過した直後はいずれの値も顕著に低下するのでスプリングバック量が小さく、真円度の高い円筒が得られる。さらに、製缶後の溶接部補修塗装・焼付けにおいて材料が加熱されることで、再び、ひずみ時効による硬質化が起き、十分な缶強度が得られる。すなわち、開発鋼板は理想の材料特性変化を示している。また、軽度の調質圧延で硬質極薄鋼板が得られるために、従来の二回圧延鋼板に比べ平坦度が高く、多色印刷を施しても美粧性に優れた仕上がりになるという点で、3ピース缶用鋼板として極めて有用である。

5. 製造実績および市場評価

開発鋼板はすでに十分な製造実績を有しており、現在、数千トン/月の販売を行なうまでに拡大している。とくに、開発鋼板は製缶後に十分硬質であるにもかかわらず、真円度のばらつきが小さいために溶接ラップ幅(約 0.5 mm)精度が高く、さらに溶接部の硬度の増加が小さいことなどから溶接後の加工性にも優れるという特長を活かし、高強度・極薄化に対応できる鋼板として、ユーザーで高い評価を得ている。今後、開発鋼板の様々な利点が浸透していくにしたい、さらに大きな展開が期待される。

6. 工業所有權

国内：特公昭62-37093号，特公平7-65091等，ほか多数.

文 献

- (1) 今津勝宏, 佐藤信行: 金属, **65**(1995), 393.
- (2) 丸岡邦明, 吉永直樹: 鉄と鋼, **81**(1995), 1180.
- (3) 作井誠太, 森 勉: 日本金属学会会報, **3**(1964), 303.
- (4) 荒谷昌利, 登坂章男, 古君 修, 久々湊英雄: 鉄と鋼, 投稿中.
- (5) T. Obara, K. Sakata, K. Osawa, M. Nishida and T. Irie: Proc. of the Symp. on "Technology of Continuously Annealed Cold Rolled Sheet Steel" TMS-AIME, Detroit, (1984), p. 363.
- (6) 特公平7-65091.
- (7) 久々湊英雄, 泉山植男, 角南秀夫, 柳島章也, 中里嘉夫, 小原隆史: 川崎製鉄技報, **14**(1983) 4, 62.
- (8) 森 忠州: 鉄と鋼, **79**(1993), 619.