

薄ゲージ化と製缶時の加工自由度に貢献する 高強度・高加工性缶用鋼板「JATT®」の開発

齋藤 勇人¹⁾ 假屋 房亮¹⁾ 鈴木 善継²⁾ 川合 稔³⁾ 中村 紀彦⁴⁾
 杉田 一久⁵⁾ 石井 健太郎⁵⁾ 大谷 大介⁶⁾ 神宮 貴文⁷⁾ 中田 有紀⁸⁾

1. 緒 言

缶用鋼板は缶飲料や食品缶詰の容器であるスチール缶の材料として用いられる板厚 0.2 mm 前後の極薄鋼板であり、この鋼板に錫めっき処理や電解クロム酸処理等を施したものが、それぞれぶりき、ティンフリースチール等の表面処理鋼板として実用化されている⁽¹⁾。

缶用鋼板は地球環境保全の観点から、薄ゲージ化による輸送時の軽量化が需要家から求められており、板厚低減に伴う缶体強度の低下を補うため鋼板の高強度化が求められている。薄ゲージ化は、鉄使用量を削減できるため、1缶当たりの鋼板製造過程で発生するCO₂を削減できる効果もある。また、昨今の消費者からの多様なニーズに対応するため、加工性の向上による缶デザイン性の向上が求められている⁽²⁾。

缶用鋼板を高強度化するため、従来は、冷延鋼板を連続焼鈍炉で再結晶焼鈍処理した後に、さらに冷間圧延することで加工硬化させ高強度化する技術が適用されてきた(2回圧延、DR法⁽³⁾)。しかしながら、DR法では高強度化する反面、加工歪みにより伸びが低下するため、高加工性が求められる Easy Open End や、3ピース缶胴用途の加工時に、リベット、フランジ、ビード部等で割れが発生することが課題となっていた。

これらの課題の解決には、C、Mn等の固溶強化元素やNb、

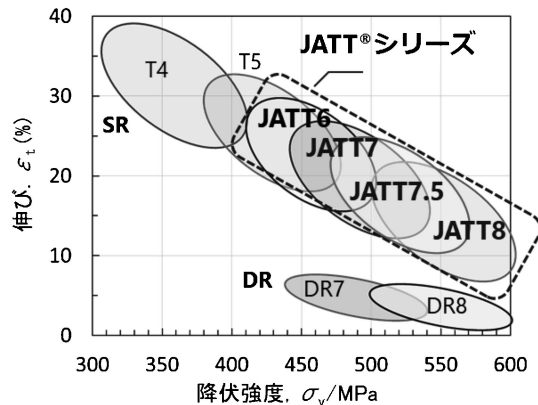


図1 開発鋼の強度延性バランス。

Ti等の析出強化元素を添加する手法が考えられる。しかしながら、食缶等に使用される缶用鋼板は、ASTM規格により⁽⁴⁾、耐食性劣化の観点から、合金添加量が厳しく制限されており、自動車や建材等で適用される多量の強化元素添加による強化法を適用することには限界がある。そのため、従来技術では、薄ゲージ化を可能とする高強度と高加工性を両立する缶用鋼板を提供することは不可能であった。

著者らは、強化元素の見直しによる強化機構の最適化と、製造条件最適化による強化機構発現の最大化を図ることで、ASTM規定内の最小限の強化元素添加で、高強度化と高加工性を両立する缶用鋼板 JATT® を新たに開発し、量産を開始した。図1に開発鋼の降伏強度(YS)–伸び(El)のバランスを示す。本稿ではその開発技術の内容と技術的意義について述べる。

2. 鋼板成分設計の考え方

前述のように缶用鋼板では強化元素の添加が厳しく制限される。例えば自動車用鋼板や建材等では、代表的な強化元素のSiやMnは一般的に1%以上添加されることがあるが⁽⁵⁾、缶用鋼板では、それぞれ最大0.02%、0.6%であ

* JFE スチール株式会社
 スチール研究所 缶・ラミネート材料研究部；1)主任研究員
 2)部長 3)缶用鋼板セクター部 主任部員 4)東日本製鉄所 商品技術部 主任部員 5)東日本製鉄所 第1冷延部 主任部員
 6)西日本製鉄所 薄板商品技術部 主任部員 7)西日本製鉄所 錫鍍金部(主任部員) 8)西日本製鉄所 錫鍍金部 (部員)
 Development of High Strength and High Formability Steel Sheets for Can Material, 「JATT®」, that Contributes Down Gauge and Good Designability of Can Shape; Hayato Saito, Nobusuke Kariya, Yoshitsugu Suzuki, Minoru Kawai, Norihiko Nakamura, Kazuhisa Sugita, Kentaro Ishii, Daisuke Otani, Takafumi Jingu and Yuki Nakata (JFE Steel Corporation)
 2019年10月31日受理[doi:10.2320/materia.59.44]

る(4). そのため、単に従来の強化機構を適用するのでは、高強度化が困難である。そこで、(1)強化元素見直し、(2)強化機構の最大発現を試みた。

(1) 強化元素の見直し

ASTM 規格で許容される強化元素として、一般的な固溶強化元素である C の他に、従来十分には検討されていなかった N による固溶強化に着目した。一般的な鋼の N 含有量は高々 0.001~0.003 mass% 程度である。そこで溶鋼の精錬工程において、積極的に N を含有させた鋼を作製した。図 2 に機械特性に及ぼす固溶 N 量の影響を示す。0.015 mass% の N 添加で、伸びの低下を抑制しつつ、かつ降伏強度を 44 MPa 増加させることに成功した。また、析出強化元素としては、微量添加で炭化物等の微細析出物が析出して強度が増加する Nb を選択した(6)。

(2) 強化機構の最大活用

固溶強化と析出強化による強度上昇効果を最大限活用するため、熱間圧延、および再結晶焼鈍条件の最適化を行った。Nb による析出強化効果を最大化するため、熱延巻き取り温度 (Coiling Temperature, CT) による影響を調査した。図 3 に熱延板の硬さに及ぼす CT と保持時間の影響を示す。CT を上昇させることで熱延鋼板の硬さが上昇した。さらに、このような CT の影響は再結晶焼鈍後にも引き継がれることが分かった。図 4 に CT を 675°C と 576°C に変えた熱延鋼板を冷延—再結晶焼鈍した鋼板中の析出物を透過電子顕微鏡観察

した結果を示す。低 CT 材と比較し、高 CT 材において 10 nm 以下の微細析出物が多数析出していることが明らかになった。以上のことから、熱延 CT を高めに制御することで、微細な Nb 析出物による析出強化効果を最大化出来ることがわかった。

また C, N による固溶強化効果を最大化するため、連続焼鈍炉内での再結晶焼鈍時の冷却条件による影響を調査した。図 5 に均熱処理後の冷却条件と鋼板の降伏強度の関係を示す。冷却停止温度を 300°C まで低下させて鋼板を急冷し、冷却速度を増加させることで、徐冷した場合に比べ降伏強度が顕著に上昇することがわかった。これは急冷により C および N が鋼中に固溶したままの状態が保持されることで、徐冷に比べ、固溶強化量が増加したことによると考えられる。以上のように再結晶焼鈍後の冷却速度を上昇させることで、固溶強化効果を最大化出来ることがわかった。

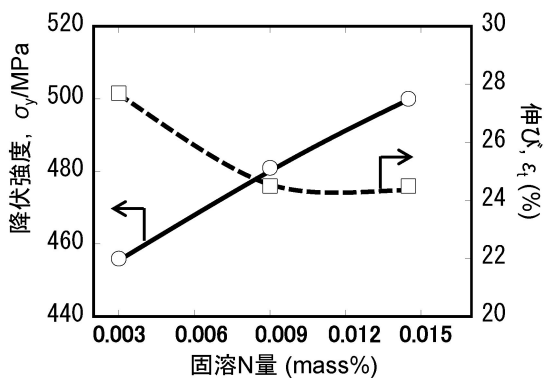


図 2 固溶 N 量が機械特性に及ぼす影響。

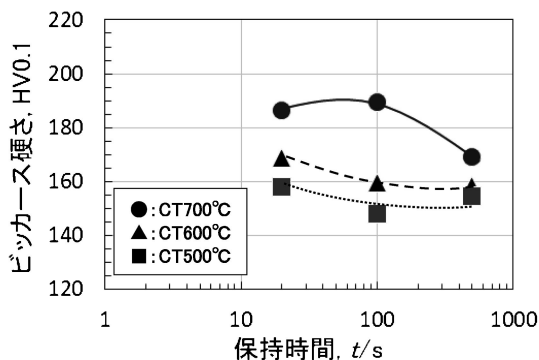


図 3 熱延板の硬さに及ぼす CT の影響。

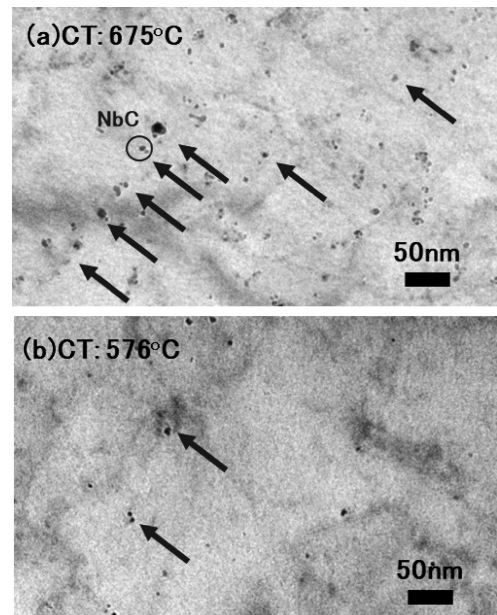


図 4 焼鈍板中の析出物に及ぼす CT の影響。

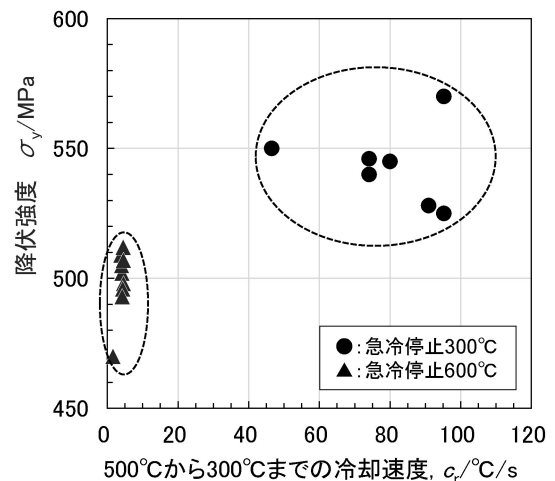


図 5 降伏強度に及ぼす冷却条件の影響。

表 1 開発鋼の機械特性.

		目標範囲		
	Grade	HR30T硬さ	降伏強度 / MPa	伸び (%)
JATT	6	67±4	460±50	≥15
	7	69±4	480±50	≥15
	7.5	71±4	520±50	≥15
	8	72±4	550±50	≥10



図 7 開発鋼の適用例.

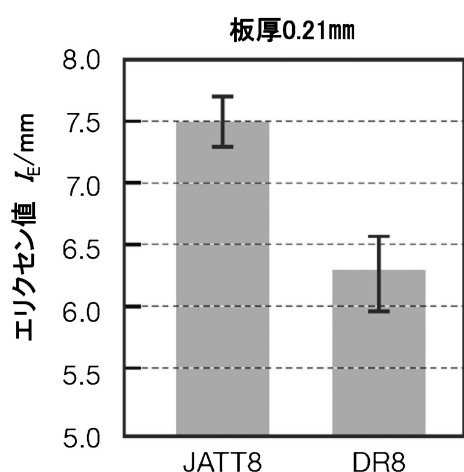


図 6 開発鋼のエリクセン加工性.

3. 開発鋼の特性

表 1 および前述の図 1 に開発鋼の機械特性を示す。従来の高強度鋼である DR7, DR8 グレード鋼と同等の強度レベルでありながら、高い伸びが実現出来た。また前述のように固溶・析出強化効果を最大限引き出すことで、これまでの T4, T5 グレード鋼に比べ、大幅な高強度化に成功した。図 6 に加工性の向上効果をエリクセン試験で調査した結果を示す。DR8 材と比較し、開発鋼ではエリクセン値が顕著に上昇した。以上述べたように、開発鋼は合金元素添加量を ASTM 規制内に抑制しつつ、析出元素最適化と強化機構の最大活用する独自の材質設計思想により、DR 材と同等の高強度を維持しつつ、かつ従来平均 3~5% の伸びに対し、最大 15% 以上の伸びを実現した。

4. 開発鋼の技術的意義と実用化状況

JATT® は主に高い加工性が求められる Easy Open End や、3 ピース缶胴用向け等にすでに実用化されており、2017 年から量産を開始している。図 7 に適用例を示す。一部のアイテムでは JATT® の適用により、板厚を 0.21 mm から 0.18 mm にゲージダウンすることが可能になった。また、従来 DR 材より加工の自由度が高く缶デザインの可能性が広がること、従来 SR 材（一回圧延、通常の冷延—焼鈍材）と比較し強度が高く座屈やデント変形を軽減できるため、さらなる用途拡大による生産量の増加が見込まれる。このように JATT® は実用的にも優れた特性を有するだけでなく、薄ゲージ・軽量化の実現により、地球環境に優しく、かつ、グローバルな消費者の多様なニーズに答える缶用鋼板として今後ますます広く使われることが期待される。

5. 工業所有権

国内特許 9 件登録済み、海外特許 6 件出願済み。特許第 5939368 号、特許第 6191807 号、国際公開番号 WO2016/031234、国際公開番号 WO2017/150066 など。

6. 文 献

- (1) 小島克己：JFE 技報，**39**(2017)，1.
- (2) 例えば <https://www.canmaker.com/online/mead-johnson-launches-enfinitas-in-shaped-cans/>
- (3) ぶりきとティンフリースチール，アグネ，(1970)，133.
- (4) ASTM, A623M.
- (5) 苗村 博：第 88・89 回西山記念技術講座，日本鉄鋼協会，(1983)，314.
- (6) T. Gladman: The Physical Metallurgy of Microalloyed Steels, The Institute of Material, (1997), 54.