混合組織高張力冷延鋼板(CHLY)の開発

角南 秀夫¹⁾ 柳島 章也²⁾ 高崎 順介³⁾
高橋 功⁴⁾ 橋口 耕一⁴⁾

1. 背景

1970年代初頭、安全自動車問題を契機として自動車用鋼板の高強度化が試みられた。しかし従来の高張力鋼板は降伏応力も高くプレス成形に難点があった。その後、石油価格の高騰があり燃費向上を目的とした車体の軽量化が重大な関心事となった。そのため軟鋼板の代替材料としてのプレス成形性の良好な高張力鋼板すなわち延性に富みかつ降伏応力の低い高張力鋼板の要求が高まった。

2. 開発経過

一般に鋼板の強度を高くするには合金元素を添加するが、合金添加は延性の低下のみならず降伏応力の上昇や溶接性の劣化をもたらす。そこで焼鈍温度と冷却速度を制御することによって強度を高める研究を行ない図1に示す結果を得た⁽¹⁾。すなわち A_{c1} 変態点以上の焼鈍に

図1 0.05%C-1.2%Mn-0.5%Cr 鋼連続焼鈍材の引張特性におよぼす焼鈍温度の影響。

* 川崎製鉄株式会社

1) 千葉製鉄所管理部部長 2) 千葉製鉄所冷間圧延部冷延技術室主査 3) 千葉製鉄所管理部冷延管理課掛長 4) 技術研究所薄板研究室主任研究員
A New Dual-Phase Cold Rolled High Tensile Sheet Steel(CHLY): H. Shunami, H. Yanagishima, J. Takasaki, I. Takahashi, K. Hashiguchi (Kawasaki Steel Corporation)
1981年1月30日受理

よって、フェライト相中にマルテンサイトを分散させた混合組織とし高強度化できることを見出した。

つづいて混合組織を得るための製造条件の詳細な検討を行った。混合組織鋼は変態を利用するため、 α - γ 2相共存温度か γ 温度に加熱する必要があり従来の箱型焼鈍法では製造上種々の困難をとまう。従って連続焼鈍法を前提として、混合組織を得るに必要な下限の冷却速度(臨界冷却速度)と Mn, Cr, Mo 量の関係を求めた(図2)。臨界冷却速度におよぼす合金元素の影響を Mn 量に換算して Mn 当量(Mn_{eq})とすれば、臨界冷却速度($CR, ^\circ C/s$)は次式で表わされる。

$$\log CR = -1.73Mn_{eq} + 3.95$$

$$Mn_{eq} = Mn(\%) + 1.30Cr(\%) + 2.67Mo(\%)$$

すなわち合金元素の増加にともない、 CR は小さくなる。 CR に及ぼす Mn, Cr, Mo は互いに置換可能であるが、引張特性に及ぼす合金元素の影響は必ずしも同じではない。図2に降伏応力に及ぼす影響を示す。低い降伏応力を得るには、適当な合金量を含み冷却速度を $10 \sim 100^\circ C/s$ にする必要があり、Cr 添加鋼がその冷却速度範囲が広い。混合組織鋼の降伏応力はフェライト相の強度に依存し、フェライト中の固溶C量や合金元素の少ないほど低くなる。Cr は Mn や Mo に比べ固溶強化能が小さい

図2 臨界冷却速度と混合組織鋼板の降伏応力におよぼす Mn, Cr, Mo 量と冷却速度の影響。

0.05%C-0.6~1.7%Mn 鋼, 0.05%C-1.2%Mn-0~0.5%Cr (0~0.3%Mo) 鋼, 焼鈍条件: $770^\circ C-60s$ 均熱, $5 \sim 2000^\circ C/s$ 冷却
太い線は混合組織が得られる下限の臨界冷却速度, 細い線は等降伏応力線で、この曲線より上の領域で 20 または 25 kgf/mm² の降伏応力が得られる。

ため低い降伏応力が得られる⁽²⁾。以上の結果から Mn-Cr 系を基本成分とし連続焼鈍時の冷却速度を 30~60 °C/s を選定して高張力鋼板を製造することとした。

また混合組織鋼の引張強さはマルテンサイト体積率に依存し⁽³⁾、体積率は鋼の組成や焼鈍条件により変化する。焼鈍条件が一定の場合、引張強さに及ぼす C 量の影響を図 3 に示す。C 量の制御と Mn-Cr の組合せで従来困難とされていた 40 kgf/mm² の混合組織鋼⁽⁴⁾の開発に成功した。また他の合金元素も添加量にほぼ比例して強度が増加するので、高強度鋼板は C と他の合金元素との組合せにより製造できる。

図 3 1.2%Mn-0.5%Cr 鋼連続焼鈍材の引張強さにおよぼす C 量の影響。

以上の研究にもとづき、 A_1 変態点以上の焼鈍と 30~60 °C/s の冷却速度を実現するための連続焼鈍炉の検討を行ない、厳密な温度制御のため時定数の小さい炉の開発ならびに多数の対向するスロット・ノズルを持つプレナム・チャンバーにより、ガスジェット冷却方式によっても従来より速い上記冷却速度を得ることに成功した。鋼板の幅方向にはプレナム・チャンバーが分割されており、均一な温度分布を得るためガス流量を独立して制御できるよう工夫されている。所定のヒートサイクルは鋼帯の測温による加熱・均熱温度の制御と冷却ガス量の制御により行われる。またこの連続焼鈍炉は鋼帯の通過経路の変更により高張力鋼板のみならず、ブリキ原板、電磁鋼板、一般冷延鋼板も製造できるように設計され、KM-CAL (Kawasaki Steel Multipurpose Continuous Annealing Line) と呼ばれている。

3. 低降伏応力混合組織鋼板 CHLY の特長

CHLY (Cold rolled High tensile strength Low Yield stress sheet steel) は Fe-Mn-Cr 系を基本成分として、KM-CAL を用いて製造されている。CHLY の強度レベルは表 1 に示すように 40~100 kgf/mm² 級である。写真 1 に CHLY 40, 60, 80 の組織を示す。図 4 に CHLY 40 の引張特性の実績を示す。

CHLY 40 と従来鋼 APFC 40 の特性の比較を図 5 に示

表 1 CHLY の規格体系と機械的性質の例。

規格	降伏応力 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)	降伏伸び (%)	降伏比 (%)
CHLY 40	20	43	41	0	46
45	21	47	38	0	45
50	23	52	33	0	44
55	29	57	31	0	51
60	33	62	29	0	53
80	42	83	20	0	51
100	65	103	14	0	63

写真 1 CHLY 40~80 の組織 (2%Na₂S₂O₅ 水溶液 + 4%ピクラルでエッチング。白い部分がマルテンサイト)。

図 4 CHLY 40 の引張特性の実績。

図 5 CHLY 40 と従来鋼の引張特性の比較。

すが、本鋼板の引張特性は以下のように要約される。

(a) 低降伏応力である。マルテンサイト変態時に導入されたフェライト周辺の転位や弾性応力場のため、焼鈍のままで降伏伸びが現われない。

(b) 加工硬化係数、 n 値が大きいいため、プレス成形時の歪の伝播性が良好である。

(c) 引張強さに対比して伸びが優れている。

(d) BH 性が高い。歪時効処理で降伏応力が上昇する。従って自動車の塗装焼付処理で強度が増加し(Bake Hardening)し、(b)の効果と両方で製品の耐デント性が向上する。

高強度で低降伏応力であるため図 6 のように成形後のスプリングバックが小さく形状凍結性が優れている。特に CHLY40 は自動車のフードアウター、ドア・アウターなどの外板部品に適している。

図 6 CHLY と従来鋼のプレス部品のスプリングバック量におよぼす引張強さの影響。

4. 適用例と実績

CHLY の使用は車体の軽量化、燃費向上に貢献している。CHLY の適用例を表 2 に示す。CHLY40 はトランクリッド、ドア、フード・アウターなどおもに自動車の外板部品に使われて、7~29%の軽量化に成功している。このように板厚減少を行っても、部品の耐デント性は、図 7 にトランクリッド・アウターの例を示すが、従来の軟鋼板より良好である。すなわち 0.7 mm の CHLY40 は 0.9 mm の軟鋼板の耐デント性より高く重量減少率が 28.5% にもおよんだ実例である。

強度レベルの高い CHLY55~80 はバンパーなどに使用されており、12.5~25%の重量軽減に成功した。バンパーの衝撃強度は降伏応力でなく引張強さに比例する⁽⁵⁾

表 2 CHLY の適用例と板厚減少率。

部 品 名	規 格	CHLY の板厚 (mm)	従来の 板 厚 (mm)	板 厚 減少率 (%)
トランクリッド・ アウター	(A) CHLY40	0.70	0.75	6.7
	(B) CHLY40	0.70	0.90	28.5
フードアウター	CHLY40	0.70	0.75	6.7
ドアアウター	CHLY40	0.65	0.70	7.1
バンパー	(A)* CHLY60	1.60	1.60	0
	(B) CHLY80	1.40	1.60	12.5
	(C) CHLY80	1.20	1.60	25.0

* 強度上昇を目的としたバンパー

図 7 トランクリッド・アウターの耐デント性におよぼす材料と板厚の影響。

ので、1.6 mm の軟鋼板は CHLY60 で 1.2 mm, CHLY 80 では 1.0 mm (37.5% 重量減) まで軽量化可能である。

以上のように、従来適用できなかった部品へ CHLY が採用され、すでに年間 10000 トンの生産を行っている。

5. 特 許

特許 - 第 1,011,123 号, 特許 - 第 1,011,167 号ほか 6 件申請中である。

文 献

- (1) 橋口耕一, 高橋 功, 大橋延夫: 鉄と鋼, 60 (1974), 11, S488; 61 (1975), 12, S773.
- (2) 橋口耕一, 西田 稔, 加藤俊之, 田中智夫: 川崎製鉄技報, 11 (1979), 1, 68.
- (3) 友田 陽, 田村今男: 日本金属学会会報, 14 (1975), 657.
- (4) 佐藤泰一: 自動車技術, 33 (1979), 8, 666.
- (5) 阿部英夫, 山本健一, 中川吉左衛門: 川崎製鉄技報, 12 (1980), 4, 51.