

# 耐デント性・耐面ひずみ性に優れた 440 MPa 級溶融亜鉛めっき・冷延鋼板の開発

小野 義彦<sup>\*1)</sup> 高橋 健二<sup>\*2)</sup> 岩間 隆史<sup>\*3)</sup>  
梶山 浩志<sup>\*4)</sup> 櫻井 理孝<sup>\*5)</sup>

## 1. はじめに

近年の車体軽量化ニーズの高まりから、従来、引張強度で340 MPa級の焼付硬化型鋼板(以下340BH)が適用されてきたドア、フード等の自動車外板パネルにおいて、より高強度な鋼板を適用して車体を軽量化しようとする動きが高まりつつある。当該部品で鋼板を薄肉化する、あるいは補強部材を削減するには耐デント性といわれる耐凹み強さを向上させる必要がある。また、美しい車体デザインを実現するために、優れた張出し成形性や、ドア取手周りなどに微小なしわ状の凹凸(面ひずみ)が発生し難いこと、すなわち優れた耐面ひずみ性が要求される。さらに、優れた表面外観品質、化成処理性も求められる。加えて、近年の自動車車体のグローバル生産の拡大から、新興国などでの使用も可能なレベルの優れた耐時効性も求められつつある。

このような背景から、従来の材料設計では相反する特性であった耐デント性の向上と耐面ひずみ性および耐時効性の確保を両立することに主眼を置き、これらの諸特性に優れた新たな440 MPa級のBH鋼板を開発したので紹介する。

## 2. 開発鋼のコンセプト

当該部品において340BHから0.05mm薄肉化するには、耐デント性の指標である $YP'$ ( $YP' = YP + WH + BH$ ,  $YP$ : 降伏応力,  $WH$ : プレス時の加工硬化量,  $BH$ : 170°Cでの焼付硬化量)を50MPa増加させる必要がある<sup>(1)</sup>。しか

\* JFE スチール スチール研究所 1) 薄板研究部: 主任研究員  
2) 薄板研究部: 研究員 3) 薄板加工技術研究部: 主任研究員  
4) 表面処理研究部: 主任研究員  
西日本製鉄所 5) 薄板商品技術部: 主任部員  
Development of 440 MPa Grade Hot dip Galvanized and Cold Rolled High Strength Steel Sheets with Superior Dent-resistance and Press-formability; Yoshihiko Ono, Kenji Takahashi, Takashi Iwama, Hiroshi Kajiyama, Michitaka Sakurai (JFE Steel Corporation)  
2011年10月27日受理

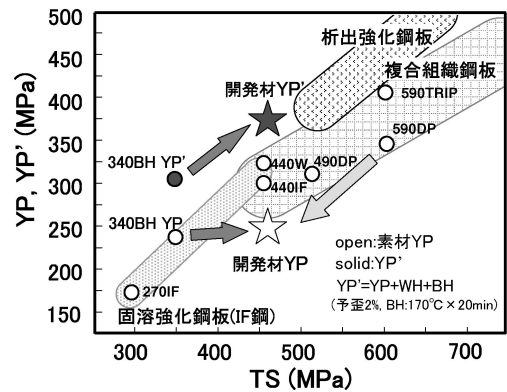


図1 各種自動車用鋼板, 開発材の特性.

しながら、340BHをベースにMn, Pで固溶強化するとYPの上昇に起因して耐面ひずみ性が劣化<sup>(2)</sup>し、固溶Cの増加によりBHを増加させると耐時効性が劣化する。

そこで、従来、主に590MPa以上の高強度鋼で実用化され、比較的低YR, 高延性で、BH性を発現し、室温では実質的に非時効といった特長を有するDP鋼(Dual-Phase鋼)に着目して開発を行った。つまり、DP鋼の鋼組成や組織形態を制御することにより、プレス成形時の素材のYPは340BH相当まで低減しつつ、プレスおよび塗装工程での高い加工硬化量と高い焼付硬化量により340BHより50MPa以上高いYP'を示す特性バランスのBH鋼板を開発した(図1)。

## 3. 開発技術

### (1) YPの低減

CrはDP鋼のYP低減に有利な元素であるが、過剰に添加するとGA鋼板のめっき外観品質や冷延鋼板の化成処理性を劣化させるため、ここではその添加量を0.3%未満に制限して開発した。従来、590DP鋼ではフェライト粒の微細化、析出強化の観点からV等の炭化物形成元素が微量添加されることが多かった<sup>(3)</sup>。開発鋼では、このような元素を削減するとともに、マルテンサイトを均一・粗大に分散させ低

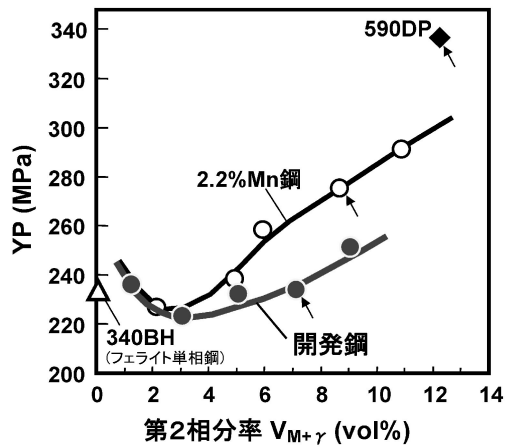


図2 各鋼の YP と第 2 相分率の関係。

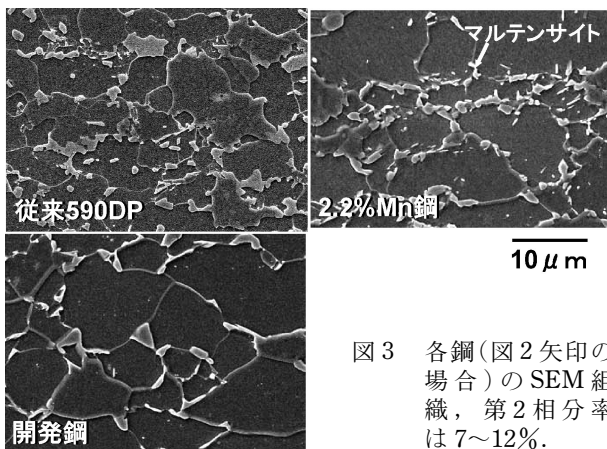


図3 各鋼(図2 矢印の場合)の SEM 組織, 第 2 相分率は 7~12%.

YP 化を図った。

図 2, 図 3 に従来の V が微量添加された 590 DP, それをベースに V を削減して焼入性の低下を Mn で補完した 2.2% Mn 鋼, さらにフェライトの粒成長性と焼入性を確保するために B やその他の元素を添加して Mn を低減した開発鋼について, C 量を調整したときの第 2 相分率と YP の関係, ならびに代表的な SEM 組織を示す. 従来の 590 DP は微細なフェライトとマルテンサイトからなり, V の析出強化も重畳するので YP が高い. これに対し, V レスとしてフェライト粒を粗大化させ, 第 2 相分率を低減した 2.2% Mn 鋼では YP は低減されるが十分ではない. 一方, 第 2 相が均一・粗大に分散した開発鋼は, 広い第 2 相分率範囲で 340 BH 相当の低い YP を示す. 開発鋼では, C の狭幅制御技術も活用して YP の低い範囲に第 2 相分率を制御した.

図 4 にマルテンサイトが均一・粗大に分散した鋼(a)と微細に分散した鋼(b)の TEM 組織を示す. マルテンサイト周囲には変態膨張により生じた転位が多数認められる. DP 鋼ではこのようなマルテンサイト周囲の領域で転位が容易に移動することで低い降伏応力を示すと考えられる<sup>(4)</sup>. マルテンサイト粒子が均一・粗大に分散している鋼(a)では, 粒子周囲に転位密度の低いフェライト粒が広がっているが, マルテンサイト粒子が微細で密に分布している(b)では粒子周囲の転位密度の高い領域が互いにラップしている. (b)のような転位分布形態の場合は, 互いの転位が初期変形の障害とな

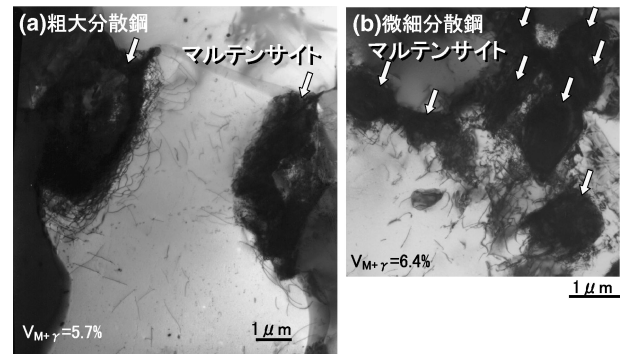


図 4 第 2 相分散形態の異なる鋼の TEM 組織, (a) 粗大分散, (b) 微細分散, 第 2 相分率は約 6%.

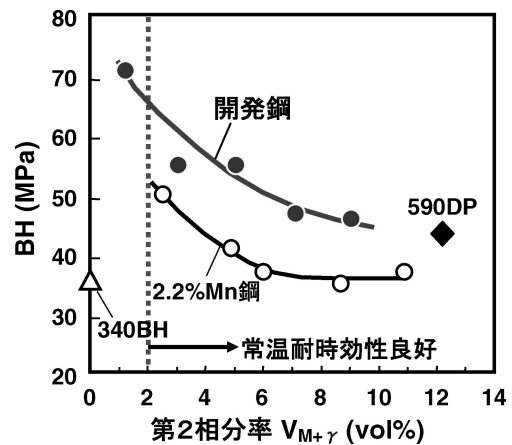


図 5 各鋼の BH と第 2 相分率の関係。

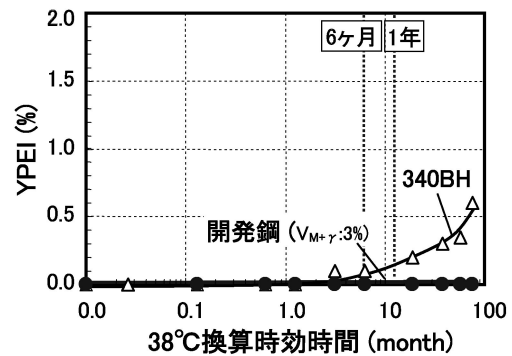


図 6 各鋼の 70°C 促進時効試験結果, 時効時間は 70°C の保持時間から 38°C の等価時間に換算した値。

り, 降伏応力の増加を招くと推察される。

## (2) 高い BH と優れた耐時効性の両立

図 2 の各鋼について BH と第 2 相分率の関係を整理した結果を図 5 に示す. 従来の 340 BH, 590 DP, 2.2% Mn 鋼と比べて Mn を削減して第 2 相を均一分散させた開発鋼は高い BH を示し, 特に第 2 相分率を数%に低減した領域で高い BH を示す. 図 6 に 340 BH と開発鋼の 70°C での促進時効試験結果を示す. 開発鋼は高い BH を示すにもかかわらず, 従来鋼より優れた耐時効性を示す. このように, DP 鋼をベースに鋼組成, 組織形態を制御することで, 高い BH と耐時効性の両立が可能となった。

表1 開発鋼, 440 W, 340 BH の機械的特性.

供試材	YP (MPa)	TS (MPa)	El (%)	$n_{6-12}$	WH (MPa)	BH (MPa)	YP' (MPa)
開発鋼	257	455	37	0.23	62	57	376
440 W	322	457	36	0.20	10	36	368
340 BH	242	354	41	0.21	33	35	310

JIS 5号, 板厚 0.75 mm, YP' = YP + WH + BH, 予歪: 2%, BH 処理: 170°C × 20 min

#### 4. 開発鋼(ユニハイテン®)の特性

##### (1) 開発鋼の機械的特性

開発鋼の機械的特性を表1に示す. 開発鋼はTS: 440 MPa 鋼でありながら, 従来の340 BHに近い低いYPを示す. また, 従来の440 Wと比べて高いEl, 高いn値を示す. さらに, 2%予歪を付与した時の加工硬化量WHおよびBHが高いので, 自動車パネルに成形し焼付塗装を施した後の降伏強度に相当するYP'は340 BHより大幅に向上した.

##### (2) 開発鋼のプレス成形性

開発鋼の成形性検証のため, 340 BH用のドアアウト金型でプレス成形試験を行った. この結果, 割れ, シワが発生することなく成形ができ, 高いEl, n値による十分な成形性が確認された. 次に, ドア取手部周辺を模擬したプレス金型を用いて耐面ひずみ性の評価試験を実施した. 成形品の面形状を測定し, 面ひずみの発生程度を凹み部分の体積と比較した結果を図7, 図8に示す. 面ひずみ量はYPと強い相関があり, 低いYPを示す. 開発鋼は440 Wよりも大幅に良好で, 340 BHに近い耐面ひずみ性を有することが確認された.

当社では, 面ひずみの迅速定量化手法<sup>(5)</sup>やCAEでの予測技術など, 開発鋼を有効に活用し, 高品質, 高性能な外板品質実現をサポートするための技術も併せて開発した.

##### (3) 開発鋼の耐デント性

開発鋼, 340 BHの耐デント性を実ドアパネルで評価した結果を図9に示す. YPの高い開発鋼は340 BHに比べて残留へこみ量が低減され, 耐デント性を同等に維持して0.05 mmの薄肉化(約7%の軽量化)が可能であることが確認された.

#### 5. 開発鋼の実用化状況

本開発鋼は, 自動車のドア(図10), フードに採用され, 冷延材は2010年, GA材は2011年に量産を開始した. 国内自動車メーカーのこれら部品に440 MPa級鋼板が採用されたのは初である. 外板パネルの薄肉化は軽量化効果が大きく, 今後, このような高強度鋼板の外板パネルへの適用が進むことで, CO<sub>2</sub>排出量削減に大きく貢献することが期待される.

#### 6. 特 許

特許第420778号, 4042560号, 4178940号, 4211520号

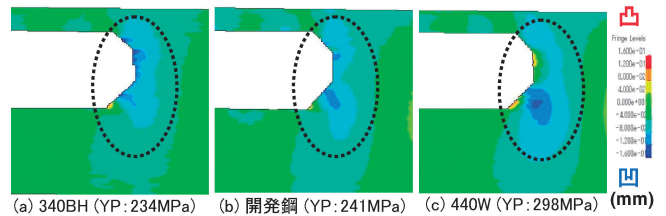


図7 各鋼の取手周りの面ひずみの定量化結果.

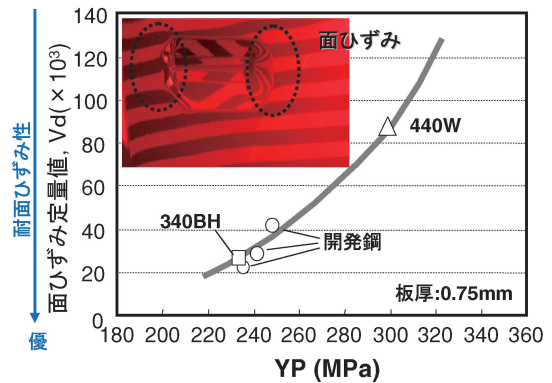


図8 面ひずみの発生量に及ぼすYPの影響.

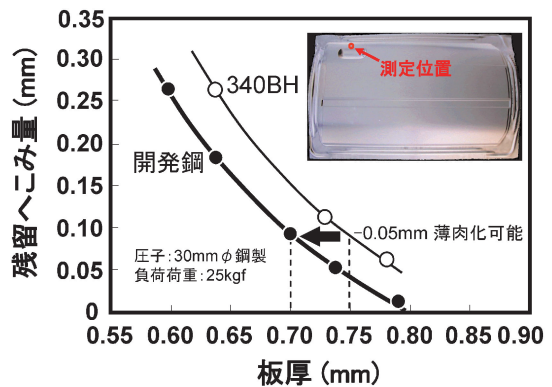


図9 340 BHに対する開発鋼の薄肉化の効果.



図10 開発鋼の適用事例(ドアアウターパネル).

4623233号, 4811528号など国内外に出願済.

#### 文 献

- (1) 石井良男他: 鉄と鋼, **69**(1983), S1471.
- (2) 袖鳥善之他: 塑性と加工, **21**(1980), 168-174.
- (3) 例えば, M. S. Rashid: SAE Trans., **86**(1977), 935.
- (4) 例えば, 西田 稔: 西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会, 第74, 75回(1981), 33-94.
- (5) 佐藤健太郎他: 第277回塑性加工シンポジウム, 塑性加工学会, (2009).