自動車ボディパネル用 微細粒型高張力冷延鋼板の開発

藤田 毅¹⁾ 北野 総人²⁾ 山崎 雄司¹⁾
占部 俊明³⁾ 日朝 道人⁴⁾

1. はじめに

近年、自動車車体の衝突安全性向上および軽量化の要求から、鋼板の高強度化が積極的に進められている。既に、構造部材、内板パネル部品に対しては高張力鋼板の適用が進みつつあり、30%を超える比率に達している⁽¹⁾。一方、自動車部品の中でもサイドパネル、フェンダなど車体外板部品に用いられる鋼板には、深絞り成形、張出し成形など厳しいプレス成形性と同時に、プレス成形後の均一なめっき表面外観および高い面形状品質が要求され、高強度化が困難とされてきた。しかし、外板パネルに高張力鋼板を適用することにより補強部品の省略化など、更なる車体軽量化検討において高い成形性と優れためっき表面品質を具備した外板パネル用高張力鋼板が必要となってきた。

本報告では、従来のIF(Interstitial Free Steel)鋼をベースとした高成形性鋼板の材料設計を根本から見直し、これまで外板パネル用鋼板に適用されなかった組織の細粒化による強化手法を取り入れることにより、優れたプレス成形性および合金化溶融亜鉛めっき(GA)表面品質を有する微細粒型高張力冷延鋼板について紹介する。

2. 開発鋼板の基本設計

従来の自動車外板用の深絞り型高張力鋼板は、図1に示すように、20 ppm程度の極低炭素量の軟質IF鋼にSi, Mn, P

図1 開発鋼板の材料設計コンセプト。

などの固溶強化元素を多量に添加して高強度化されている。これに対し、微細粒型高張力鋼板は、従来の約3倍まで炭素量を増大し、当量以上のNb添加によりNb炭窒化物を微細分散させることで、侵入型固溶元素(炭素、窒素)を析出固定し、析出物の分散強化と細粒強化を図ることで、固溶強化元素の添加量を低減している。

開発鋼は以下の特長を有する。

- (1) C・N固定化による優れた深絞り性(高 r 値)
- (2) 合金化溶融亜鉛めっきの優れた表面品質(外板適性)
- (3) 微細粒化による強化と靱性の向上(耐二次加工脆性)

3. 微細粒組織と高成形性の両立化

開発鋼の基本特性について、従来型のIF系高張力鋼板と比較した結果を図2に示す。鋼Aは従来型のC量が20

* NKK 総合材料技術研究所

薄板研究部:

1)主任研究員 2)研究員 3)主査

4)福山製鉄所自動車商品技術部 グループマネージャー

Development of High-Strength Steel with Fine Grain Structure for Exposure Panel; Takeshi Fujita, Fusato Kitano, Yuji Yamasaki, Toshiaki Urabe, Michihito Hiasa(NKK Corporation)
2001年10月31日受理

図2 従来型 IF 鋼板と微細粒型鋼板の機械特性の比較⁽²⁾。

ppm, Nb 量が 0.022 % の IF 鋼である。鋼 B は C 量が 52 ppm, Nb 量が 0.068 % の微細組織を狙った開発鋼である。固溶強化元素である Si, Mn, P 量はいずれの鋼も同一レベルであり、実験室にて同一の熱延、冷延および焼鈍条件にて鋼板サンプルを作製した。

ミクロ組織観察から、鋼 A は平均結晶粒径が 13 μm であるのに対し、鋼 B は 9 μm であった。引張試験より鋼 B は細粒化と析出強化により引張強度 (TS) が鋼 A に比べて約 30 MPa 上昇するにもかかわらず、降伏比は鋼 A より低く、 r 値は 0.2~0.3 高くなる。これらの特長は、プレス成形性の観点から極めて興味深い結果である。

4. 開発鋼の特性向上機構

(1) 高 r 値化機構

鋼板の塑性異方性を示す r 値は、鋼板の集合組織と密接な関係にあり、ND//<111>方位 (γ -fiber) の集積が高いほど r 値は高くなる。 γ -fiber の集積は主として熱延板組織、冷間圧延率、焼鈍温度で決定される。本実験で焼鈍時の γ -fiber 集合組織の発達を調査した結果を図 3 に示す。鋼 B は、NbC 微細分散により再結晶開始温度は約 40°C 上昇するが、再結晶終了温度の上昇は 20°C 程度となり、 γ -fiber の集積は鋼 A と逆転する。これは、熱延板組織の微細化に起因する。図 4 は、各種冷延鋼板の ASTM 粒度番号と r 値の相関を示したものであるが、開発鋼が従来鋼で達成できなかった極めて優れたバランスを有していることがわかる。

(2) 低降伏比機構

本開発鋼は微細粒組織でありながら降伏比が低下する特長を有する。図 5 に開発鋼の透過電子顕微鏡組織を示す。粒界近傍部に Nb 炭化物が枯渇した領域 (PFZ: Precipitate Free Zone) が形成されることが明らかになった。PFZ の形成により、粒界近傍からの Micro Yielding が促進され、低い応力

図3 焼鈍温度に伴う ND//<111>fiber の X 線積分反射強度比変化⁽²⁾。

図4 冷延鋼板の結晶粒度と r 値の相関⁽³⁾。

図5 微細粒型鋼板 (鋼 B) の析出物分散形態⁽²⁾。

で降伏を開始するが、Flow Stress は細粒化と母相の析出強化で上昇するため、降伏比低下をもたらしたと考えられる。PFZ の形成は、焼鈍段階に微細 Nb 炭化物の粒界上での高速拡散に伴う粗大化であり、PFZ は粒界移動の痕跡と考えられる。

5. 開発鋼板の特性

(1) 開発鋼板の組織と機械特性

従来型 440 MPa 級 IF 鋼板と微細粒型 440 MPa 級開発鋼

図6 開発鋼板と従来型高張力IF鋼板の組織比較⁽⁴⁾。

表1 微細粒型高張力冷延鋼板の機械特性⁽⁴⁾

品種	符号	板厚 (mm)	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	$\bar{r}$ 値	T_c (°C)
CR	SFG340	1.0	190	345	44	1.9	-100
	SFG390	1.0	235	405	40	1.9	-85
	SFG440	1.0	290	446	37	1.9	-65
GA	SFG340	1.0	197	345	42	1.7	-90
	SFG390	1.0	227	400	38	1.7	-65
	SFG440	1.0	285	442	35	1.7	-45

CR：冷延鋼板，GA：合金化溶融亜鉛めっき鋼板(PZA)，引張試験片：JIS 5号引張試験片，引張方向：圧延方向と直角
 T_c^* ：耐二次加工脆性の延性-脆性遷移温度(絞り比：2.1(340)，2.0(390，440))

板のフェライト組織を図6に示す。平均結晶粒径が10 μmから8 μmに微細化が達成されている。開発鋼板の機械特性を表1に示す。冷延鋼板の $\bar{r}$ 値は強度レベルによらず1.9と軟質JSC270E以上の高 $\bar{r}$ 値を示し、合金化溶融亜鉛めっき鋼板でも表面の硬質めっき層により0.2低下するが1.7と軟質JAC270Eに匹敵する。また、耐二次加工脆性にも優れる。

(2) 開発鋼板の合金化溶融亜鉛めっき表面性状

図7に示すように、開発鋼板は従来型440 MPa級鋼板に見られる圧延方向に線状の外観むらの発生もなく、均一美しい表面外観が得られ、外板用途に最適である。

(3) 開発鋼板の成形性

表2に示す合金化溶融亜鉛めっき鋼板を用いてフロントフェンダを対象としてプレス成形性を調査した。成形品外観を図8、成形可能範囲の評価結果を図9に示す。SFG440GAは従来鋼板と同等の強度と伸びを有しながら、低降伏強度(YS)および高 $\bar{r}$ 値化が達成されたことより、成形可能範囲が得られた。また、低YSにより成形パネルの面ひずみも低減した。

6. 微細粒型高張力鋼板の将来性

現在、開発鋼はユーザーにおいて成形性および成形後の特性、表面品質に対し、良好な評価を受けている。開発鋼は優

図7 440 MPa級合金化溶融亜鉛めっき鋼板の表面外観⁽⁴⁾。

表2 開発鋼板(SFG440GA)と従来鋼板の機械特性⁽⁴⁾。

供試材	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	$\bar{r}$ 値
SFG440GA	285	442	35.0	1.70
JAC440P	300	445	35.0	1.50

図8 フロントフェンダモデル成形品外観⁽⁴⁾。

図9 フロントフェンダモデル成形での成形性⁽⁴⁾。

れた成形性とめっき品質を有した高強度鋼板であり、自動車外板パネル適性が高く、車体軽量化に対し、将来重要な役割を担っていくものと考えられる。

7. 特 許

特願平11-36286，特願平11-315593等国内外出願23件。

文 献

- (1) 橋本俊一：自動車技術，Vol. 54，No. 1(2000)，41。
- (2) T. Urabe, et al.: New Type of If-HSS with Superior Anti-Secondary Work Embrittlement, Proceedings of IF Steels 2000, Warrendale, Iron & Steel Society, (1998), p. 215.
- (3) D. A. Karlyn, et al.: Effect of Decarburization and Annealing Temperature on Plastic Anisotropy and Grain Size in Cold-rolled Low-Carbon Sheet Steel, Mechanical Working and Steel Processing VII, New York, The Metallurgical Society of AIME, (1969), p. 127.
- (4) 占部俊明ほか：自動車技術，Vol. 55，No. 10(2001)，13。