

ボディ外板パネル用高機能高張力鋼板

High Performance High Strength Steel Sheets for Automobile Body Exposed Panels

藤田 毅 FUJITA Takeshi JFE スチール スチール研究所 自動車鋼板研究部 主任研究員(課長)・工博
占部 俊明 URABE Toshiaki JFE スチール スチール研究所 薄板加工技術研究部 主任研究員(部長)・工博
櫻井 理孝 SAKURAI Michitaka JFE スチール 西日本製鉄所 薄板商品技術部自動車室 主任部員(課長)

要旨

JFE スチールは自動車ボディ外板パネル用として 2 種類の高機能高張力鋼板を開発した。SFG (super fine grain) ハイテン「SFGHITEN[®]」はサイドパネル、などの深絞り性が要求される部品用として細粒化による高強度化を主体とし、低降伏強度(低 YS)、高 n 値(高加工硬化係数)、高 r 値(高ランクフォード値)による高い成形性を実現した微細粒型高張力鋼板である。「ユニハイテン[®]」はドア・フードなどの張出し性、面形状品質(耐面ひずみ性)に優れ、プレス成形後の焼付塗装性は硬化性を高めることでゲージダウン可能な耐デント性を実現した低 YR(低降伏比)型 440 MPa 級 BH(焼付け硬化)鋼板である。本稿では、これらの鋼板の特徴と特性について述べる。

Abstract:

JFE Steel has developed two types of high performance high-strength steel sheets for automobile body exposed panels. The SFG (super fine grain) HITEN, "SFGHITEN[®]", which is strengthened by fine grains, gives excellent press-formability with low yield strength and a large r -value. It is observed that the formation of PFZs (precipitate free zones) results in a mechanism in which yielding begins at low stress at an initial deformation stage. The UNI (uniform unique universal) HITEN, "UNI HITEN[®]" gives excellent press-formability and superior dent resistance which are obtained by increasing yield strength after paint baking.

1. はじめに

自動車ボディパネル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、プレス成形後の高い面形状品質(耐面ひずみ性)および均一なめっき表面外観が要求される。内板レベルのめっき品質に対しては、極低炭素鋼をベースに Si, Mn, P などの固溶強化元素を添加し成形性と高強度化の両立を目指した鋼板が 440 MPa 級まで商品化されている。しかし、外板パネルに高張力鋼板を適用し補強部品の削減あるいはゲージダウンなど、構造体まで踏み込んだ軽量化の検討を行うには、さらなる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^{1,2)}。

そこで本稿では、優れた成形性と同時に高い面形状品質を兼ね備えた自動車ボディパネルの軽量化が可能な 2 種類の高機能高張力鋼板について紹介する。

2. SFG ハイテン (SFG : Super Fine Grain)

2.1 材料設計コンセプト³⁾

サイドパネルアウターやフェンダーなどの複雑形状部品は深絞り性と張出し性の複合成形性が要求される。これらの部品を対象とした SFG ハイテン「SFGHITEN[®]」の材料設計のコンセプトを Fig. 1 に示す。炭素量 20 ppm 程度の IF 鋼(極低炭素鋼)深絞り用高張力鋼板は固溶強化元素を多量に添加して高強度化を図っている。これに対し、SFG ハイテンの炭素量は 60 ppm と従来の 3 倍まで増加させ、Nb/C 比で 1.0 以上の Nb を添加することで、侵入型固溶元素(炭素、窒素)を析出固定する。この多量の Nb 系析出物を活用し、分散強化とフェライト粒の微細粒化による強度上昇を図ることで、表面品質の低下を招く Si や高コストの Mo などの固溶強化元素の添加量を低減している。これにより、SFG ハイテンは、(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(GA)の優れた表面品質(外板適正)、(3) 微細粒化による強化と

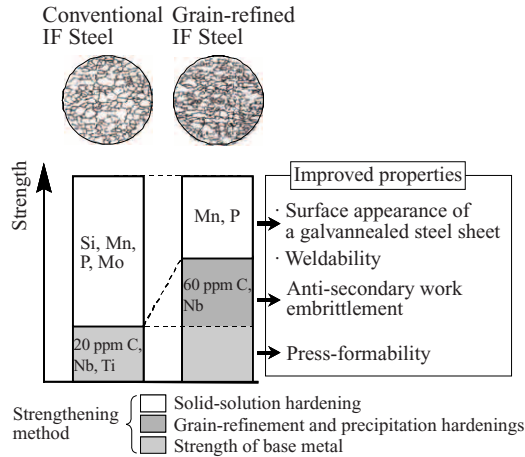


Fig.1 Schematic diagram of the metallurgical concept for the SFG HITEN

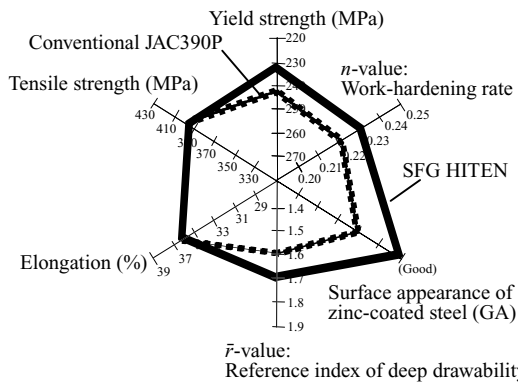


Fig.2 Comparison of mechanical properties balance

靱性の向上（耐二次加工脆性）が期待される。

2.2 特性バランス

390 MPa 級 SFG ハイテンの特性バランスを Fig. 2 に示す。SFG ハイテンは微細粒を呈しながら降伏強度 (YS) が低い特長を有している。これによりハイテン化の阻害要因となる耐面ひずみ性が大幅に改善される。また、プレス成形性の指標である n 値、 \bar{r} 値ともに従来鋼より高く複合成形性に優れる。その中で、SFG ハイテンの特長の 1 つである高 \bar{r} 値は、熱間圧延鋼板組織の微細化により、冷間圧延後の再結晶焼鈍段階での γ -fiber ($\langle 111 \rangle // ND$ 再結晶集合組織) が著しく発達⁴⁾ したためである。さらに合金化溶解亜鉛めっきの表面品質も軟鋼レベルの外板適正を有している。

2.3 低降伏強度⁵⁾

一般に結晶粒の微細化および析出強化した鋼板は降伏強度が上昇するが、SFG ハイテンはむしろ降伏強度が低下することから降伏挙動が従来知見と異なる。390 MPa 級 SFG ハイテン材の析出物の分散形態を透過型電子顕微鏡 (TEM) で観察した結果を Photo 1 に示す。矢印で示す粒界近傍部に析出物が枯渇した領域 (PFZ: precipitates free zone) を

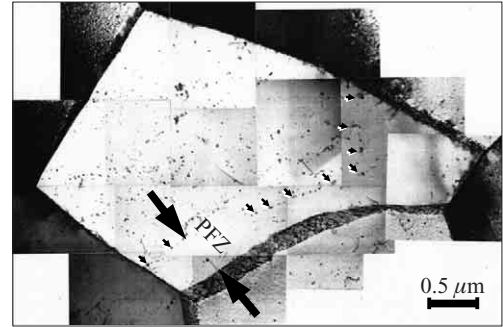


Photo 1 TEM micrograph of specimen annealed at 850°C

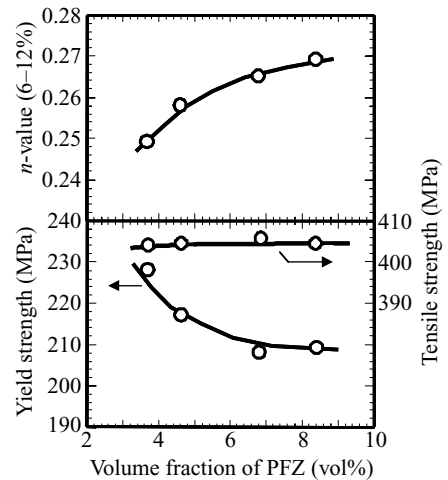


Fig.3 Effect of volume fraction of PFZ on mechanical properties of annealed specimen

形成し、変形の初期段階に粒界近傍からの micro yielding が促進され、低い応力で降伏を開始する。これにより、PFZ の形成すなわち炭化物密度の差異によって降伏強度の制御が可能であることが示唆された。Fig. 3 に PFZ の量と YS、引張強さ (TS) および n 値の関係を示す。TS は PFZ の量にかかわらず 405 MPa とほぼ一定であるのに対し、降伏強度と n 値は PFZ 体積率と良好な相関が認められ、PFZ が降伏強度を支配していることが明らかである。

2.4 耐二次加工脆性⁶⁾

IF 鋼は、固溶 C が存在せず、また、比較的粒径が大きいことから、粒界強度が低く、二次加工脆性が生じやすい。特に、固溶強化元素により強化した場合、粒内強度が増大するため相対的に粒界強度が低下することから、対策が必要となる。そこで、耐二次加工脆性の改善効果のある細粒化および B 添加について、検討を行った。試験方法は、絞り比 2.0 でカップ状に成形し、その後カップ縁を種々の温度で静的に押し広げ、延性 / 脆性破壊の遷移温度 (DBTT) を求めた。

Fig. 4 に IF 鋼の耐二次加工脆性におよぼす粒径と B 添加の影響を示す。同じ B 添加量の場合、微細粒型の鋼は遷移温度が低下している。また、いずれの鋼板も B 添加量の

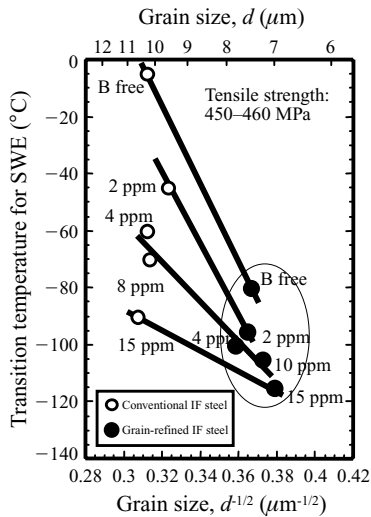


Fig. 4 Relationship between transition temperature, Tc and Ferrite Grain Size

増加にともない遷移温度が低下し、細粒化との複合により優れた耐二次加工脆性を示す。

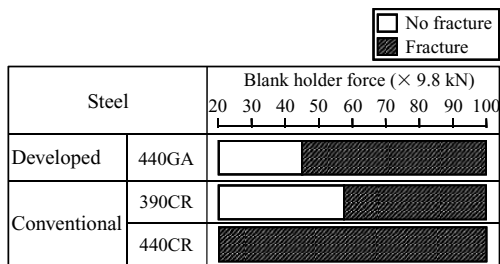
2.5 プレス成形性⁷⁾

実部品での深絞り成形性を検証するため、センターピラー金型を用いてプレストライを実施した。プレス試験は、Table 1 の供試材を用い、クッション圧を変化させて割れの評価を行った。試験結果を Fig. 5 に示す。高い \bar{r} 値 (1.75) を有する微細粒型の SFG440GA 材はクッション力 440 kN まで割れは発生せず成形が可能となるが、従来材の 440CR (JSC440W) は \bar{r} 値が低く (1.01)、成形可能範囲を

Table 1 Mechanical properties of steels used in press-forming test for a center pillar outer model

Steel		YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	Mean \bar{r} -value
Developed	440GA	287	440	36.0	1.75
	390CR	243	402	39.5	1.62
Conventional	440CR	289	461	38.0	1.01

GA: Galvanized steel sheet, CR: Cold-rolled steel sheet, YS: Yield strength, TS: Tensile strength, El: Elongation



GA: Galvanized steel sheet
CR: Cold-rolled steel sheet

Fig. 5 Press-formability for a center pillar model of the developed 440 MPa galvanized steel sheets and the conventional cold-rolled IF-HSS

見出せなかった。

2.6 適用例

現在, SFG ハイテンは 340 MPa, 390 MPa および 440 MPa 級を商品化しており, 複数の自動車メーカーに採用されている。なかでも, 390 MPa 級 SFG ハイテンはサイドパネルアウターへ適用¹⁾され, 軽量化に大きく寄与している。

3. ユニハイテン

自動車ボディ外板の中でもドア, フード, ルーフ, トランクリッドに代表される蓋物部品は耐デント性の要求から 340 MPa 級の BH 鋼板が多く用いられている。当該部品のハイテン化によるゲージダウンにはさらなる高い耐デント性, 張出し成形性, 意匠・デザインの観点から面形状品質 (耐面ひずみ性), 外板めつき品質が重要となる。このような要求に対し, フェライト + マルテンサイトからなる DP 鋼をベースとし第二相の分率・分散形態を制御することで低降伏強度, 高 EI (伸び), 高 n 値, 高 BH を同時に確保した 440 MPa 級の「ユニハイテン[®]」を開発した。

3.1 機械的性質

ユニハイテンの機械的性質を 340BH 鋼と比較して Table 2 に示す。ユニハイテンは引張強度 440 MPa でありながら降伏強度は 340 BH と同等レベルまで低く抑えられており, 耐面ひずみ性の向上が期待される。 \bar{r} 値がほぼ 1.0 であり, ドアパネルで支配的な変形モードである平面ひずみ領域での降伏応力の上昇が抑制され, より均一な変形が得られることから面形状品質に好ましい。張出し成形性の指標である伸び特性は JAC390P レベルであり従来 440 MPa 材に較べて大幅に改善している。また, n 値は 340BH より高く 0.24 である。

耐デント性の支配因子である加工硬化 (WH), BH はいずれも 50 MPa 以上を示し, YS' (YS + WH + BH) において 350 MPa 以上が得られている。

3.2 耐面ひずみ性

ユニハイテンの面形状品質を評価するため, 面品質が劣化しやすいドア取手周辺について, プレス試験を行った。Fig. 6 に結果を示す。従来の 440 MPa 級鋼板は YS が大きく大きなゆがみを生じているのに対し, ユニハイテンは YS が 340BH と同等で, かつ, \bar{r} 値がほぼ 1.0, $|\Delta r| < 0.1$ の等方性の効果により 340 MPa 級 BH 鋼板と同等の面品質が得られた。

3.3 耐デント性

実部品での性能を評価するためドアモデル型を用い取手周りの耐デント性を評価した。Fig. 7 に結果を示す。耐デ

Table 2 Mechanical properties of TS 440 MPa grade UNI HITEN

Steel	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	<i>n</i> -value	Mean <i>r</i> -value	Δr -value	WH* (MPa)	BH** (MPa)	YS*** (MPa)
UNI HITEN	249	444	37	0.24	0.9	0.05	51	56	355
340BH	235	350	43	0.21	1.6	0.25	30	42	307

YS: Yield strength, TS: Tensile strength, El: Elongation

* Work-hardening, Increase in yield strength by 2% prestrain

** Bake-hardening, Increase in yield strength by again at 170°C for 20 min after 2% prestrain

*** YS' = YS + WH + BH

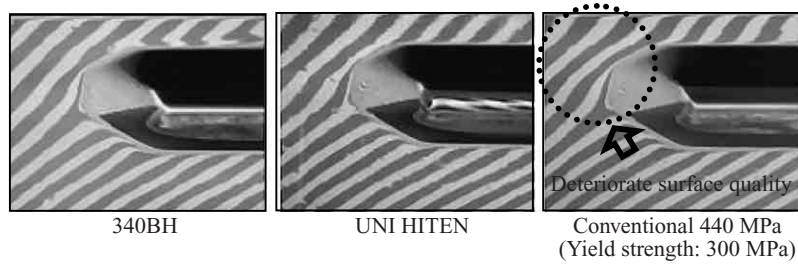


Fig. 6 Comparison between the conventional 440 MPa steel and the 440 MPa grade UNI HITEN on the surface distortion by optical method

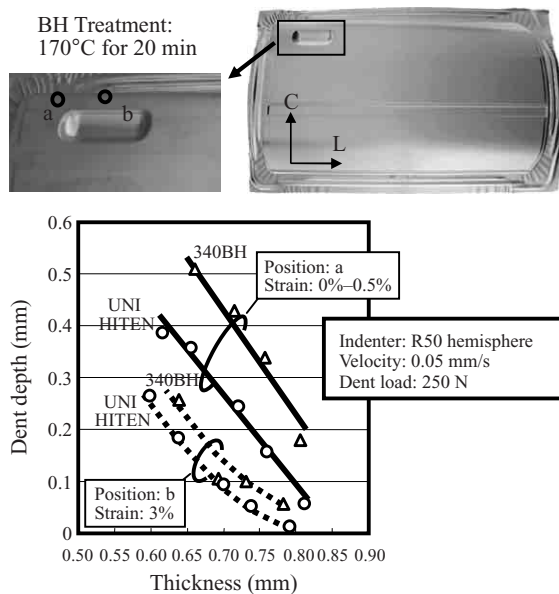


Fig. 7 Comparison between the conventional 340MPa-BH steel and the 440MPa grade UNI HITEN on the dent-resistance

ント性に関しては、高いWH、BHに対応していずれの部位においても340MPa級BH鋼板を大幅に上回りハーフゲージダウン可能な性能が確認された。なお、高い*n*値を有するユニハイテンは張出し成形性に優れ、340MPa級BH鋼板と同等の成形性およびパネル品質が得られた。

4. おわりに

本報告では、自動車ボディパネルの軽量化を目的として、外板部品に適した2種類の高機能高張力鋼板を紹介した。

(1) 「SFG ハイテン」: 細粒化による高強度化を主体とし、低降伏強度、高*n*値、高*r*値による高い成形性を実現

した微細粒型高張力鋼板であり、サイドパネルアウターへの適用が期待される。

(2) 「ユニハイテン」: 面形状品質(耐面ひずみ性)に優れ、プレス成形後、塗装焼付けにより高い降伏強度を示すことで、ゲージダウン可能な耐デント性を実現した低YR型440MPa級BH鋼板であり、ドア、フード、トランクリッドへの適用が期待される。

参考文献

- 1) 杉山香里. ふえらむ. vol. 11, no. 12, 2006, p. 3.
- 2) 細谷佳弘. ふえらむ. vol. 11, no. 12, 2006, p. 12.
- 3) 藤田 毅, 北野 総人, 山崎 雄司, 占部 俊明, 日朝 道人. まてりあ. vol. 41, 2002, p. 123.
- 4) Kitano, F.; Urabe, T.; Fujita, T.; Nakajima, K.; Hosoya, Y.; ISIJ Int. vol. 41, 2001, p. 1402.
- 5) Ono, Y.; Fujita, T.; Nagataki, Y.; Urabe, T.; Hosoya, Y. Materials Science Forum. 426-432, 2003, p. 1481.
- 6) Urabe, T.; Ono, Y.; Matsuda, H.; Yoshitake, A.; Hosoya, Y. Proc. of Int. Forum for the Properties and Application of IF Steels. ISIJ. Tokyo, 2004, p. 170.
- 7) 占部 俊明, 藤田 毅, 山崎 雄司. 自動車技術. vol. 55, no. 10, 2001, p. 13.



藤田 毅



占部 俊明



櫻井 理孝