

キャビン周りの車体部品の軽量化に貢献する 高強度冷間圧延・合金化溶融亜鉛めっき (GA) 鋼板

Cold-rolled and Galvannealed (GA) High Strength Steel Sheets for Automotive Cabin Structure

長谷川浩平 HASEGAWA Kohei JFE スチール スチール研究所 薄板研究部 主任研究員 (副部長)
金子真次郎 KANEKO Shinjiro JFE スチール スチール研究所 薄板研究部 主任研究員 (課長)
瀬戸 一洋 SETO Kazuhiro JFE スチール スチール研究所 薄板研究部長・工博

要旨

JFE スチールは、自動車車体のキャビン周りの軽量化に最適な高強度冷間圧延鋼板および合金化溶融亜鉛めっき (GA) 鋼板シリーズを商品化してきた。高強度鋼板は、適用される部品に応じて、さまざまな強度レベル、また加工方法、部品形状に適した、伸び、伸びフランジ性、曲げ加工性が求められる。さらに、スポット溶接性や塗装後耐食性、また、引張強さ 1 180 MPa 級以上では耐遅れ破壊特性も必要となる。これらの要求特性に対し、JFE スチールは独自の製造プロセスと卓越した金属組織設計・制御によって応えてきた。高強度冷間圧延・GA 鋼板はお客様より高い評価を得ており、今後もさらなる車体高強度・軽量化に貢献できると期待される。

Abstract:

JFE Steel has developed and commercialized a series of cold-rolled and galvannealed (GA) high strength steel sheets which are suitable for automotive body structural parts. High strength steels are required a wide variety of strength grades and the superior formability, such as stretch-formability, stretch-flangeability and bendability, which meets a forming method and the shape of forming parts. Adequate spot-weldability and corrosion resistance after painting are also necessary for them. Besides, anti-hydrogen embrittlement property is important especially to those of higher tensile strength grade than 1 180 MPa. JFE Steel's sheet products for automotive body structural parts have met the various demands by optimal material design and excellent process control with featured production facilities. Developed cold-rolled and GA high strength steels have been widely applied to great numbers of automotive parts and are expected to serve further weight reduction of car bodies in future.

1. はじめに

近年、自動車車体用鋼板は、地球環境保全を目的とした CO₂ 排出量低減のための薄肉軽量化と、車両の衝突安全性向上のための高強度化が進められてきた。そのうち、キャビンは乗員を保護するため、衝突時にも変形しない非常に高い強度が求められることから、キャビン周りには引張強さ (TS) 980 MPa 級以上の鋼板が多く適用されるようになってきている。

JFE スチールは、高強度鋼板の製造に必要な連続焼鈍設備を開発し¹⁻³⁾、1970 年代にいち早く超高強度鋼板を商品化し、発展させてきた⁴⁻¹⁰⁾。これらはバンパ R/F (バンパレインフォースメント、補強材) 部品やドアインパクトビーム、シートフレーム、ボディ部品に次々に採用され、車体軽量化に寄与してきた。これら適用の拡大は、成形シミュレーショ

ンを活用した成形加工技術の向上¹¹⁾に並んで、超高強度鋼板の伸び、伸びフランジ性、曲げ加工性など部品の加工に必要な各種成形性を具備した商品の開発によるところが大きい。また、近年は高い防錆性が必要なアンダーボディ部品への超高強度鋼板の適用も始まっており、高強度高成形性合金化溶融亜鉛めっき (GA) 鋼板の開発、商品化が進んでいる¹²⁾。

本論文では、自動車車体のキャビン周りに適用されている超高強度冷間圧延・GA 鋼板シリーズについて、それら鋼板が求められる諸特性を付与するための金属組織設計について概説した後、商品ラインアップと各商品の特徴、およびそれらの適用例について紹介する。

2. 特性向上のための材料設計の考え方

2.1 ボディ用鋼板に必要とされる特性

自動車ボディ構造部品は、衝突時のエネルギー吸収と乗員

保護の必要性から、TS590 MPa 級以上の高強度鋼板が主に適用されるようになってきている。これらのボディ構造部品用鋼板に必要とされる特性としては、(1) 成形性、(2) スポット溶接性、(3) 塗装後耐食性、(4) 耐遅れ破壊特性などがある。

成形性については、加工方法や適用される部品形状によって、必要とされる鋼板特性が異なる。たとえば、センターピラに代表される張出し成形が主体となるようなプレス成形部品には、伸びの高い鋼板が適している。また、フロントサイドメンバのような張出し成形と伸びフランジ成形との複合成形部品には、伸びと伸びフランジ性を兼備した鋼板が適している。伸びフランジ性は、一般に穴広げ試験（日本鉄鋼連盟規格 JFS T 1001-1996）による穴広げ率（ λ 値）で評価される。さらに、980 MPa 級以上の超高強度鋼板は曲げ加工主体にフォーム成形される場合も多いので、厳しい曲げ加工においても鋼板の表面亀裂の発生を防止するため、適正な曲げ加工性が重要となる。曲げ加工性は、亀裂が発生しない最小の曲げ半径で定義される限界曲げ半径 R と板厚 t の比 (R/t) で評価される。

成形加工において、割れや亀裂の発生抑制とともに重要な課題が、部品の寸法精度である。高強度鋼板をプレス成形すると、スプリングバックが発生するが、このスプリングバックにともなう部品寸法精度不良は、その後の組み立て、および溶接工程に弊害をもたらす。これに対して自動車メーカーでは、スプリングバックをあらかじめ考慮して金型設計を行い、成形加工を行っているが、材料強度のばらつきが大きいと、成形品形状がばらついてしまい、寸法精度の問題は解消できない。したがって、部品の寸法精度を改善するため、強度ばらつきの少ない高強度鋼板の提供が必要となる。

ボディ用部品の多くはスポット溶接により組み立てられるので、高強度鋼板は適正なスポット溶接性が求められる。高強度鋼板のスポット溶接性に対する課題は、高強度化のため鋼中に合金添加量が増加すると、それにもないスポット溶接部が過度に硬化して靱性が損なわれ、十字引張試験のような剥離モードの応力に対して、ナゲットで破断して溶接強度が低下することである¹³⁾。したがって、十分な溶接部の強度を確保するためには、低 C 当量の成分設計が必要となる。一方、超高強度かつ高伸び特性を兼備させるためには、高 C 鋼の活用が有効である。C 量が 0.15% を超える高 C 鋼を用いる場合、通常のスポット溶接では前述のとおり溶接部強度が低下する懸念があるので、スポット溶接法として「パルススポット法」¹⁴⁾を用いることが有効である。

自動車車体への防錆性能の要求は高まっており、アンダーボディには合金化溶融亜鉛 (GA) めっきなどを施した防錆鋼板が用いられる。アッパーボディには通常、冷間圧延鋼板が用いられるが、それぞれ適正な塗装性および塗装後耐食性が求められる。

TS1180 MPa 以上の超高強度鋼板では、鋼板および車体製造段階における水素侵入ならびに使用中の腐食による水

素侵入による遅れ破壊が懸念される。遅れ破壊を回避するためには、材料の最適化と同時に、加工ひずみ、残留応力を適正とする利用技術が必要と考えられる。

2.2 伸び (加工硬化特性) の向上

引張試験で評価される全伸びは、くびれ発生前の一様伸びと発生後の局部伸びに分けられる。このうち、プレス成形は一様伸びの範囲内で加工されることが一般的であるので、一様伸び、すなわち加工硬化特性の向上が必要である。成形加工用の高強度鋼板は、強度と成形性や溶接性などの総合的な特性のバランスから、フェライトとマルテンサイトの複合組織鋼 (Dual phase 鋼, 以下, DP 鋼) が主流である。

加工硬化特性に影響する DP 鋼の主な組織因子は、各相の強度と体積分率である。そこで、これら組織因子を分離して、各因子の加工硬化特性への影響を基礎的に調査した¹⁵⁾。図 1(a) に引張特性に及ぼすマルテンサイト相の分率の影響を示す。マルテンサイト相の分率が高いと、変形初期の加工硬化率が高いが、ひずみ量依存性があり、変形後期は逆に低くなる。一方、マルテンサイト相が少ないと変形初期は加工硬化率が低いものの、変形後期まで高い加工硬化率が維持される。図 1(b) にマルテンサイト相の強度の影響を示す。マルテンサイト相の強度が高いと、全ひずみ域で加工硬化率が高くなる。これら鋼の微視的変形挙動を詳細に解析した結果、マルテンサイト相の分率が高いと、5% 引張後の各相の平均ひずみ量がフェライト、マルテンサイトともに増加した¹⁶⁾。このことからマルテンサイト相分率が高い、すなわちフェライト分率が低いと、軟質なフェライトにひずみが集中し、より加工硬化することで、内部応力の作用でマルテンサイトの変形が促進され、変形初期において、複合材として高い加工硬化を示したと推定された。一方、変形後期は、両相ともに平均ひずみ量が増加した結果、加工硬化能が低下したためトータルの加工硬化率が低下すると考えられた。また、マルテンサイト相の強度が高いと、異相

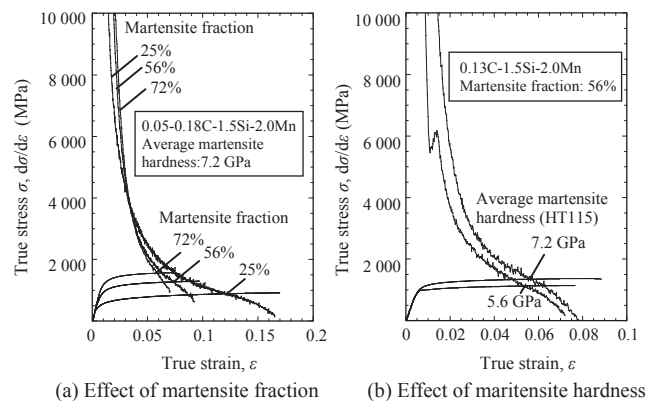


図 1 Dual phase鋼の応力 - ひずみ曲線と加工硬化率

Fig. 1 Stress-strain curve and work-hardening rate of dual phase steels

界面近傍での塑性変形が増加し、その結果導入されるGN転位(幾何学的に必要な転位)密度の増加、さらには、両相の内部応力分配を通して、加工硬化に寄与していると考えられた¹⁷⁾。DP鋼においては、以上のような基礎原理を活用して、マルテンサイト相の分率と強度の制御により、強度と伸びの高いバランスを達成している。

加工硬化特性をさらに向上させるには、残留オーステナイト相による加工誘起変態 (TRIP 現象) を活用する方法がある。TRIP 鋼の加工硬化特性はオーステナイト相へのC濃化によるオーステナイト相の安定性が影響する¹⁸⁾。JFE スチールは冷間圧延鋼板、GA 鋼板ともに 590 MPa 級、780 MPa 級 TRIP 鋼板を開発済みである。980 MPa 級以上の TRIP 鋼では、鋼中 C 含有量が不可避免的に高くなるため、スポット溶接強度を確保するための配慮が必要である。

2.3 伸びフランジ性の向上

高強度鋼板のプレス成形において問題となる破断形態のひとつに、伸びフランジ割れがある。伸びフランジ割れは、

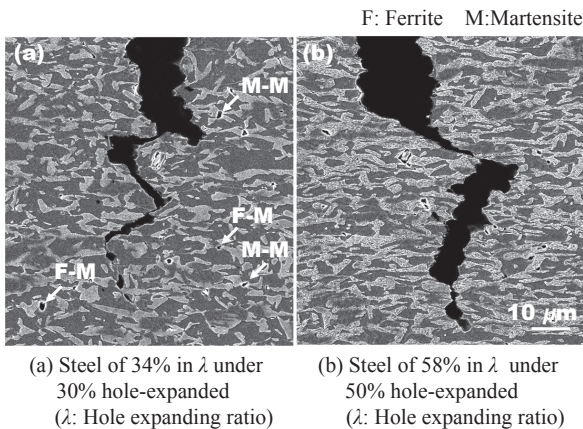


写真1 打ち抜き端面直下の金属組織

Photo 1 Microstructures beneath punched edge surface

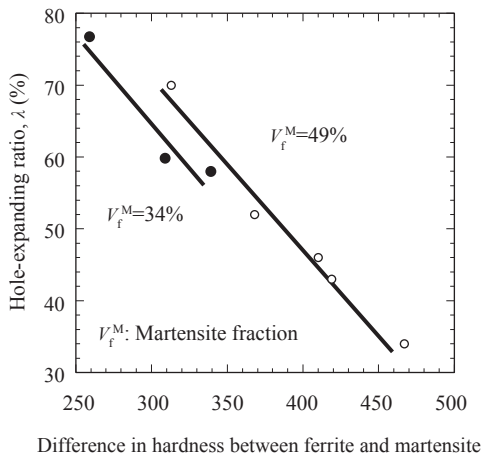


図2 フェライトとマルテンサイト硬度差と穴広げ率の関係

Fig. 2 Relationship between the difference in hardness between ferrite and martensite and hole-expanding ratio

打ち抜き端面からの亀裂の伸展のしやすさが主たる支配因子であり、組織の均一性を高めることで伸びフランジ性を向上させることができる。写真1は伸びフランジ性の異なる2種類の980 MPa級鋼板における亀裂の進展の様子を比較したものである。(a)に示す λ の低い鋼は低いひずみにおいても、主にフェライトとマルテンサイトの境界でポイドが生成し、これが連結して割れに至る過程が観察された。一方、 λ の高い鋼では、マルテンサイトが容易に変形するためポイドの生成が抑制されると考えられた。図2に示すように、DP鋼の伸びフランジ性はフェライトとマルテンサイトの硬度差に支配され、硬度差が小さいほど向上できることを定量的に明らかとした¹⁹⁾。組織の均一性という観点では、マルテンサイト単相が最も優れており、非常に高い伸びフランジ性を示す。

2.4 曲げ加工性の向上

曲げ加工において割れに至る過程は、曲げ加工部の均一変形の限界(くびれ限界)と、このくびれから亀裂に伸展する限界(割れ限界)からなり、前者は均一変形能、後者は局部延性で支配される²⁰⁾。したがって、曲げ加工性改善には両特性のバランス改善が必要と考えられる。

一方、曲げ加工は引張や伸びフランジ成形と比較して、ひずみが局在化するため、局所的な材質変動の影響を受けやすい特徴がある。ここに記す材質変動とは、圧延方向に伸長した繊維状組織分布や非金属介在物などが考えられ、これらの材質変動があると圧延方向に平行な方向の亀裂を促進する。当社の高強度鋼板はこれらの影響に配慮した製造方法としている。

2.5 耐遅れ破壊特性

遅れ破壊は、鋼に侵入した水素に起因した鋼の脆化・破壊現象であり、1960～1970年代に橋梁用の高力ボルト(F13T)で破壊した事例がある。一方、現在のところ自動車用鋼板において使用中における遅れ破壊は報告されていないが、近年の材料超高強度化を受けて、遅れ破壊抑制への配慮が必要である。

遅れ破壊の支配因子は、強度や組織などの材料因子、負荷応力、侵入水素量と考えられているが、薄板の場合は成形加工でのダメージを考慮する必要があることを指摘し、負荷応力、塑性ひずみ、侵入水素の3次元マップを用いた材料評価を提案している²¹⁾。すなわち、U曲げボルト締め試験片を用い、塑性ひずみ、負荷応力、塩酸濃度を変えた浸漬試験を行うことにより、実験的に遅れ破壊が発生する条件を明確化できる。JFEスチールでは1180 MPa級以上のすべての超高強度鋼板について、このような3次元マップを作成している。

図3に低YR型1180 MPa級冷間圧延鋼板(YR:降伏比)の遅れ破壊発生条件マップを示す。遅れ破壊は応力、ひずみ、水素のいずれも高い条件で発生するが、適用する条件

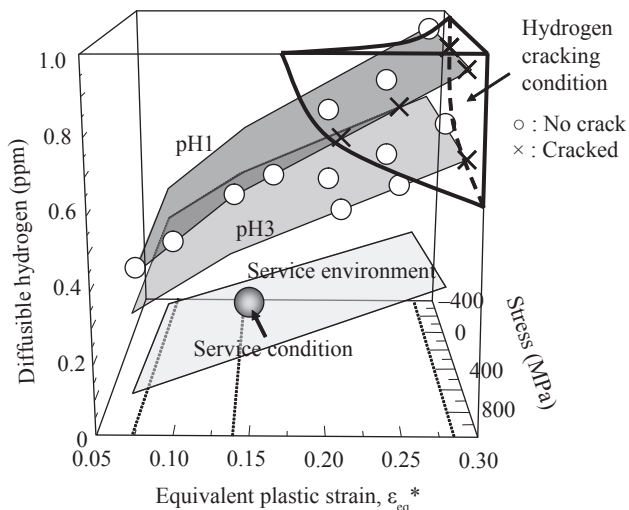


図3 1180 MPa級超高強度冷間圧延鋼板の遅れ破壊危険領域
Fig. 3 Hydrogen cracking condition of a 1180 MPa grade cold-rolled high strength steel

を図中に当てはめることで、遅れ破壊の発生の危険性が定量的に評価できると考えている²¹⁾。このように遅れ破壊の懸念領域を明確にすることで、遅れ破壊を回避するための部品設計の指針になると考えられる。

3. 高強度鋼板商品シリーズとその特徴

3.1 高強度冷間圧延鋼板

3.1.1 開発コンセプト

高強度冷間圧延鋼板は求められる強度、特性に応じて、高YR型（析出強化鋼）、低YR型（DP鋼）、高延性型

(TRIP鋼)、高λ型（DP鋼、マルテンサイト鋼）などを品揃えしている。

DP鋼、マルテンサイト鋼は、主として水焼入れ方式の連続焼鈍設備（WQ-CAL）を用いて製造しており、以下の特長を有する。

- (1) 高精度な組織制御により高強度と成形ニーズに対応できるTS780～1470 MPa級高成形性鋼板の品揃え
- (2) 低C当量成分設計による、優れたスポット溶接性と耐遅れ破壊特性
- (3) WQによる均一冷却とフィード・フォワード管理による優れた材質安定性

WQ-CALでは、焼鈍の温度条件により鋼の組織形態（マルテンサイト鋼またはDP鋼）を制御することができる。さらに、DP鋼では、水焼入れ温度と焼もどし温度の適正化により、硬質な第2相の体積分率と硬さを幅広く制御することが可能で、その結果として幅広い強度と用途に応じた材質の造り分けが可能となっている。

また、WQ-CALを活用することで、Cをはじめとする添加元素を極限まで低減して、強度と成形性を確保すること、いわゆる低C当量成分設計が可能となり、超高強度鋼板で懸念される溶接部の健全性が維持できることも大きな特徴である。また、マルテンサイト単相型超高強度鋼板の耐遅れ破壊特性改善に有効である⁸⁾。

さらに、高強度鋼板のプレス成形時に課題となるスプリングバックにともなう部品寸法精度不良に対しては、WQ-CALの特徴である、急速かつ均一な冷却制御により、コイル内での強度のばらつきを抑え、コイル長手、幅方向の強度、材質の安定が得られる。さらに、コイル間の強度ばらつ

表1 JFEスチールの高強度冷間圧延鋼板の機械的特性

Table 1 Mechanical properties of cold-rolled high strength steel sheets of JFE Steel

TS grade	Type	JFS Standard	Mechanical properties					Application
			YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	λ (%)	R/t	
590	High YR	JSC590R	470	610	27	65	<1.0	All purpose
	Low YR	JSC590Y	390	640	31	50	<1.0	All purpose
	TRIP	JSC590T	420	610	36	75	<1.0	All purpose
780	Low YR	JSC780Y	500	810	22	50	<1.0	Cabin structure
	High λ	JSC780Y	600	830	19	80	<1.0	Seat frame
	TRIP	JSC780Y	520	840	27	35	<1.0	Cabin structure
980	Low YR	JSC980YL	610	1 010	17	30	1.0	Cabin structure
	El-λ balance	JSC980Y	740	1 020	16	45	1.0	Seat frame
	High λ	JSC980YH	820	1 030	14	60	<1.0	Seat rail
	Super λ	—	900	1 020	7	100	2.0	Seat frame (TOX applicable)
1180	Low YR	JSC1180Y	860	1 210	14	30	1.5	Door beam, Bumper R/F
	High λ	—	1 030	1 230	7	60	2.0	Bumper R/F
1320	—	—	1 160	1 330	7	50	2.0	Bumper R/F
1470	—	—	1 200	1 510	7	40	2.5	Pipe door beam

JFS: Japan Iron and Steel Federation Standard YS: Yield strength TS: Tensile strength El: Elongation
λ: Hole expanding ratio R/t: Radius/Thickness YR: Yield ratio (YS/TS) TRIP: Transformation induced plasticity R/F: Reinforcement

きについては、鋼組成を高精度に制御する製鋼技術と、熱間圧延から連続焼鈍に至る一貫製造プロセスでの強度変動因子の制御により、強度変動を抑制している。

3.1.2 商品ラインアップ

表 1 に高強度冷延鋼板の商品ラインアップを示す。

汎用的に用いられる TS590 MPa 級においては日本鉄鋼連盟規格 (JFS) に準拠した 3 タイプを商品化しており、成形性のニーズに応じて広く用いられている。

780 MPa 級は、高い伸びフランジ性が必要なシートフレーム用として高 λ 型、また、絞り・張出の成形要素が強い車体骨格用に低 YR 型を商品化している。さらに高い伸びのニーズに対しては残留オーステナイトの加工誘起変態を活用した TRIP 型を商品化している。

980 MPa 級は近年の成形技術の進歩を背景として、今後の車体骨格用高強度鋼板の主流になる強度グレードとして期待されている。980 MPa 級の採用の歴史は古く、バンパ R/F、ドアインパクトビーム、シートフレーム、車体骨格へと、その用途を拡大してきた。用途別としては、車体骨格用途には、主に低 YR 型が適用されている。低 YR 型は車体骨格用鋼板として必要な成形性として、伸びや良好な曲げ加工性を有しているだけでなく、塗装後耐食性やスポット溶接性などを兼備している。また、シート骨格関連部品には、主に El- λ バランス型 (El: 伸び, λ : 穴広げ率) と高 λ 型が適用されている。超高 λ 型はシートフレームの組み立て工程に機械接合法 (TOX 法) を適用するために開発されたタイプで、非常に高い穴広げ性が示すように高い局部延性を有しており、TOX 接合のような強加工においても亀裂が発生しにくい特徴をもつ²²⁾。

1 180 MPa 級は低 YR 型と高 λ 型がある。低 YR 型は同強

度グレードとしては高い伸びを有し、絞り成形も可能であることから、ドアインパクトビーム用途として、ホットスタンブ部品と同等の性能を、冷間加工によって低部品コストで製造することを可能とした^{23,24)}。また、この強度レベル以上で懸念される遅れ破壊に対しては、前述の遅れ破壊予測技術²⁰⁾により回避し、問題なく適用されている。

1 320 MPa 級、1 470 MPa 級は実用鋼としては WQ-CAL の特長を最大限活かした最高レベルの TS を有する鋼板である。マルテンサイト単相組織化により、曲げ加工性、良好な溶接性、耐遅れ破壊特性を有する。それぞれ、バンパ R/F、鋼管ドアビームとして量産を続けている。

3.2 高強度合金化溶融亜鉛めっき (GA) 鋼板

3.2.1 開発コンセプト

自動車の骨格部品は高強度化が進められていると同時に、防錆寿命保証の長期化のために表面処理鋼板の使用比率が高まっており、特に製造コストが安価で、厚目付が容易で高い耐食性が付与できる GA 鋼板が広く適用されている。キャビン周りの骨格部品においても、ベルトラインより下部に配置される部品では耐食性を要求されており、サイドメンバ、サイドシル、ピラ類などの主要な骨格部品では高強度の GA 鋼板が必要となっている。これら部品は自動車の車体の設計形状から難成形であることが多く、高強度と高成形性を兼ね備える高強度鋼板の開発が望まれている。これに対し、JFE スチールでは、汎用型の高強度鋼板に加えて、絞り、張出し成形性を高めた高 El 型の高強度 GA 鋼板商品群、さらに伸びフランジ性や曲げ性などの局部変形能を向上させた高 El- λ 型の高強度 GA 鋼板商品群を開発している。高 El 型の高強度 GA 鋼板商品群では、DP 組織においてフェ

表 2 JFEスチールの高強度合金化溶融亜鉛めっき (GA) 鋼板の機械的特性

Table 2 Mechanical properties of galvanized (GA) high strength steel sheets of JFE Steel

TS grade	Type	JFS Standard	Mechanical properties					Application
			YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	λ (%)	R/t	
590	High YR	JAC590R	455	635	26	45	<1.0	All purpose
	Low YR (Conventional)	JAC590Y	385	620	29	45	<1.0	All purpose
	Low YR (High El)		395	615	32	60	<1.0	All purpose
	High El- λ	—	400	620	34	90	<1.0	All purpose
	TRIP	—	410	630	32	45	<1.0	All purpose
780	Low YR (Conventional)	JAC780Y	560	815	19	35	<1.0	Cabin structure
	Low YR (High El)		450	825	24	25	<1.0	Cabin structure
	High El- λ	—	640	815	24	80	<1.0	Cabin structure
	TRIP	—	450	800	26	25	<1.0	Cabin structure
980	Low YR (Conventional)	JAC980Y	705	1 015	15	25	1.5	Cabin structure
	Low YR (High El)		645	1 015	18	30	1.5	Cabin structure
	High El- λ	—	800	1 000	17	65	1.5	Cabin structure
1180	Low YR	—	870	1 200	9	40	2.5	Side sill, Door beam

JFS: Japan Iron and Steel Federation Standard YS: Yield strength TS: Tensile strength El: Elongation
 λ : Hole expanding ratio R/t: Radius/thickness YR: Yield ratio (YS/TS) TRIP: Transformation induced plasticity

ライト相の加工硬化能を高めることで優れた延性を達成している。高 EI- λ 型の高強度 GA 鋼板商品群では、フェライト相の加工硬化能向上に加え組織構造を適正化して異相間の強度差を低減することで、局部変形能を向上させ、伸びフランジ性や曲げ性を向上させている。

3.2.2 商品ラインアップ

JFE スチールにおける高強度 GA 鋼板のラインアップを表 2 に示す。590 MPa から 1180 MPa までの幅広い TS グレードに対応し、さまざまな成形様式に適合するように低 YR 型 (汎用), 低 YR 型 (高 EI), 高 EI- λ 型を品揃えしている。これら高強度 GA 鋼板について、TS と EI および TS と λ の関係を図 4 に示す。高 EI 型は汎用型に比較して全伸び値が 3~5% ほど高い水準にあり、それぞれの強度で 1 グレード低位の TS レベルの汎用型とほぼ同等の延性を示す。高 EI- λ 型は高 EI 型と同等の延性を維持しながら、穴広げ率は汎用型に比較して 40~50% 程度高く、590 MPa 級は 440 MPa 級に、980 MPa 級は 590 MPa 級に匹敵する高い伸びフランジ性を示す。

TS が 980 MPa 級の汎用型, 高 EI 型, 高 EI- λ 型鋼板について、写真 2(a) に示すセンターピラを模擬したテスト金型を用いて実部品相当の成形性を評価した結果を示す。表 3 に供試材の材料特性値を示す。伸びの影響については部品下部の絞り・張出し複成形位置で評価を行い、伸びフランジ性については部品側部位置で評価を行った。980 MPa 級高 EI 型 GA 鋼板の成形性評価結果を汎用型と比較して写真 2(b), (c) に示す。汎用型ではパンチ肩付近で割れが発生しているが、高 EI 型では延性の向上により割れの発生なく成形をすることができている。980 MPa 級高 EI- λ 型 GA 鋼板の成形性評価結果を汎用型と比較して写真 2(d), (e) に示

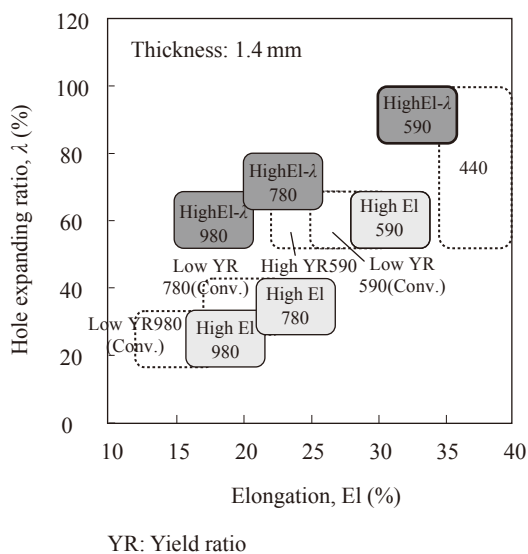
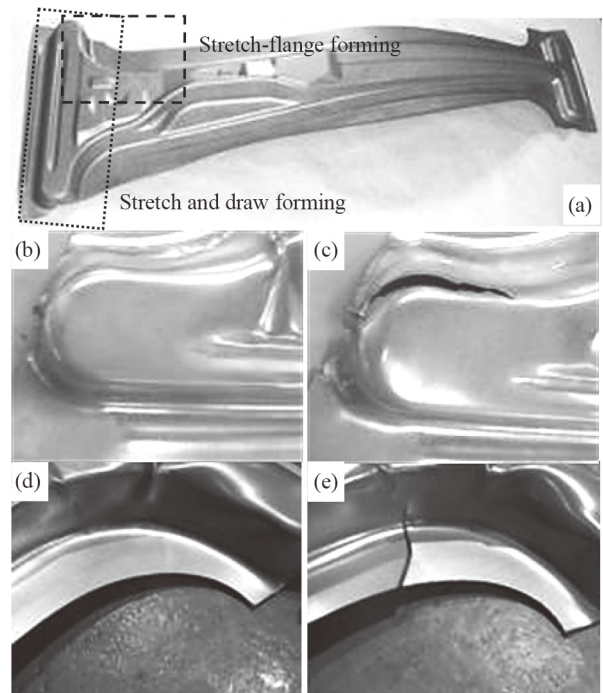


図 4 高強度合金化溶融亜鉛めっき (GA) 鋼板商品群の引張強さと伸びと穴広げ率

Fig. 4 The elongation and hole expanding ratio (λ) of a series of galvanized (GA) high strength steel sheets

す。汎用型ではフランジ端部から縦壁部に向かって割れが発生している。高 EI- λ 型においては伸びフランジ性の向上により割れの発生は認められない。このように成形様式に応じて適切な材料を選択することにより、難成形部品においても高強度 GA 鋼板を適用することが可能になり、キャビン周りの骨格部品において防錆性能と衝突性能の両立への貢献が期待される。



(a) Appearance of press-formed parts and evaluated positions (b), (c) Stretch and draw forming, (d), (e) Stretch-flange forming, Steels press-formed: (b) Low YR(High EI), (d) High EI- λ , (c), (e) Low YR(Conventional)

EI: Elongation λ : Hole expanding ratio YR: Yield ratio (YP/TS)

写真 2 センターピラ実験金型による各種 980 MPa 級超高強度合金化溶融亜鉛めっき (GA) 鋼板のプレス成形性調査結果

Photo 2 Press-forming results of 980 MPa grade galvanized (GA) ultra high strength steels using experimental stamping tools of center pillar

表 3 プレス成形試験に用いた 980 MPa 級超高強度合金化溶融亜鉛めっき (GA) 鋼板の機械的特性値

Table 3 Mechanical properties of 980 MPa grade ultra high strength galvanized (GA) steel sheets used for press-forming test

Type	YS (MPa)	TS (MPa)	EI (%)	λ (%)
Low YR (Conventional)	680	1 020	15	25
Low YR (High EI)	620	1 010	19	25
High EI- λ	819	997	17	69

YS: Yield strength TS: Tensile strength EI: Elongation λ : Hole expanding ratio YR: Yield ratio (YP/TS)



写真3 低YR (降伏比) 型 1 180 MPa 級超高強度冷間圧延鋼板を用いたドアインパクトビーム部品

Photo 3 Door impact beam made of the low yield ratio (YR) type 1 180 MPa cold-rolled ultra high strength steel

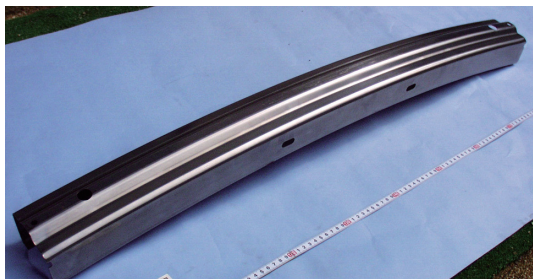


写真4 1 320 MPa 級超高強度冷間圧延鋼板を用いたバンパ R/F (バンパレインフォースメント, 補強材) 部品

Photo 4 Bumper reinforcement made of the 1 320 MPa grade cold-rolled ultra high strength steel

4. 適用例

これまで紹介してきた高強度冷間圧延鋼板, GA 鋼板は, すでに自動車骨格用として広く適用されているが, ここでは強度グレードの高い鋼板の適用の一例を紹介する。

写真3 は 1 180 MPa 級冷間圧延鋼板によるドアインパクトビームである。高い伸びにより複雑な部品形状を可能とすることで, ホットスタンプ部品を冷間プレス部品で代替し, 低コスト化を達成した例である^{23,24}。写真4 はロール成形による 1 320 MPa 級バンパ R/F 部品であり, 成形加工用途としては最高強度レベルの鋼板適用例である。

高強度 GA 鋼板は 590 MPa 級の適用が急速に拡大している。980 MPa 級はベルトライン R/F 部品やサイドシル R/F 部品など用途に向けて量産化されており, 今後さらなる適用拡大が期待される。

5. おわりに

本稿では, 最近までに開発した自動車の軽量化と衝突安全性の向上に貢献する超高強度冷間圧延鋼板と合金化亜鉛めっき (GA) 鋼板について, 特性発現の基本原則, 商品の品揃えと特徴, 適用事例を紹介した。

高強度の材料を適用拡大するためには, これまで以上に成形や溶接などの利用技術の発展が必要であり, 材料開発と一体で利用技術を開発, 提案する予定である。

JFE スチールは, お客様との協力関係を深めつつ, さらなる技術開発を進め, 地球環境問題解決に寄与できる低燃費

で, 人にやさしい安全快適な自動車車体の実現に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 苗村博, 福岡嘉和, 逢坂忍, 石岡弘之. 日本鋼管技報. 1977, no. 73, p. 47.
- 2) 柳島章也, 下山雄二, 鈴木宗利, 角南秀夫, 芳賀雄彦, 井田幸夫, 入江敏夫. 川崎製鉄技報. 1981, vol. 13, no. 2, p. 195.
- 3) 金藤秀司, 岩藤秀一, 松井直樹, 山崎雅之, 本田昭芳, 久世裕. NKK 技報. 1989, no. 12, p. 16.
- 4) 大橋延夫, 高橋功, 橋口耕一, 古川幸夫. 川崎製鉄技報. 1975, vol. 7, no. 4, p. 415.
- 5) 中岡一秀, 荒木健治, 高田芳一, 能勢二郎. 日本鋼管技報. 1977, no. 75, p. 11.
- 6) 松藤和雄, 下村隆良, 大沢紘一, 奥山健, 木下正行, 逢坂忍. 日本鋼管技報. 1980, no. 84, p. 14.
- 7) 福岡嘉和, 西本昭彦, 野副修. 日本鋼管技報. 1984, no. 105, p. 29.
- 8) 細谷佳弘, 津山青史, 長滝康伸, 金藤秀司, 出石智也, 高田康幸. NKK 技報. 1994, no. 145, p. 33.
- 9) 阿部英夫, 佐藤進. 川崎製鉄技報. 1989, vol. 21, no. 3, p. 208.
- 10) 川辺英尚, 金本規生. 川崎製鉄技報. 2000, vol. 32, no. 1, p. 65.
- 11) たとえば, 吉武明英, 比良隆明, 平本治朗. JFE 技報. 2007, no. 16, p. 34.
- 12) 飛山洋一, 大沢一典, 平田基博. 川崎製鉄技報. 1999, vol. 31, no. 3, p. 181.
- 13) 田中甚吉, 樺沢真事, 小野守章, 長江守康. 日本鋼管技報. 1984, no. 105, p. 72.
- 14) 松下宗生, 谷口公一, 遠藤茂. JFE 技報. 2012, no. 30, p. 32.
- 15) 長谷川浩平, 田路勇樹. 鉄鋼材料の加工硬化特性への新たな要求と基礎研究. 日本鉄鋼協会. 2011, p. 232.
- 16) 長谷川浩平, 田路勇樹, 南秀和, 池田博司, 森川龍哉, 東田賢二. 鉄と鋼. 2012, vol. 98, no. 6, p. 320.
- 17) 南秀和, 中山恭平, 森川龍哉, 東田賢二, 田路勇樹, 長谷川浩平. 鉄と鋼. 2011, vol. 97, no. 9, p. 493.
- 18) Matsuda, Hiroshi; Kitano, Fusato; Hasegawa, Kohei; Urabe, Toshiaki; Hosoya, Yoshihiro. Steel Research. 2002, vol. 73, no. 6, p. 211-217.
- 19) Hasegawa, Kohei; Kawamura, Kenji; Urabe, Toshiaki; Hosoya, Yoshihiro. ISIJ-Int. 2004, vol. 44, no. 3, p. 603.
- 20) 長谷川浩平, 田路勇樹, 飯塚栄治, 山崎雄司, 占部俊明, 田中靖. CAMP-ISIJ. 2007, vol. 20, p. 437.
- 21) 田路勇樹, 高木周作, 吉野正崇, 長谷川浩平, 田中靖. 鉄と鋼. 2009, vol. 95, no. 12, p. 887.
- 22) 長谷川浩平, 占部俊明, 山崎善政, 吉武明英, 細谷佳弘. まてりあ. 2003, vol. 42, no. 1, p. 76.
- 23) 田路勇樹, 長谷川浩平, 河村健二, 川辺英尚, 重本晴美. まてりあ. 2009, vol. 48, no. 3, p. 129.
- 24) Toji, Y.; Hasegawa, K.; Shigemoto, H.; Kawabe, H.; Fujita, T.; Tanaka, Y.; Nakamura, H.; Ishida, H.; Sakamoto, H. Review of Automotive Engineering. 2009, vol. 30, no. 2, p. 159-166.



長谷川浩平



金子真次郎



瀬戸 一洋