

(技術資料)

軸圧壊時の変形能に優れる GA980MPa 級合金化溶融亜鉛めっき鋼板

Hot-dip Galvannealed Steel Sheet of 980MPa Grade Having Excellent Deformability in Axial Crush



中屋道治*¹
Michiharu NAKAYA



金只真次郎*¹
Shinjiro KANETADA



経澤道高*²
Michitaka TSUNEZAWA

Automotive parts that play the roles of energy absorbers must not fracture upon collision. It has been reported that the cracking behavior of a hat-shaped column during an axial crush test correlates with the bending properties of its material and that the conventional hot-dip galvannealed (GA) dual-phase (DP) steel sheets of 980MPa grade have insufficient performance. The newly developed GA 980MPa grade steel sheet with a homogeneous microstructure shows no cracking at a bending angle that would have caused cracking in conventional DP steel sheets, preventing crack propagation in the thickness direction. In order to evaluate the axial crush performance of a part made of the newly developed steel sheet, hat-shaped columns with two different cross-sectional geometries were examined by drop weight impact testing. For both geometries, the newly developed steel exhibited cracks with smaller lengths and higher energy absorption compared with conventional steel.

まえがき = 燃費向上を目的とした自動車軽量化と衝突時の安全性向上のため、高強度鋼板の適用が加速している¹⁾。耐食性が必要なアンダボデー部品に適用される合金化溶融亜鉛めっき (GA) 鋼板についても同様であり、高強度で成形性に優れる鋼板が開発されている^{2), 3)}。高強度化の対象となる部品も多岐にわたっており、キャビン周りの部品に対しては、衝突時の乗員保護の観点から変形をできる限り小さく抑えられる材料の検討が進められている。その一方で、車両前後の部品向けなどのように変形させることによって衝突エネルギーを吸収する部材に適した材料の検討も進んでいる⁴⁾。エネルギー吸収部材に適用される鋼板には、プレス成形性や溶接性に加え、圧壊変形時に大きな割れが発生しないことが必要とされ、検討がなされている。それらによると、圧壊変形時の割れは曲げ性や穴広げ性 (指標: λ 値) などの局部変形に関連した指標との相関が高いとされている^{4)~7)}。

980MPa 級 GA 鋼板においては現在、フェライトとマルテンサイト組織からなる Dual Phase (以下、DP という) 鋼板⁷⁾ が主流である。このタイプの鋼板は、組織境界にひずみが集中してき裂が発生しやすく、曲げ性や穴広げ性の向上には限界があると考えられており、必ずしもエネルギー吸収部材に適しているとはいえない。いっぽうで、DP 鋼板とは異なり、フェライトを含まない複合組織を用いることによって穴広げ性や曲げ性を向上させた冷延鋼板が開発されている^{9), 10)}。エネルギー吸収部材は耐食性を必要とする場合が多く、GA 鋼板での実用化が望まれている。

そこで当社では、エネルギー吸収部材に適した性能を有する 980MPa 級 GA 鋼板を開発した。本稿では、開発鋼板の機械的特性、曲げ性および軸圧壊特性を評価した結果を報告する。

1. 供試材の特性

1.1 引張特性および穴広げ性

供試材はいずれも、板厚 1.6 mm の合金化溶融亜鉛めっき鋼板であり、めっき付着量は片面あたり 45~65 g/mm² の範囲、めっき層中の鉄濃度は 7~15% の範囲内である。機械的特性を表 1 に、マイクロ組織を図 1 に示す。

表 1 供試材の機械的特性
Table 1 Mechanical properties of sample steels

Sample	Thickness (mm)	YP/YS (MPa)	TS (MPa)	EL (%)	λ (%)
A	1.6	659	1,059	15	17
B	1.6	882	1,004	14	86

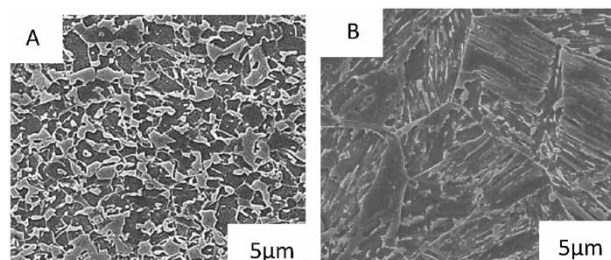


図 1 代表的組織写真 A) Dual phase 鋼, B) 開発鋼
Fig. 1 Typical microstructures of A) Dual phase steel B) Developed steel

*¹ 鉄鋼事業部門 技術開発センター 鋼板開発部 *² 鉄鋼事業部門 薄板商品技術部

供試材Aは、フェライトとマルテンサイト組織からなるDP鋼である。低YS特性を有しており、 λ は20%弱である。化学成分は、CおよびMnに加え、Cr、Mo等を添加したものである。

供試材Bは、割れの起点となる過度に硬質な組織や軟質なフェライトをほとんど含まない均一な組織からなる。供試材Aに比べてYSが高く、高い穴広げ値を有していることが特徴である。化学成分には、硬質な組織を抑制するためにC量を抑制し、フェライトの生成を抑制する焼入れ性向上元素を添加している。

1.2 曲げ性

1.2.1 曲げ試験方法

軸圧壊試験における割れ挙動と曲げ性との間には相関関係があることが報告されている^{5), 6)}。また、ドイツ自動車工業会規格では、部材圧壊時の割れ挙動を評価することを目的にVDA2380-100（以下、VDA曲げ試験という）が規定されている。

VDA曲げ試験は、2本の支持ロール上に設置した試験片を鋭利なポンチで曲げるもので（図2）、試験中に測定したポンチ荷重とストロークから、荷重-曲げ角度線図（図3）を作成する。最大荷重到達後の荷重低下は

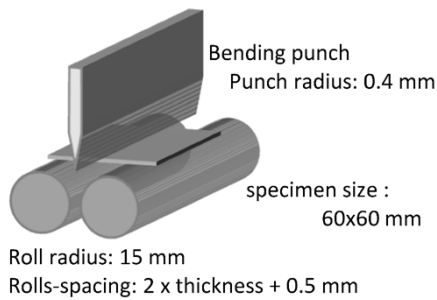


図2 VDA曲げ試験方法
Fig. 2 Set-up for VDA bending test

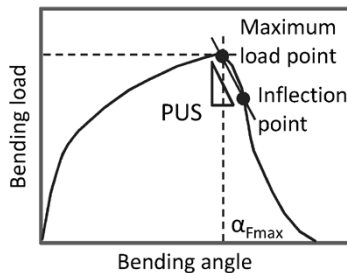


図3 荷重-角度線図
Fig. 3 Bending load - Angle curve

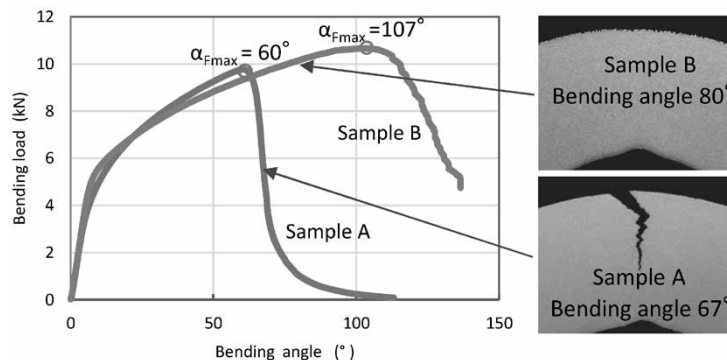


図4 VDA曲げ試験による荷重曲げ角度線図および矢印で示した角度における試験片の断面観察
Fig. 4 Bending load-angle curve and cross-sectional observations of samples in bending angles pointed by arrows

割れの発生と対応することから、最大荷重到達時の曲げ角度 (α_{Fmax}) が曲げ割れ限界の指標となる。また、最大荷重と荷重低下中の変曲点とを直線で結んだときの傾きPUS (Post uniform slope)⁶⁾ も合わせて取得した。この傾きは、割れの板厚方向への進展挙動と関係があり、傾きが小さいと割れが進展し難いことを示す。

一般的な曲げ性評価方法である90°V曲げ試験も実施した。試験では、Vブロック上に試験片を置き、先端Rが0~2.5 mm (0.5 mmピッチ) の90°ポンチで曲げ、クラックを生じない最小曲げ半径を板厚で除した値R/tを指標とした。VDA曲げおよび90°V曲げいずれの場合も曲げ稜線を圧延方向に対して平行とした。

1.2.2 曲げ試験結果

VDA曲げ試験による荷重-曲げ角度線図、および一部の曲げ角度における試験片の断面観察結果を図4に示す。供試材Aは曲げ角度60°で最大荷重に到達しており、曲げ角度67°の断面観察では割れが板厚の半分まで進展していた。いっぽうで供試材Bは、曲げ角度80°でも割れは発生せず、107°で最大荷重に到達した。その後の荷重が低下する過程における傾き (PUS) も供試材Aと比較して小さく、板厚方向への割れの進展も認められない。

90°V曲げ試験後の曲げ稜線の外観観察結果を図5に示す。供試材AはポンチR=2 mmでも割れが発生しているのに対し、供試材BはポンチR=0 mmでも割れの発生は認められなかった。

以上のVDA曲げ試験および90°V曲げ試験の結果を表2に示す。供試材Bは、供試材Aに比べていずれの指標でも良好な値を示している。

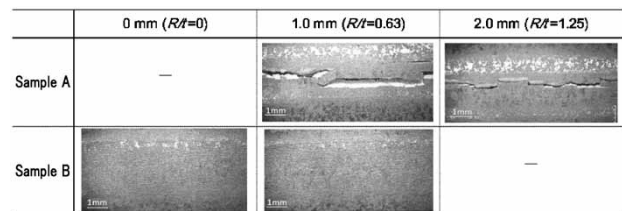


図5 V曲げ試験後の稜線部外観
Fig. 5 Appearance of ridge surface after V-bending test

表2 曲げ試験結果
Table 2 Results of bending test

	VDA bending angle (°)	Post uniform slope (MPa)	R/t
Sample A	107	138	1.56
Sample B	60	34	0

2. ハット部材の軸圧壊特性

2.1 試験方法

前述の供試材を用い、2種 (type1, type2) のハット形状断面の試験体を曲げ加工により作製した (図6)。試験体の長さ (紙面垂直方向) はいずれも200 mmとし、背板は590MPa級の冷延ハイテン (板厚: 1.4 mm) を用い、打点間隔30 mm で試験体にスポット溶接した。試験体の上下には、厚さ10 mmの鋼材 (SS400) を全周アーク溶接で接合した。

軸圧壊変形には落錘試験機を用いた。試験体をロードセル上の台座に固定し、衝突速度60 km/hになるように質量190 kgの重りを落下させた。重りは、試験体上部に接触後80 mmで停止するようにした。試験は各供試材、各断面形状につき2体ずつ実施した。

各試験体における割れの発生程度を定量的に評価するため、割れ長さを測定した。測定対象とした割れは板厚を貫通した割れとした。試験体外側、および試験体を半分に切断した後で内部を目視観察することにより、軸圧壊変形によって発生した破面を特定した。つぎに、破面を直線で近似できる程度に分割してそれぞれの長さを測定し、それらを合計した値を破面の長さとした (図7)。なお、一つの割れについて破面は二つあるが、重複を避

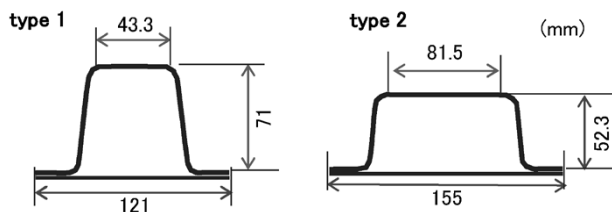


図6 圧壊試験体の断面形状
Fig. 6 Cross section geometries of hat-shaped columns

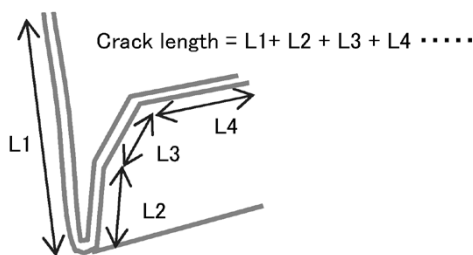


図7 割れ長さの測定方法
Fig. 7 Measurement method of crack length

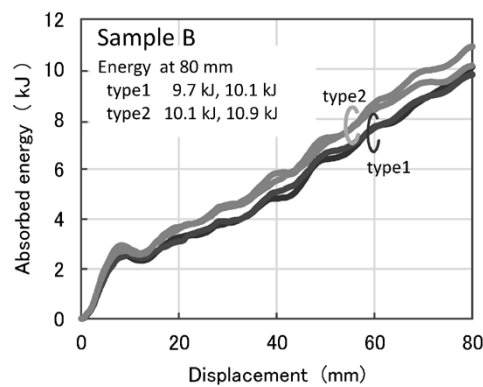
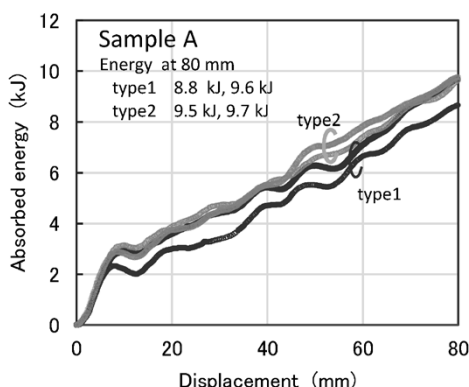


図8 吸収エネルギー—変位曲線
Fig. 8 Absorbed energy-displacement curves

けるためにここでは、いずれか一方の破面のみを対象とし、割れの長さを破面の長さで代替した。

2.2 試験結果

図8に落錘試験における吸収エネルギー—変位曲線を示す。変形量80 mmにおける吸収エネルギーは、type1の形状の場合、供試材Aが8.8 kJおよび9.6 kJであったのに対して、供試材Bは9.7 kJおよび10.1 kJであった。またtype2では、供試材Aの9.5 kJ、9.7 kJに対して、供試材Bは10.1 kJ、10.9 kJであった。いずれの形状でも供試材Bの方が高い値を示した。

図9に軸圧壊後の試験体の外観写真を示す。供試材Aの試験体では、圧縮初期に稜線部が曲げられて割れが発生し、そのまま稜線に沿って割れが進展する場合 (図9 a) や、座屈後の曲げ部で発生したと考えられる割れ (図9 b) が観察された。いっぽうで、供試材B (図9 c, d) にはこれらのような大きな割れは認められない。落錘試験で発生した割れの長さを試験体ごとに合計した値を図10に示す。供試材Aは合計割れ長さが大きく、最大で450 mmを超える場合がある。これに対して供試材Bでは、最大でも127 mmであり、曲げ試験や穴広げ試験と同様に軸圧壊変形においても割れが抑制されることが分かった。

図4 (曲げ角度—荷重線図) で示したように、曲げ変形では割れが発生すると曲げ荷重は低下した。軸圧壊においても、割れが発生した場合には部品全体の変形荷重

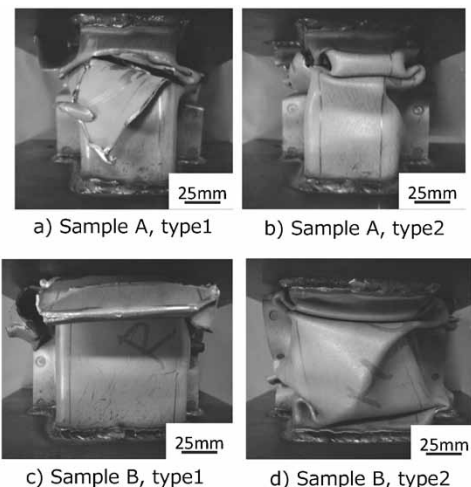


図9 軸圧壊後の外観例
Fig. 9 Appearances of hat-shaped columns after axial crush

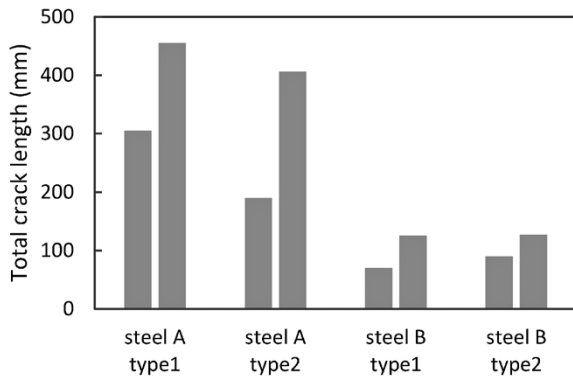


図10 軸圧壊試験体の合計割れ長さ

Fig.10 Total crack length of crushed hat-shaped columns

も低下する可能性があると考えられる。供試材Bの吸収エネルギーが供試材Aに比べて高い値を示した理由として、供試材BのYSが高いことに加えてこのような割れによる変形荷重の低下が抑制されたことが考えられる。

むすび = 均一組織を適用したGA980MPa級合金化溶融亜鉛めっき鋼板について、機械的特性、曲げ性および軸圧壊特性の評価結果を報告した。従来のDP鋼板に比べて、曲げ性や穴広げ性に優れる本鋼板は、軸圧壊変形においても割れの発生が抑制されることが確認された。曲げ加工や伸びフランジ加工性に優れていることに加えて、衝突時の圧壊変形にも有利であることから、今後の適用拡大が期待される。

参考文献

- 1) WorldAutoSteel of World Steel Association日本委員会. スーパー鉄鋼「先進ハイテン」. 株式会社文芸春秋, 2009, p.10.
- 2) 二村裕一ほか. R&D神戸製鋼技報. 2011, Vol.61, No.2, p.41.
- 3) 池田宗朗ほか. R&D神戸製鋼技報. 2017, Vol.66, No.2, p.8.
- 4) 真木秀朗ほか. 自動車技術会論文集. 2017, Vol.48, No.66, p.1347.
- 5) P.Larour et al. International Deep Drawing Group, IDDRG International Conference 2010. Graz, Austria, 2010, 0531/06-02.
- 6) 内藤純也ほか. R&D神戸製鋼技報. 2017, Vol.66, No.2, p.69.
- 7) 鎮西将太ほか. R&D神戸製鋼技報. 2017, Vol.66, No.2, p.76.
- 8) WorldAutoSteel of World Steel Association日本委員会. スーパー鉄鋼「先進ハイテン」. 株式会社文芸春秋, 2009, p.18.
- 9) 三浦正明ほか. R&D神戸製鋼技報. 2009, Vol.57, No.2, p.15.
- 10) 中屋道治ほか. R&D神戸製鋼技報. 2009, Vol.59, No.1, p.49.