

高加工性 1180 MPa 級超高強度鋼板の開発

田路 勇樹^{*1)} 長谷川 浩平^{*1)} 河村 健二^{*1)}
川邊 英尚^{*1)} 重本 晴美^{*2)}

1. はじめに

近年自動車では、CO₂排出の抑制、および乗員保護の観点から、自動車車体用鋼板の高強度化による車体軽量化および衝突安全性の向上が積極的に進められている。特に、乗員を守るキャビン周りには引張強度(TS)が980 MPaを超える超高強度鋼板の適用も進んでおり、ドア内の補強部品であるドアインパクトビームでは、TS 1470 MPa級の焼入れ鋼管や、ホットプレス部品がすでに実用化されている。しかしながら、焼入れ鋼管では、造管後焼入れ焼戻し処理を施す必要があり、さらに、ドアとの接合のために、鋼管の両端にブラケットをアーク溶接する必要があるため、部品コストが高くなっている。一方、ホットプレス工法ではビーム部とブラケットの一体成形が可能であるが、熱間でプレス加工する必要があるため、専用設備が必要であるほか、現状タクトタイムが長く、やはり部品コストが高い。

部品製造コスト低減には、冷間プレスによりブラケット一体型のドアインパクトビームを製造することが有効である。しかしながら、従来のTS 1180 MPa以上の超高強度鋼板は延性が低く、一体型ドアインパクトビームの冷間プレス加工が困難であった。

本報告では、上記課題をうけて、一体型ドアインパクトビームを低コストな冷間プレスにより製造可能な、高加工性1180 MPa級超高強度冷延鋼板を開発したので紹介する。

2. 開発鋼板の特性

(1) 金属組織

図1に今回開発した高加工性1180 MPa級冷延鋼板の金属組織を従来鋼と比較して示す。従来は、低炭素量で高強度が得られるマルテンサイト単相組織が主流であったのに対し、開発鋼は加工性を向上させるため軟質なフェライトを体積率で約40%含有させ、マルテンサイトとの複合組織とした。これにより、後述するように加工硬化特性(n値)を向上させることができ、高い伸び値を達成した。また、複合組織化により低下した引張強度を補償するため、Siによる固溶強化を活用した。さらに、複合組織鋼は各組織の分率に依存して機械的特性が変化するため、材質の安定化には熱処理工程において精密な組織制御が必要となるが、当社は独自のWQ(水焼入れ)型連続焼鈍設備⁽¹⁾を活用して、材質を量産レベルで安定化させた。

(2) 機械的特性

表1に開発鋼の機械的特性を、従来鋼と比較して示す。開発鋼は伸び値(El)が14%と、従来鋼比2倍の高い延性を有する。図2に開発鋼および従来鋼の真応力-真ひずみ曲線および瞬間n値を示す。開発鋼は広いひずみ領域において高いn値を示しており、これにより加工時にひずみ伝播が促進され、延性が向上したと考えられる。

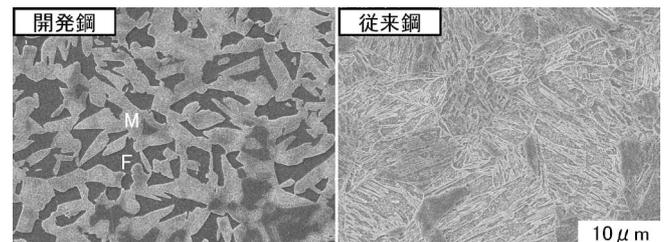


図1 1180 MPa級鋼のSEM組織写真、F：フェライト、M：マルテンサイト。

* JFE スチール株式会社

1) スチール研究所自動車鋼板研究部 主任研究員

2) 西日本製鉄所薄板商品技術部 主任部員

Development of 1180 MPa Grade Ultra High Strength Steel with Excellent Formability; Yuki Toji, Kohei Hasegawa, Kenji Kawamura, Hidetaka Kawabe, Harumi Shigemoto (JFE Steel Corporation)

2008年11月4日受理

表1 1180 MPa 級鋼の機械的特性値.

	板厚(mm)	YS(MPa)	TS(MPa)	El(%)
開発鋼	1.4	860	1210	14
従来鋼	1.4	1030	1230	7

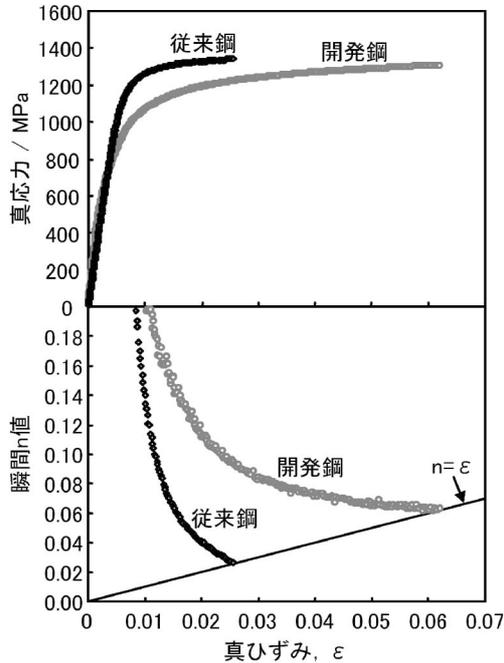


図2 1180 MPa 級鋼の真応力-真ひずみ曲線および瞬間n値.

また、開発鋼は降伏強度(YS)が低く、プレス加工時にスプリングバックを抑制することによる寸法精度の向上が期待される。一方、自動車部品は一般にプレス加工後、塗装されて用いられるが、塗膜を乾燥させるための焼付け工程において180°C程度の熱履歴を受ける。開発鋼はこの塗装焼付けの熱履歴を利用してYSが上昇する特性(BH特性)を有する。図3に加工硬化量(WH)と焼付硬化量(BH)の定義を、図4に一軸引張試験にて1~6%の予ひずみを付与し、塗装後の焼付け処理を模擬して180°C×20分の熱処理を施した後、再び引張試験を行ったときの、WHおよびBHに及ぼす予ひずみ量の影響を示す。WHは予ひずみ量と共に増加し、予ひずみ2%で250 MPaに達する。またBHは予ひずみ1%以上で150 MPaを超えており、高いBH特性を示すことが分かる。以上のように、開発鋼は低降伏強度のためプレス加工上有利であり、かつ、プレス加工によるWHと塗装焼付けによるBHで、使用時には高い部品強度が期待される。

(3) 耐遅れ破壊特性

TSが1180 MPa以上の鋼では、使用中に腐食に伴い鋼に侵入する水素に起因した遅れ破壊が懸念される。加工後に使用される自動車用薄鋼板においては、負荷応力、侵入水素量に加えて、加工によるひずみの影響を考慮した遅れ破壊特性評価が必要であり⁽²⁾、材料に応じて遅れ破壊が懸念される使用条件(ひずみ、応力、水素量)を、予めラボサンプルにより

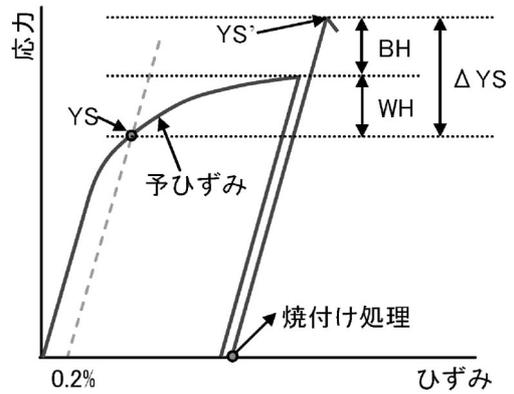


図3 加工硬化量(WH)と焼付硬化量(BH)の定義.

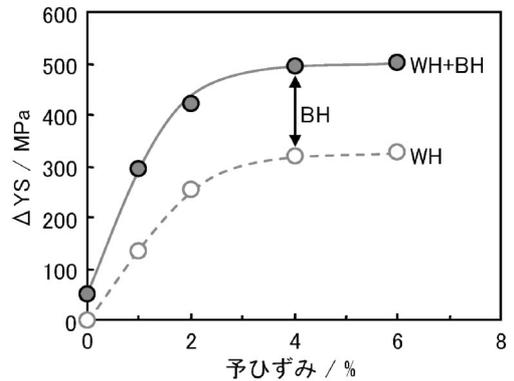


図4 WHおよびBHにおよぼす予ひずみ量の影響.

明確化し、実際のプレス部品の加工条件、侵入水素量と比較することで、プレス部品の実使用環境での遅れ破壊の危険性を予測できると考えられる。

そこで、図5に示すように、供試鋼から採取した30 mm×100 mmのサンプルにU型曲げ加工を行い、ボルト締付けにより応力負荷した試験片を、0.1規定の塩酸中に最大300時間まで浸漬して破壊時間および侵入水素量を調査した。破壊時間に及ぼす加工ひずみ量の影響を曲げ半径(R)を変化させることで、また、負荷応力の影響を、ボルト締付け間隔(d)を変化させることで評価した。U曲げ頂点部表層の応力は、X線微小応力測定装置で測定した。

供試鋼をU型曲げ加工したときに外観上良好に成形できる最小の曲げ半径は2 mmで、R=1.5 mmでは試験片外表面に微小クラックが発生した。図6にU型曲げ加工後、スプリングバック分をボルトで締付けた試験片(d=2R)を、塩酸に浸漬したときの破壊時間に及ぼす曲げ半径の影響を示す。曲げ半径が4 mm以上では破壊していないが、2 mmでは短時間で破壊している。このように、加工限界に近い強加工領域では遅れ破壊が促進される危険性があるので、注意が必要である。

図7にR=2 mmの試験片の破壊時間に及ぼす表層負荷応力の影響を示す。負荷応力が約800 MPa(d=4 mm)では破壊しているが、約230 MPa(d=12.5 mm)および-320 MPa(d=21 mm, ボルト締付け無し)では加工の厳しいR=2 mmにおいても破壊が発生していない。

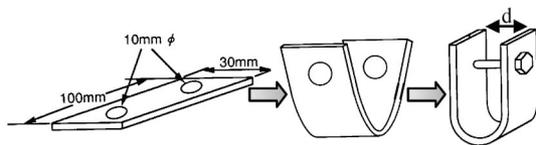


図5 遅れ破壊試験片作製手順.

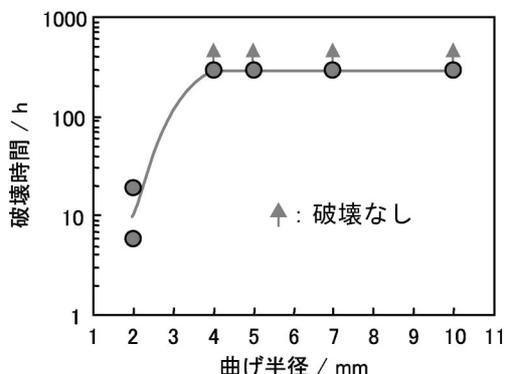


図6 破壊時間におよぼす曲げ半径の影響.

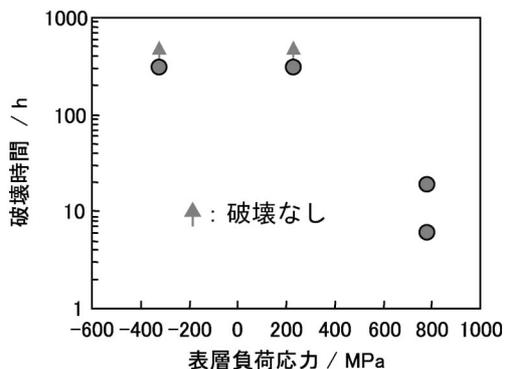


図7 破壊時間におよぼす表層負荷応力の影響.

塩酸浸漬による侵入水素量を昇温分析法で測定した結果、遅れ破壊に影響を及ぼすと考えられている拡散性水素の濃度は約 0.6 wt ppm であった。一方、実際の使用環境での鋼板の腐食に伴う侵入水素量は、0.1 ppm 程度であるとの報告があり⁽³⁾、実環境では0.1規定塩酸浸漬と比べて遅れ破壊の危険性は小さいと考えられる。

対象鋼において遅れ破壊が懸念される使用条件(曲げ半径, 応力, 侵入水素量)をまとめて図8に示す。開発鋼の遅れ破壊発生領域は狭い範囲に限定されていることが分かる。実用においては、部品設計段階で遅れ破壊が懸念される加工条件を外すことで、遅れ破壊を回避可能と考えられる。

3. 実用化状況

開発鋼は一体型リアドアインパクトビームとして適用された⁽⁴⁾(図9)。本ドアビームは開発鋼の高い延性を活用し、深

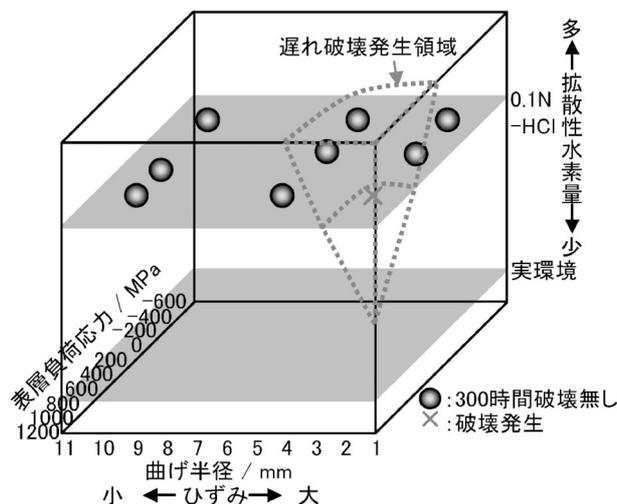


図8 開発鋼の遅れ破壊発生領域マップ.



図9 開発鋼が適用されたりアドインパクトビーム(株式会社ヒロテック提供).

い絞り形状とすることでプレス成形時の加工硬化(WH)と、塗装焼付けによる強度上昇(BH)により、ホットプレス部品と同等の衝撃吸収性能を達成し、プレス加工の生産性も大幅に向上させた。さらに、超高強度鋼板適用上の重要課題である遅れ破壊に対しては、図8に示した開発鋼の遅れ破壊発生領域と開発部品の応力、ひずみ状態を比較することで、本製品の加工条件が遅れ破壊に対して十分安全領域にあることを明らかにした。なお、開発部品の0.1規定塩酸浸漬試験および、より実環境に近いと考えられる腐食サイクル試験においても、破壊しないことを確認している。

以上のように、開発鋼の高い延性により、複雑形状の部品の冷間プレス加工が可能となり、ドアビームに限らず、耐衝撃特性が要求される自動車骨格部品などにおいても、軽量化、低コスト化に効果を発揮すると期待される。

文 献

- (1) N. Matsui, S. Jitsukawa, T. Izushi and M. Yamazaki: Development in the Annealing of Sheet Steels, The Materials, Metals & Materials Society, (1992), 1-13.
- (2) 田路勇樹, 高木周作, 吉野正崇, 長谷川浩平, 藤田 毅, 田中 靖: CAMP-ISIJ, **21**(2008), 596.
- (3) 櫛田隆弘: 遅れ破壊解明の新展開(日本鉄鋼協会), (1997), 145-175.
- (4) 田路勇樹, 長谷川浩平, 重本晴美, 川邊英尚, 藤田 毅, 田中 靖, 中村 肇, 石田 博, 坂本博之: 自動車技術会論文集, **39**(2008), 133-138.