

(技術資料)

超高強度冷延鋼板の車体部材への適用

Application of Ultra High-strength Steel Sheets for Automotive Body Parts



田村享昭
Takaaki Tamura



向井陽一
Youichi Mukai

In recent years, in order to increase automotive fuel mileage through the reduction of automotive body weight and the performance of safety in impacts, ultra high-strength steel sheets rather than TS 980MPa grade steels have been increasingly applied to automotive body parts. This paper surveys TS 980MPa grade cold-rolled steel sheets and describes a few mechanical properties of the newly developed steel sheets for automotive seats. Due to improvements in the homogeneity of the microstructure, the developed steel sheets have much better bending formability.

まえがき = 従来引張強度 980MPa 級以上の超高強度冷延鋼板は、主として自動車のドアガードバーやバンパリアインフォースメントなどの補強部材に使用されてきた。しかし最近、二酸化炭素排出規制に対する社会的関心の高まりに伴い、燃費改善に寄与する自動車車体軽量化のニーズが再認識されている。また、J-NCAP などでの安全性の評価が公表されるようになり、衝突時に乗員の安全を確保する衝突安全性向上への消費者ニーズも大きくなっている。これらのニーズを両立する目的で、車体部材であるピラー類やシート部品への超高強度冷延鋼板の適用が始まっている。

本稿では、ユーザにて高い評価を得ている 980MPa 級冷延鋼板の各種特性を概観するとともに、最近の開発状況を報告する。

1. 高延性 980MPa 級冷延鋼板の諸特性

1.1 鋼板品質設計の考え方

優れた延性を有する 980MPa 級超高強度冷延鋼板を製造するために種々検討した結果¹⁾⁻⁵⁾、ミクロ組織として軟質なフェライト相中に硬質なマルテンサイト相を微細分散させたいわゆるデュアルフェイズ鋼を採用し、さらに Si の固溶強化を併せて用いることとした。このようなミクロ組織を得るため、水焼入れタイプの連続焼鈍ライン (Continuous Annealing Line : CAL, 図 1¹⁾) の熱サイクルとしては、以下の要件を満足することが必要であることを明確にした。(1) 焼鈍温度 (T_a) は + 域で、熱延後の冷却で生成したセメンタイトが短時間で固溶する最も低い温度とする。(2) 水焼入れ開始温度 (T_Q) は、オーステナイト中へ炭素を十分濃縮させたのちマルテンサイトへ変態させる観点から、ベイナイト変態開始点の直上とする。(3) 焼戻し温度 (T_r) はフェライトを十分

に軟化させ、かつマルテンサイトが軟化しない温度とする。

また、高延性 980MPa 級冷延鋼板は、ドアガードバーやバンパリアインフォースメントのみでなく、ほかの部品への適用が検討された。そこで、ユーザの加工方法に合わせて材料特性面からも組織の造り分けを行う必要性が生じた。水焼入れタイプの連続焼鈍を用いた場合、温度条件により、デュアルフェイズ鋼の特徴に大きく影響する硬質な第 2 相の体積率と硬さを自在に制御することができる (図 2⁵⁾)。この自由度を用いて同じ化学成分で第 2 相の体積率を増すとともに、マルテンサイトを焼戻して軟質化することにより、同一強度で曲げ加工性や伸びフランジ成形性のより優れた材料の開発を行うことができた。この化学成分を表 1 に示す。

1.2 機械的性質

CAL の温度条件を制御して製造している 980MPa 級冷延鋼板の機械的性質を、表 2 に示す。なお局部伸びを評価する指標として日本鉄鋼連盟の定める方法で穴広げ試験をおこなった。

$$(\%) = \left\{ \frac{D - 10\text{mm}}{10\text{mm}} \right\} \times 100$$

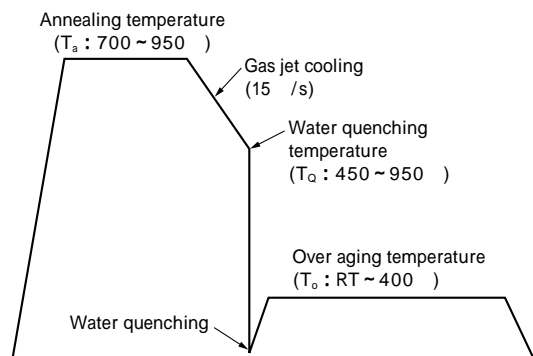


図 1 水焼入れ連続焼鈍サイクルの模式図
Fig. 1 Schematic thermal cycle of continuous annealing

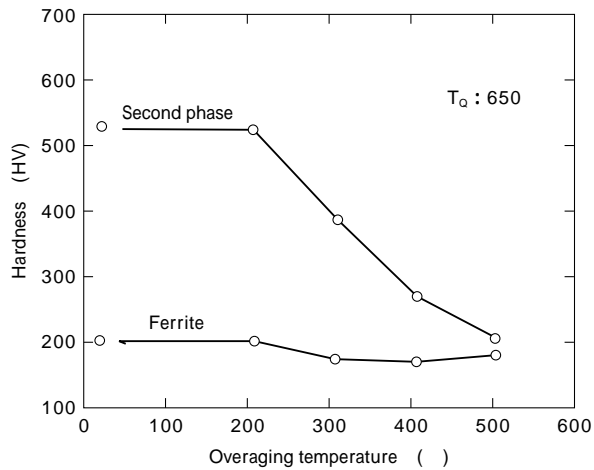


図2 焼戻し処理によるフェライトと第2相の硬さ変化
Fig. 2 Changes in ferrite and second phase hardness with overaging temperature

表1 980MPa級冷延鋼板の化学組成

Table 1 Chemical composition of 980MPa grade cold rolled steel sheet (mass%)

Material	C	Si	Mn	P	S	s-Al	Additional element
980MPa grade	0.16	1.32	1.97	0.014	0.001	0.0047	Added

表2 980MPa級冷延鋼板の機械的特質

Table 2 Mechanical properties of 980MPa grade cold rolled steel

Property	YS (MPa)	TS (MPa)	El. (%)	YR	-value (%)	Thickness (mm)
High elongation type	610	1 010	17	0.60	20	1.4
Balance type	690	1 030	15	0.67	30	1.4
Bending type	770	1 010	13	0.76	40	1.4

D: 亀裂が板厚を貫通したときの穴径 (mm)

このように、ユーザの要望に沿った材料特性の造り分けが可能であり、加工様式に合わせた材料を提案することができる。組織の造り分けと加工様式の例を図3に示す。

1.3 実用特性

1.3.1 BH量

一般的に、成形時には低い降伏点であるほど形状凍結

Forming mode	Schematic microstructure	Elongation	Stretch flangeability
Drawing	Martensite Ferrite Retained austenite		
Drawing + Bending	Martensite Ferrite		
Bending	Ferrite Tempered martensite		

: Excellent : Good : Poor

図3 組織と加工性の関係

Fig. 3 Relation between schematic microstructures and formabilities

性に優れることが知られている。一方、超高強度冷延鋼板を衝突安全性能向上のために車体構造部材に適用した場合、同じ引張強度では降伏点が高いほど吸収エネルギーを大きくすることに有効である。したがって、加工後の塗装焼付け処理(熱処理条件: 170 × 20分)により降伏点が上昇する量(BH量)が高いことが、部材での降伏点上昇に有利である。高伸びタイプ及び曲げタイプについて、JIS 5号引張試験片を用いた1軸引張によって予歪み量を変化させた場合のBH量を図4に示す。

両タイプとも、予歪み量が約0.5%でBH量の極大値が100MPaを越え、予歪み量3%以上でBH量は若干低下するものの、高伸びタイプで約60MPa、曲げタイプは約100MPaという値となる。自動車外板に使用されるBH鋼板のBH量はおよそ40MPa程度であり、それと比較しても980MPa級冷延鋼板のBH量は非常に大きいことがわかる。

1.3.2 成形性

980MPa級冷延鋼板の成形限界曲線を図5¹⁾に示す。

980MPa級冷延鋼板の成形限界曲線は軟鋼板に比較して低いが、一般の780MPa級複合組織鋼板と同等の値を示しており、優れたプレス成形性を有していることがわかる。なお、図には高伸びタイプの成形限界曲線を示しているが、曲げタイプもほぼ同じ位置になることを確認している。

1.3.3 スポット溶接性

980MPa級冷延鋼板高伸びタイプの適正溶接条件範囲

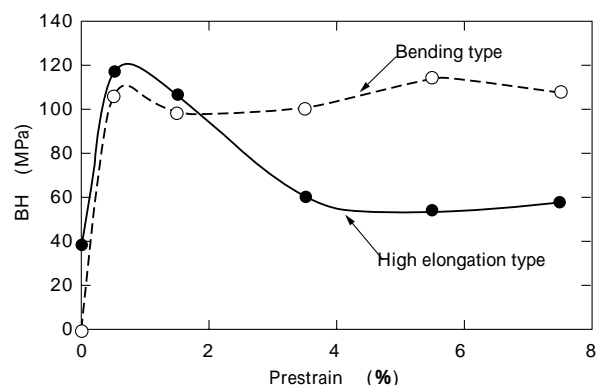


図4 BHに及ぼす予歪み量の影響

Fig. 4 Influence of prestrain on BH of 980MPa grade cold rolled steel sheet

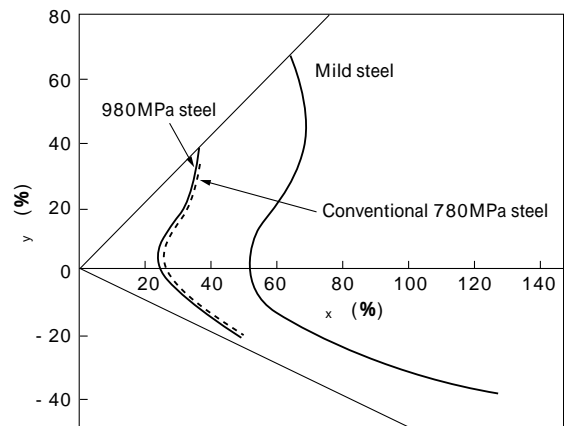


図5 980MPa級冷延鋼板の成形限界曲線

Fig. 5 Forming limit diagram of 980MPa grade cold rolled steel sheet

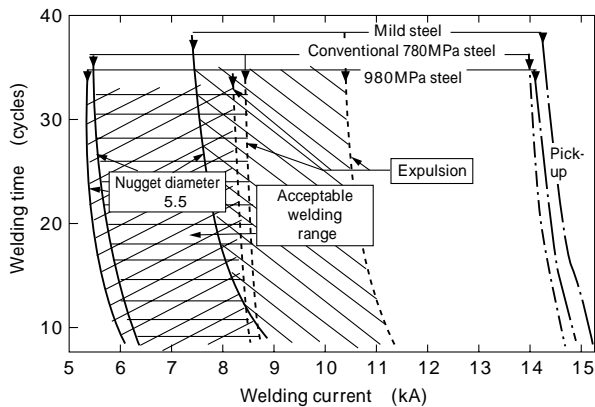


図6 980MPa 級冷延鋼板のスポット溶接性
Fig. 6 Weldability of 980MPa grade cold rolled steel sheet

を、図6¹⁾に示す。チリ発生開始は軟鋼板よりも低電流から発生するが、一般の780MPa 級複合組織鋼板とほぼ同等の適正溶接条件範囲であることがわかる。またナゲット内破断をせず、かつチリ発生開始電流以下であってナゲット径がほぼ同等となる条件でのスポット溶接継手強度を測定した。高伸び及び曲げタイプのスポット溶接継手の引張せん断強度(TSS)、十字引張強度(CTS)測定結果を表3に示す。両タイプとも引張せん断強度(TSS)はJIS A 級を十分満足しており、軟鋼と比較しても引張強度の上昇に合わせてその値も高くなっている。一方、十字引張強度(CTS)は軟鋼よりも高い値を示しているが、従来の知見⁶⁾どおり引張強度の上昇ほど高くなっているわけではない。

2. シート部材用 980MPa 級冷延鋼板

2.1 シート部材用 980MPa 級冷延鋼板の開発

従来、シートベルトアンカ(シートベルトにかかる荷重を支える車体側の支点)はボディ側に設けられていたのに対し、乗員の安全性向上を目的に、シートベルトアンカがシートと一体化したものが開発された。シートベルトアンカとシートが一体化されると、衝突時の乗員の体重を全てシートで支える必要があるため、シートの強度向上が必要となっている。一方、軽量化することも求められており、シートレール、シート本体骨格などのシート部品への980MPa 級冷延鋼板の適用が増加している。

シートレールへの適用に関しては、以下のような克服すべき課題があった。

- (1) 内側半径 0.5mm 程度の局部曲げ成形
 - (2) 板流入の無い場所での局所的な張出し成形
- これらはいずれも局部伸びと相関があるとの知見に基づき、曲げタイプの局部伸びをさらに向上させる検討を行った。製造面では、水焼入れタイプCALの第2相硬さと体積率を自由に定めることができる特徴を十分に生かし高化を達成した。また、焼鈍温度、焼戻し温度も見直

した。その結果、マクロな組織の偏りを低減することができ、上記の局部成形が十分可能な鋼板として製品化している。写真1に、従来の曲げタイプとシート用高曲げタイプの断面組織を示す。従来の曲げタイプ(a)は、成分の偏析が原因のバンド状組織が顕著であるが、高曲げタイプ(b)はバンド状組織が改善されていることがわかる。

2.2 機械的性質及び曲げ特性

この新しく開発したシート用高曲げタイプのEI.と値を、従来の各タイプとの比較で図7に、さらに曲げ性の評価結果を図8に示す。なおここでは、より実成形に近い条件として、曲げ半径を変えてクランクプレスによ

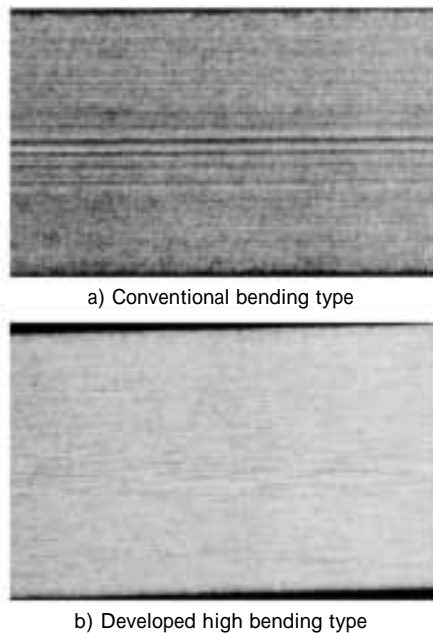


写真1 曲げタイプ及び高曲げタイプの断面組織
Photo 1 Microstructure of 980MPa grade cold rolled steel sheet

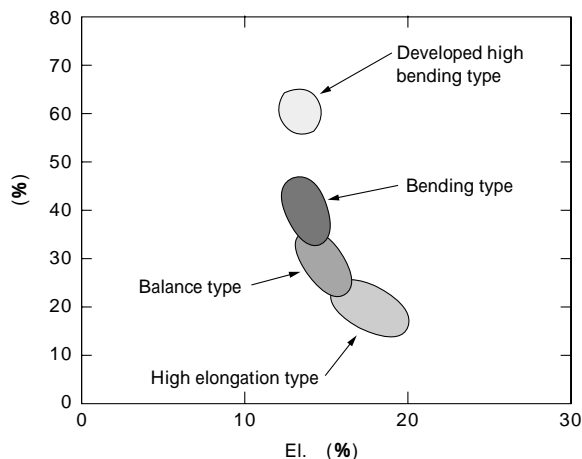


図7 980MPa 級冷延鋼板のEI. 及び 値
Fig. 7 Schematic illustration of elongation and EI. of 980MPa grade cold rolled steel sheet

Grade (MPa)	Type	Thickness (mm)	JIS Z3140A standard		TSS (kN)	CTS (kN)	D (mm)
			TSS (kN)	D (mm)			
Mild steel	-	1.4	min. 6.91	min. 5.0	7.68	6.62	6.11
980	High elongation type	1.4	min. 11.1	min. 5.0	22.8	10.91	6.21
980	Bending type	1.4	min. 11.1	min. 5.0	23.89	9.41	6.15

図 8 980MPa 級冷延鋼板の L 曲げ性評価結果

Fig. 8 Minimum bending radius of 980MPa grade cold rolled steel sheet

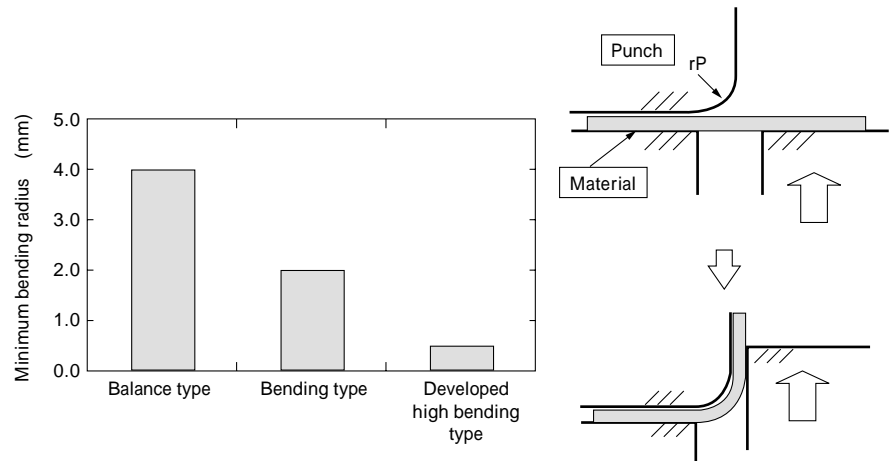


写真 2 シート部材の成形品例
Photo 2 Application to automotive seat parts

る 90° L 字曲げを行い、曲げ角 R 部に亀裂が発生しない最小曲げ半径を求めた。シート用高曲げタイプでは値が向上していると同時に、L 字曲げ成形での最小曲げ半径が大きく改善していることがわかる。写真 2 にシート部材の成形品例を示す。

むすび = 本稿では、980MPa 級高強度冷延鋼板の諸特性と最近の開発状況について述べた。当鋼板が使用される成形様式に合わせた機械的性質の造り分けや、材質のバラツキを低減する製造技術の確立を行ってきたことで、

ユーザの信頼を勝ち得てきた。さらに今回、シート用高曲げタイプをメニューに加えたことで、ユーザニーズへの対応力が広がったと考えている。

超高強度鋼板の車体部材適用は着実に進み、それとともにますます要求特性は高くなっていくことが考えられる。今後も自動車メーカー、部品メーカーのご指導をいただきながら、超高強度鋼板の実用化拡大に貢献すべく迅速な開発を行っていく。また当社は、欧州の鉄鋼メーカーである VOEST ALPINE STAHL 社と新しい自動車用高強度鋼板の共同開発を開始しており、日米欧で同一品質の高強度鋼板が供給できる日も近いと考えている。

参考文献

- 1) 宮原征行ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.35, No.4 (1985) p.92.
- 2) H. Shirasawa et al.：Trans.ISIJ, Vol.26, No.4 (1986) p.310.
- 3) 田中福輝ほか：鉄と鋼，Vol.69, No.13 (1983) p.1363.
- 4) 田中福輝ほか：鉄と鋼，Vol.71, No.5 (1985) p.633.
- 5) 田中福輝ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.42, No.1 (1992) p.20.
- 6) 例えば溶接学会抵抗溶接研究委員会編：抵抗溶接現象とその応用()，スポット溶接(下) p.22.