

## 自動車用超高強度鋼板の開発状況と今後の動向

## Present Situation and Future Trend of Ultra-High Strength Steel Sheets for Auto-Body

藤田展弘\* 楠見和久 松村賢一郎 野中俊樹  
 Nobuhiro FUJITA Kazuhisa KUSUMI Ken-ichiro MATSUMURA Toshiki NONAKA  
 友清寿雅  
 Toshimasa TOMOKIYO

## 抄 録

自動車の軽量化と衝突安全性の両立には、超高強度鋼板の部材への適用拡大が重要な手法の1つである。冷間プレス用980MPa超級鋼板および1470MPa級のホットスタンプ用素材の現状について報告した。

## Abstract

Application of ultra-high strength steel sheets is one of the most important methods to satisfy weight reduction and crash safety of a vehicle. Recently, there is a trend to apply ultra-high strength steel sheets widely to auto-body parts. In this report, present situation of ultra-high strength steel sheets, especially with tensile strength more than 980MPa and 1470MPa by hot-stamping, have been introduced.

## 1. 緒 言

地球温暖化防止の問題意識が高揚する中、自動車の燃費向上が推進されている。例えば、日本では自動車の燃費を2004年に対し20%超の改善を目標として2015年(目標値16.8km/l)と設定したり<sup>1)</sup>。燃費向上のためには車体の軽量化が有効な手段の一つである。一方で、衝突安全性に関する規制の強化<sup>2)</sup>により、車体骨格の補強部品などの追加などが必要となり、重量増加につながってしまう。

軽量化と衝突安全性を両立するには、使用鋼板の強度上昇(高強度化)が最も有効な方法の一つである。このような背景から、高強度鋼板の開発が進められ、近年では引張強度で980MPa以上級の冷間プレス用の超高強度鋼板や熱間で成形して1470MPa級の部材を得るホットスタンプ材の開発や骨格部材への適用について報告されている<sup>3-10)</sup>。今後、衝突安全性に関わる規制の厳格化がより一層進む中、更なる車体軽量化による燃費の向上を進めるためにより強度の高い鋼板を車体骨格の強度部材へ適用拡大することが予想される。

本報告では、冷間プレス用の980MPa以上級鋼板およびホットスタンプ材の開発の現状について概説し、その特性を紹介するとともに今後の動向についても触れる。

## 2. 冷間プレス用超高強度鋼板

## 2.1 鋼板の成分およびマイクロ組織制御の考え方

鋼板の硬度を上昇させてゆくと、成形加工性や溶接性が劣化傾向を示す<sup>11,12)</sup>。この傾向を抑制するためには、単に強度を向上させるのではなくマイクロ組織を制御することで、重視する加工モードでの成形加工性を確保する方法が有効である<sup>11,12)</sup>。

超高強度鋼板の加工を考える場合、張り出し成形に有効な全伸びを向上させると、伸びフランジや曲げ成形に有効な穴抜け性などの局部延性が支配する特性が劣化し、全伸びと局部延性は相反する特性となる(図1)。このためそれぞれの特性を向上させるには異なったマイクロ組織制御を行うことが必要となる。

全伸びを重視する場合には、軟質で延性に優れたフェライト組織をベースに硬質な焼入れ組織であるマルテンサイトなどを分散させた複合組織化が有効な制御方法となる。このために、フェライト生成元素の添加や、連続焼鈍設備での焼鈍温度パターンの最適化が必要となる。

穴抜け性を重視する場合には、マイクロ組織が単一、均一でない鋼板において局所的な歪み集中が発生し、ボイド発生やマイクロクラックが進展し易くなるため、穴抜け性や曲げ性を劣化させる<sup>13)</sup>。このため、単一・均一組織とする

\* 名古屋製鐵所 品質管理部長 Ph.D. 愛知県東海市東海町5-3 〒476-8686

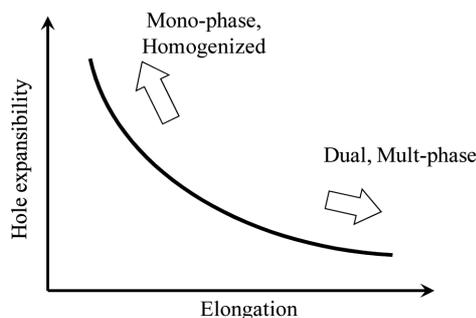


図1 全伸びと穴広げの関係

Schematic illustration of relationship between elongation and burring properties for ultra-high strength steel sheets

ために、低炭素として硬質の粗大炭化物生成を抑制したり、高温で加熱し不均一組織を改善するなどの対応が必要となる。

相反する全伸びおよび穴広げ性をバランスよく得るためには、複合組織化により全伸びを確保しつつ、軟質相と硬質相の硬度差を低減する事が重要となる。

以上のようにそれぞれに特長を持たせた鋼板のメニュー化を進めることで、部品の必要特性に応じた選択が可能となり、超高強度鋼板の適材適所による適用が進められている。

## 2.2 鋼板の諸特性

### 2.2.1 主成分と主なマイクロ組織

表1に超高強度鋼板の主成分と主なマイクロ組織構成を示す。これらは、冷間圧延鋼板は連続焼鈍ラインで、合金化亜鉛めっき鋼板は連続熔融亜鉛めっきラインで、それぞれ製造したものである。

冷間圧延系はC-Si-Mnが、めっき系では表面品位を考慮してSiを低めたC-Mn系がそれぞれ基本成分系である。また、穴広げ重視型は硬質な炭化物の形成抑制の目的から比較的低Cとしたうえで硬質なベイナイトの単相を指向している。一方、伸び重視型は軟質なフェライトと硬質なマ

表1 主な化学成分構成とマイクロ組織構成

Chemical compositions and microstructure of ultra-high strength steel sheets

Type		Main chemical compositions	Main microstructure
Cold Rolled (CR)	Hole-expandability: $\lambda$	C-Si-Mn	Bainite
	Balanced $\lambda$ and El		Ferrite, bainite, martensite
Galvannealed (GA)	Elongation: El	C-Mn	Ferrite, martensite

ルテンサイトの複合組織を主としている。マルテンサイトの硬度はそれに含まれる炭素量によって決まり、炭素含有量が高いほど硬化する。伸び重視型では軟質フェライトと硬質マルテンサイトの複合組織化を促進するため比較的高Cとしている。さらに、穴広げ性と伸びをバランスさせる場合には、フェライト、ベイナイトおよびマルテンサイトの組織分率を最適化することでマイクロレベルでの各組織間の硬度差を制御し、材質のバランスを制御している。

### 2.2.2 機械的特性

上述の各鋼板の機械的特性を表2に示す。

980MPa級鋼板については、伸び重視型は、冷間圧延鋼板およびめっき鋼板ともに16~17%程度の全伸びで、他のタイプに比べて高い全伸びを示している。一方、穴広げ重視タイプは穴広げ率90%を示し、優れたバーリング加工性を有していることがわかる。バランスタイプは上記鋼板の材質特性の中間値を示し、延性(EI)と穴広げ性( $\lambda$ )の両方が求められる場合に有効な鋼板である。

また、降伏強度(YP)については、伸び重視型では低く、穴広げ性の改善とともに上昇する。これは、各マイクロ組織間の硬度差と相関する。このように、異なるタイプの鋼板を選択する事で、同等の引張り強さ(TS)であっても、要求に応じた降伏応力や成形加工性および耐錆性を有した鋼材を得ることが可能である。

1 180MPa級鋼板についても、図2に示すように、980MPa級鋼板と同レベルの強度-延性バランスを示す。

### 2.2.3 スポット溶接性

図3に伸び重視型の冷間圧延鋼板およびめっき鋼板のスポット継ぎ手強度を示す。なお、スポット溶接は、加圧力500kgfでナゲット径が $5\sqrt{t}$  (t:板厚)になる条件である。継ぎ手の強度は、a)引張りせん断(Tensile Shear Strength: TSS)およびb)十字剥離(Cross Tension Strength: CTS)で、TSSは強度上昇に伴い上昇する一方、CTSは母材強度が上昇しても継ぎ手強度は上昇しない。また、破断形態

表2 超高強度鋼板の機械的性質

Mechanical properties of ultra-high strength steel sheets

Type		YP (MPa)	TS (MPa)	El (%)	$\lambda$ (%)	Yield ratio
Cold Rolled	Hole-expandability: $\lambda$	843	1011	10	92	0.83
	Balanced $\lambda$ and El	737	1012	13	55	0.73
Galvannealed	Elongation: El	624	1008	17	43	0.62
		632	1013	16	35	0.62
		777	1199	13	32	0.65

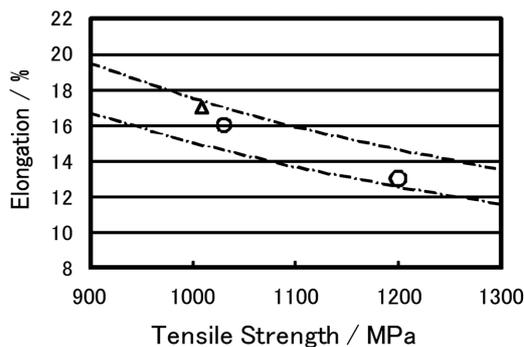


図2 超高強度鋼の強度－延性バランス  
Combinations between tensile strength and elongation

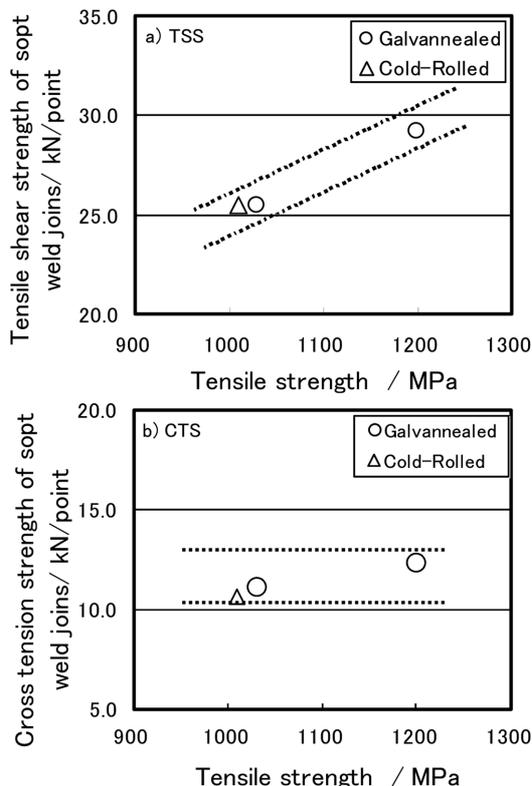


図3 超高強度鋼板のスポット溶接継ぎ手強度  
Relationship between tensile strength and spot weld joint strength of ultra-high strength steel sheets

は、本条件ではいずれの場合も母材破断である。

#### 2.2.4 衝突特性

衝突特性は落錘試験機を用い、ハット型断面を持つ試験体について曲げモードで行い、吸収エネルギーを測定・算出して評価した。試験条件は、錘：75～160kgf、高さ：4～9 mである。試験体は70mm×50mmのハット型断面の両端に当板を溶接したものをを用いた。図4に示すように、鋼板強度の上昇に比例して吸収エネルギーが増加する。このように、超高強度鋼板の適用で衝突時の吸収エネルギーが上昇することから強度部材の板厚減少などの軽量化効果

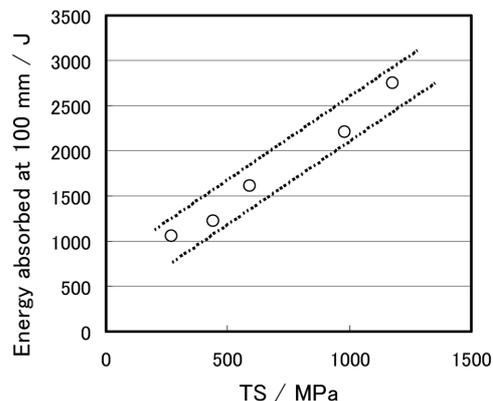


図4 鋼板強度と曲げモードでの衝撃吸収エネルギーの関係  
Changes in the absorbed energies of galvannealed steel sheets with tensile strength evaluated by bending mode drop tests

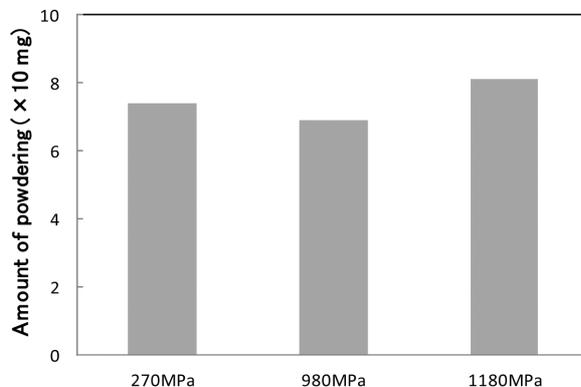


図5 軟鋼と超高強度鋼板のV曲げ後のパウダリング量  
Amount of powdering of steel sheets

が期待される。

#### 2.2.5 めっき密着性

図5に軟鋼と高強度鋼板のV曲げ時のパウダー剥離量を示す。めっき密着性は鋼板強度の依存性が小さく、超高強度鋼板においても軟鋼とほぼ同レベルのパウダー剥離量であることが分かる。

### 3. ホットスタンプ用鋼板

#### 3.1 ホットスタンプ用鋼板とその工程

1470MPa級の強度を持つ部材を得るためホットスタンプと呼ばれる成形法が実用化されている<sup>5)</sup>。この成形法では鋼板は900℃程度のオーステナイト域の温度に加熱され常温の金型で成形することにより焼入れて鋼板強度を高めるとともに、熱間での加工による形状凍結性が確保できるという利点がある。

ホットスタンプ用素材として1470MPa級を得る鋼板の成分および焼入れ前後の特性を表3に示す。出荷時の強度は490～590MPa級であり焼入れ後は1470MPa以上となる。

表3 ホットスタンプ用素材の化学成分と焼入れ前後での機械的特性

Chemical compositions and mechanical properties before and after hot stamping

C	Mn	Cr	B
0.22	1.2	0.15	0.0015
Mechanical properties			
	YP (MPa)	TS (MPa)	El (%)
As coated	394	615	26
As formed	1280	1530	8

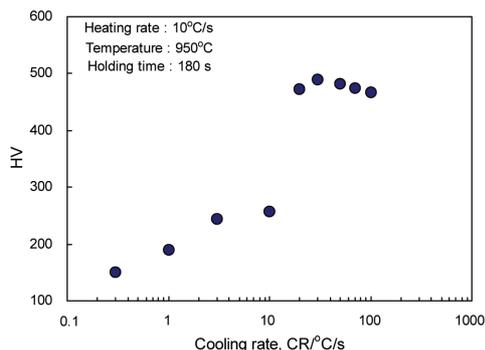


図6 ホットスタンプ材の冷却速度とビッカース硬度の関係 Relationship between cooling rate and hardness (HV) for steel sheets for hot stamping

図6に冷却速度と硬さの関係を示す。この鋼板は焼入れ性を高めるためMnやBが添加されており、加熱温度が950℃の場合約20℃/s以上の冷却速度で硬さをHV450～500の範囲とすることができる。この焼入れ速度は冷却中でのフェライト、パーライトおよびベイナイトへの変態を避ける条件で決まる。

### 3.2 スポット溶接性

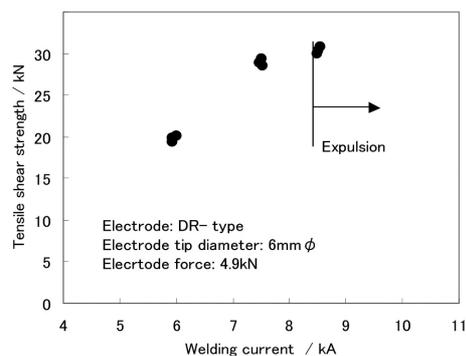
図7にa) 引張せん断強さとb) 十字引張強さに及ぼす溶接電流の影響をそれぞれ示す。溶接電流が増加してナゲットが成長するに伴い、継ぎ手強度は増加する傾向を示した。引張せん断強さと比較して十字引張強度は低い値を示した。このような傾向は既存高強度鋼も同様<sup>14)</sup>である。

### 3.3 形状凍結性

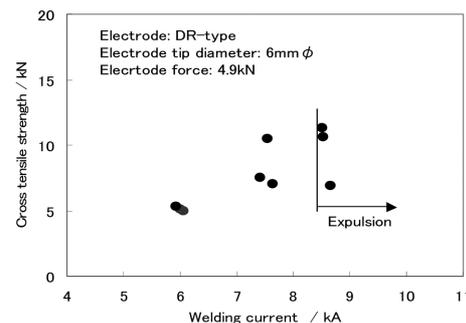
図8に成形開始温度800℃のホットプレス材の形状凍結性と冷間プレスとの比較を示す。形状凍結性はハット型成型品のフランジ端部と水平面との隙間量を測定して比較した。ホットプレスは冷間プレスと比較して顕著に形状凍結性が良好な工法であることがわかる。

## 4. 今後の動向とまとめ

以上、冷間プレス用の超高強度鋼板および熱間で成形す



a) TSS



b) CTS

図7 ホットスタンプ材のスポット溶接継ぎ手強度 Relationship between spot weld joint strength and welding current for steel sheets for hot stamping

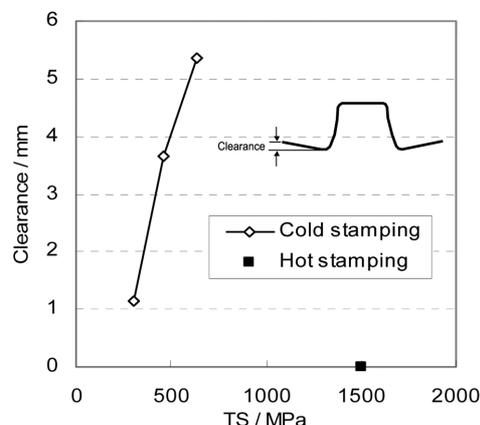


図8 冷間プレス材とホットスタンプ材の形状凍結性比較 Comparison of shape fixability between hot stamped material and cold-pressed material

るホットスタンプに関する現状を述べた。一方、前述したように環境負荷低減への社会的要求が急速に高まる中、更なる軽量化は必至である。これらに対応すべく、更なる高強度化への取り組みもなされている。

冷間プレス用では、より高い成形性を持つ980MPa級鋼板<sup>15)</sup>や、直近では780MPa級鋼板と同等の成形性を持つ1180MPa級鋼板の開発についても報告されている<sup>16)</sup>。また、ホットプレスについても1470MPa級を超える強度の

鋼板を用いた部材開発についても報告されている<sup>17)</sup>。

このように更なる高強度化を進めていく中で、ものづくりとしては、単に強度を上げるだけでなく、これまで懸念されてこなかった利用技術、例えば溶接性や水素脆化等の課題について、評価方法や対策技術の研究開発の重要性が増し、材料開発と併せて進める必要がある。

#### 参考文献

- 1) 例えば,自動車技術会website:www.jsae.or.jp/~dat1/mr/motor28/mr2804.pdf
- 2) 例えば,Euro N CAPホームページ:http://www.eurocap.com
- 3) Fujita, N., Nonaka, T., Tomokiyo, T., Taniguchi, H., Goto, K., Yamazaki, K.: SAE Paper. 2007-01-0341
- 4) 塩崎克己, 高木 潔, 吉永直樹, 佐久間康治, 樋渡俊二:自動車技術会学術講演大会前刷集. 2004-5535
- 5) Bano, X. Laurent, J. P.: Proc.of 39th Mechanical Working and Steel Processing Conf. Vol. XXXV, Indianapolis, 1998, p. 673
- 6) 廣村敏樹, 内野龍一, 加藤希人, 佐藤昌彦:自動車技術会学術講演会前刷集. 942, 1994-5, p. 73
- 7) 例えば, アイシン高丘:東京モーターショー, 月間素材. 43, (2002)
- 8) Cornette, D., Hourman, T., Hudin, O., Laurent, J. P., Reynaert, A.: Proc. of SAE. 2001, p. 19
- 9) Ronin, F.: Variant-Flexible Steel Forming in Automotive Production. 2nd European Practice Conf. Bad Nauheim, Frankfurt, 2002
- 10) 今井和仁, 吉川幸宏, 土岐 保:CAMP-ISIJ. 18, 557 (2005)
- 11) 阿部 ほか:鉄と鋼. 68, 1203 (1982)
- 12) 杉沢 ほか:鉄と鋼. 68, 1256 (1982)
- 13) 水井 ほか:鉄と鋼. 76, 414 (1990)
- 14) 及川初彦, 村山 元, 崎山達也, 高橋靖雄, 石川 忠:新日鉄技報. (385), 36 (2006)
- 15) 二村裕一, 三浦正明, 経澤道高:神戸製鋼技報告. 61, 41 (2011)
- 16) Obayashi, K., Jacque, S.: Strategies in Car body Engineering, Bad Nauheim, Frankfurt, Germany, 2012
- 17) 鈴木貴之, 中嶋勝司, 新家年雅, 西畑敏伸, 小嶋啓達:材料とプロセス. 21, 598 (2008)



藤田展弘 Nobuhiro FUJITA  
名古屋製鐵所 品質管理部長 Ph.D.  
愛知県東海市東海町 5-3 〒476-8686



野中俊樹 Toshiki NONAKA  
名古屋技術研究部 主任研究員



楠見和久 Kazuhisa KUSUMI  
鉄鋼研究所 研究企画グループ マネジャー



友清寿雅 Toshimasa TOMOKIYO  
八幡技術研究部 主幹研究員



松村賢一郎 Ken-ichiro MATSUMURA  
広畑技術研究部 主幹研究員