

(解説)

自動車用鉄鋼材料の現状と動向

The Latest Trends in Steel Products for Automobiles



小宮幸久
Yukihiisa Komiya

In compliance with increasing environmental consciousness and the demand for automobile safety, the structure of automobile bodies and the materials used are changing. In particular, vehicle weight reduction has become a key technology in the automobile industry today. As a result, steel products for automobiles have rapidly evolved. This paper introduces the latest trends in high strength steel products for auto bodies, drive systems, suspension parts, and forming process technologies for high strength steels.

まえがき = 近年、環境問題に関する意識向上と安全性の要求から、自動車の車体構造や材料が大きく変化しつつある。とりわけ車体の軽量化技術の重要性が増大しており、鉄鋼材料にもこの対応が求められている。これまで鉄鋼材料は、自動車用の素材として優れた材料特性、経済性、大量安定供給性、リサイクル性などの理由により広く使用されてきたが、車体軽量化の流れの中でアルミ合金や樹脂材料の使用比率が増大している。しかしながら、鋼材も高強度材料（ハイテン：HSS：High Strength Steel）に代表される材料特性の向上と経済性などにより、なお車体の主要材料であることに変わりない。また、自動車用材料において鉛やクロメートなど環境負荷物質の削減やリサイクルも大きな課題となっており、鋼材もこれに対応した製品が開発されてきている。本稿では、ハイテンを中心とした車体軽量化対応技術、環境対応材料など、最近の自動車用鋼材の動向を述べる。

1. 鉄鋼材料の高強度化

車体の軽量化に対し、ハイテンは大きな役割を果たしている。図1に示すようにハイテンの使用比率（冷延系 340MPa、熱延系 490MPa 以上と定義）は年々増大しているものの、車体の投影面積当たりのホワイトボディ質量は減少傾向にあったものが、数年まえから安全対策によりむしろ増加傾向にある。直近の車ではハイテン材の使用比率が一段と上昇するとともにより高強度化に向かっており、安全対策をした上で車重の減少が図られてきている。

また、自動車用材料としての鋼材の可能性については、1994年にULSAB (Ultra Light Steel Auto Body) が発足、当社も参加した国際鉄鋼協会のプロジェクト活動がなされた。続くULSAB-AVC (Ultra Light Steel Auto Body Advanced Vehicle Concept)、ドアなどのクロージャヤ足

回りの軽量化を扱ったULSAC (Ultra Light Steel Auto Closures)、ULSAS (Ultra Light Steel Auto Suspension) などのプロジェクトでは、成果として世界各国の安全基準を満たした上で20-30%の軽量化の可能性が示された¹⁾。

1.1 各種高張力鋼板

自動車用高張力鋼板は、その用途により各種の強化機構に実用化されている。従来自動車構造用ハイテンでは、各種合金成分を添加した固溶体強化型や析出強化型ハイテンが主流であったが、より高強度化が求められ、組織強化によるハイテンが使用されるようになっている。図2に代表的強化機構を、強度・伸びバランスで示す。車体の構造用材料としては、TS (Tensile strength) 440MPa クラスが主流であったものが、最近の車では590MPa クラスが多用されている。さらに、キャビンまわり、シートレールなどでは、980MPa クラスが実用化されつつある。また、従来から超ハイテンといわれるベイナト組織や焼戻しマルテンサイト組織による超高強度材が使用されていたバンパラインフォースやドアインパクトビームなどの補強部材では、980MPa クラスから

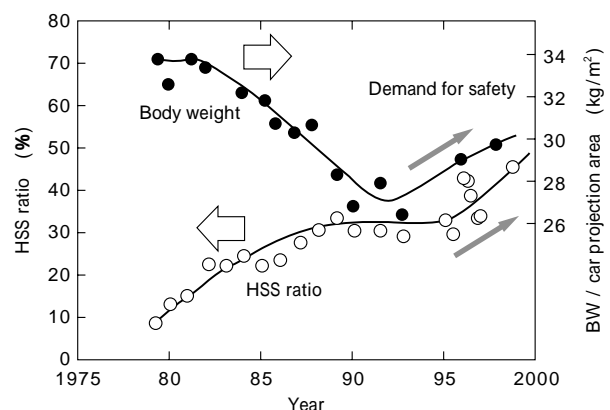


図1 車体重量とハイテンの使用比率推移¹⁾
Fig. 1 Trend of car weight and HSS ratio

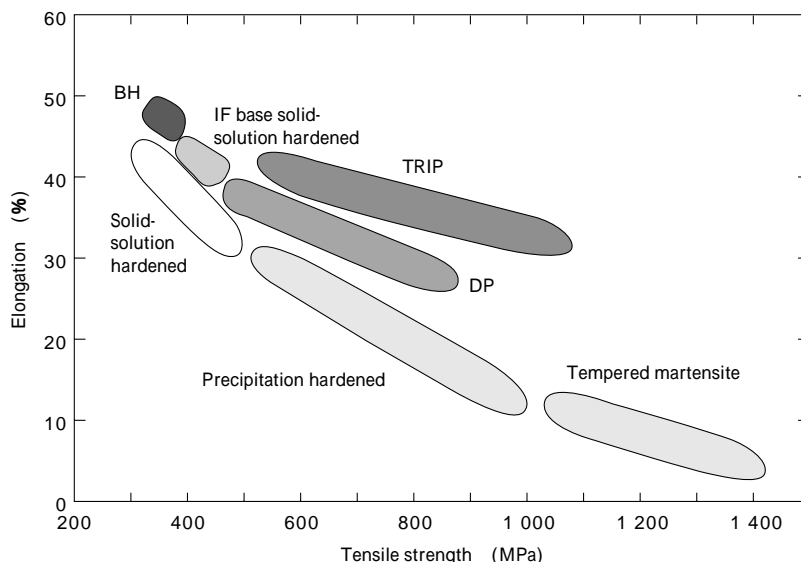


図2 各種ハイテンの強度と伸び²⁾
Fig. 2 Relation between tensile strength and elongation of HSS

1 180-1 480MPa クラスへの移行が始まっている。

組織強化型のハイテンの一つ DP 鋼 (Dual Phase) は、軟かいフェライト相と硬いマルテンサイト相からなるミクロ組織を有している。フェライト相の存在により低降伏比でかつ大きな伸びを持ち、これまでのハイテンができなかった加工性の厳しい用途に使われている³⁾。また、TRIP 鋼 (Transformation Induced Plasticity) は、変態誘起塑性を利用した極めて伸びの大きな鋼である。ベイナイトあるいはフェライト-ベイナイト母相中に、変形によりマルテンサイトに変態するオーステナイトを数%から30%前後残留させている。このオーステナイトが加工時にマルテンサイトに変態し、その部分の強度が高まり相対的に低強度である周囲に変形が伝播することで、高い加工性が得られている。TRIP 鋼は良好な加工性のみならず、衝突時の衝撃吸収性が大きい特徴がある⁴⁾。当社では、母相をマルテンサイトとし、オーステナイトを分散させた新しいタイプの TRIP 鋼を提案している⁵⁾。現在 DP 鋼や TRIP 鋼は、引張強度 590MPa から 980 MPa クラスにおいて実用化段階に入り、フロントサイドメンバやロアアーム、ピラーなどで使用されている。図3に最近の車体におけるハイテンの使用例を示す。

パネル用の鋼板には、デザイン上高い加工性が求められ、極低炭素鋼をベースとした IF 鋼 (Interstitial Free) に P や Mn を添加して強度を上げた 440MPa 級までのハイテン、もしくは焼付け硬化型 (BH : Bake Hardening)

鋼板が使用されている。BH 鋼板は、プレス成形時に導入された転位を、焼付け硬化時に鋼中の固溶炭素や窒素で固定し降伏点を上昇させている。さらに、焼付け時に降伏点のみならず引張強度を上昇させる鋼板が提案されている⁶⁾。

自動車の車体に用いられる鋼板は、北米や欧州での融雪塩による腐食問題をきっかけとして、1980 年代に防錆処理比率が上昇し、さまざまな種類の防錆鋼板が開発使用されてきた。しかし、現在は主としてコスト及び世界での調達性から、溶融亜鉛めっき (GI) と合金化溶融亜鉛めっき (GA) に集約されつつある。ハイテンの溶融系亜鉛めっき鋼板の問題として、母材に炭素、シリコン、アルミなどの合金成分を多く添加すると、亜鉛の濡れ性が低下しめっきができなくなることや、溶融亜鉛ポット温度、めっきの合金化処理温度の制約から冷延用の連続焼鈍ラインのような自由な熱サイクルが取れないなどの問題があるものの、現在 780MPa クラス程度までの GI、GA 鋼板が開発されている。

1.2 高張力鋼板の成形技術

ハイテンの使用に当たっての大きな課題は、成形性である。特にスプリングバック現象による寸法不良は、ハイテンが高強度化するほど大きな問題となっている。これは、ハイテンの降伏点が高く弾性回復量が大きいため生じるものである。この問題解決にさまざまな技術が提案されており、「2 段成形」の例を図4に示す。この技

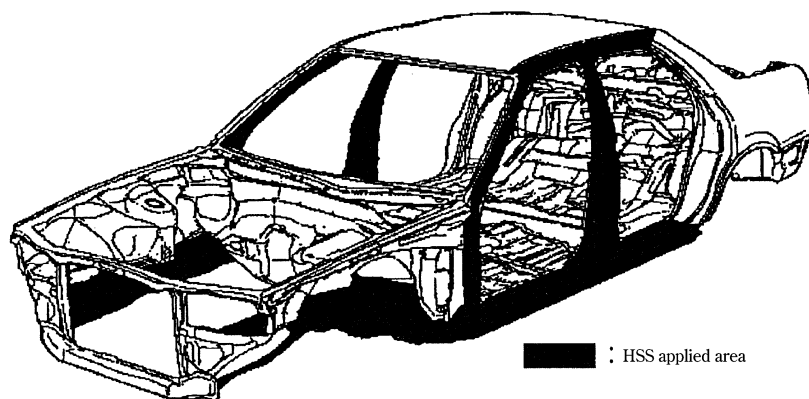


図3 590MPa 級以上の鋼板適用部位
Fig. 3 Application of TS 590MPa or higher grade steel to automotive

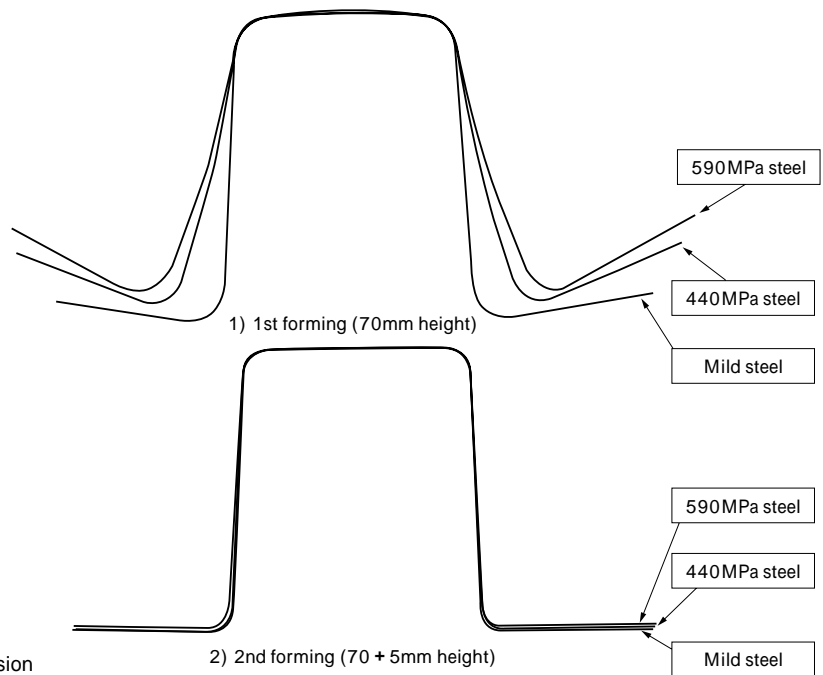


図4 寸法精度に及ぼす2段階成形の効果⁵⁾
Fig. 4 Effect of 2 step forming on dimensional precision

術は、ハット形状部品の壁部に1%程度の伸び歪みを付与しながら1段階よりわずかに深く2段階目の成形を行うことで、縦壁部の角度量と反り量を低減するものである。

高強度ハイテンの成形は、材料特性の制約や成形機の動力制約により1180MPa以上になると、より複雑な加工が困難になってくる。これを打開するため、最近では「ホットスタンピング」技術が提案されている。これは、炭素0.25%程度を含む鋼板を900程度に加熱し、完全にオーステナイト化した後プレスを行い、その後金型もしくは水冷や空冷により焼入れすることでマルテンサイト相を発生させるものである。この方法で容易に1500MPa以上の部材が得られる⁸⁾。問題は、プレス加工中高温で大気雰囲気さらされるため、表面が酸化し化成処理不良が生じることである。また、防錆鋼板の主流である亜鉛めっきが、その融点(419)が低く、鋼板加熱時に溶融・気化するため使用が困難であり、アルミめっき鋼板などによるホットプレスが試みられている。

1.3 自動車用棒鋼及び線材

自動車のエンジンや駆動系、足回りで使用される棒鋼、線材でも、近年高強度化が進行している。

ボルト、懸架ばね、駆動系材料などで高強度化が顕著である。これらの材料では、腐食などにより鋼中に侵入した微量の拡散性水素が粒界などに集まり、亀裂を生じさせる「遅れ破壊」が問題となる。遅れ破壊は、熱処理を行った高強度鋼が、数秒から数十年後に突然破壊にいたる現象である。特に1200MPa以上のTSを有する材料で顕著に現れる。遅れ破壊の原因である拡散性水素は、炭化物、窒化物、硫化物などの析出物、結晶粒界や転移にトラップされる。遅れ破壊を防止するために、TiやV系の析出物をトラップサイトとして利用することや、熱処理により粒界析出物制御を行い、粒界強度を低下させないような対策が取られている^{9)~11)}。

懸架ばね用の材料では、設計応力が従来の1000MPaクラスから1200~1300MPaクラスへと高強度化してい

る¹²⁾。懸架ばねの高強度化は、単に材料の軽量化のみならずエンジンフードを低くしたり、トランクスペースを広くできたりするなど副次的効果大きい。懸架ばねの高強度化においては、耐へたり性、疲労強度、腐食環境下での疲労寿命などを考慮して開発されている。

歯車用鋼では、トランスミッションの軽量化とエンジン出力の増大を図るためには、歯車の歯面損傷(チッピング)の解決が課題となっている。このため、自動車メーカにおいて、二硫化モリブデンの焼付け塗布などの潤滑処理がなされている。コストダウンと信頼性の向上を目的として、高強度材料の開発、潤滑処理の省略が要望されている。

2. 環境負荷軽減材料

2.1 鉛フリー材料

環境負荷物質として鉛が取上げられ、使用の禁止や制限がなされている。自動車用鋼材で鉛を含むものに、燃料タンクとして使用される鉛系めっき(ターンシート)、快削鋼などがある。

燃料タンク用材料は、金属系ではターンシートからアルミめっき鋼板や樹脂被覆をした亜鉛系めっき鋼板、非金属系ではオール樹脂などへの変換がすすみつつある。

快削鋼では、切削加工の効率化のため鉛添加がなされてきた。現在、鉛と同様に低融点金属による溶融脆化機構を活用するとの考え方からBi添加鋼、切削性のよい非金属介在物を活用する方法としてTi添加($Ti_4C_2S_2$)鋼、BN, MnS含有鋼などへの変換が試みられている^{13)~15)}。

2.2 クロメートフリー鋼板

無塗装で使用される小物部品や電装部品は、亜鉛めっき系鋼板上に、白錆防止の目的でめっき表面にクロメート処理がなされている。6価クロムもしくは、クロメートそのものを含まない樹脂被覆を1 μ m以下の厚みに塗布した、クロメートフリー鋼板が開発され使用が拡大している¹⁶⁾。

3. コストダウン材料

3.1 非調質材料

棒鋼や線材を素材とする部品は、加工後焼入れ焼鈍しなどの熱処理が多用されている¹⁷⁾。コストダウンを目的として、この熱処理を省略できる高強度非調質材料が注目されているが、通常、部品成形を行う熱間鍛造のままでは粗大結晶となり、靱性の確保が難しい。そこで、Vの添加やTiNを活用して微細なオーステナイトを得る方法、あるいはMnSを分散させて必要な靱性を得る方法で、非調質材料を得ている¹⁸⁾。

3.2 新塗装系鋼板

欧州の自動車メーカー(ダイムラー社など)において、亜鉛めっき鋼板上に亜鉛粉などの防錆顔料を含む樹脂を塗装した鋼板(PPG社商品名:ボナジックなど)が外板パネルを中心として使用されている¹⁹⁾。同鋼板は非常に高い防錆性能を持ち、車体の穴明き12年保証材として採用されている。また、従来の鋼板ではドア内側へム部などで防錆力確保のため、人手により多量に塗布されている樹脂シーラをこの鋼板を使用することで省略し、大幅な人件費や副資材のコストダウンが期待されている。

むすび=以上、最近の自動車用鉄鋼材料の動きを紹介した。高張力鋼板の成形性の技術に見られるように、鉄鋼会社は単なる素材の開発・供給メーカーから、自動車メーカーや部品メーカーと協力してより良い車作りのニーズにこたえていくことが重要であり、鉄鋼材料をベースとして車体の軽量化、衝突安全性、コストダウン、開発期間の短縮にと、総合的に貢献できる素材メーカーに変化することが期待されている。また、当社を含む国内鉄鋼メーカー

は、自動車産業の世界展開に合わせ、世界で同品質同機能の材料調達を可能とするよう海外鉄鋼メーカーと協力体制を作りつつある。今後も鉄鋼材料が自動車用素材の中心であろうが、アルミ合金や樹脂との組み合わせによる新たな車作りも考えられ、鉄鋼材料、アルミ材料いずれも手がける当社として、経済的で環境に優しい素材、利用技術開発をとおり自動車メーカーの期待にこたえていきたい。

参考文献

- 1) 栗山幸久ほか:自動車技術, Vol.55, No.4 (2001) p.51.
- 2) 伊藤叡ほか:ふえらむ Vol.4, No.6 (1999) p.367.
- 3) 水井正也ほか:鉄と鋼, Vol.76, No.3 (1990) p.414.
- 4) M. Takahashi et al.: IBEC'97, Vol.29, p.1.
- 5) 橋本俊一ほか:鉄と鋼, Vol.88, No.7 (2002) p.400.
- 6) 金子真次郎ほか:まてりあ, Vol.41, No.1 (2002) p.48.
- 7) 岩谷二郎ほか:R&D 神戸製鋼技報, Vol.51, No.1 (2001) p.5.
- 8) A. Reinhardt et al.: Body Structures/Chassis Engineering, (2000) p.95.
- 9) 長尾護ほか:R&D 神戸製鋼技報, Vol.51, No.1 (2001) p.21.
- 10) 福住達夫ほか:鉄と鋼, Vol.88, No.2 (2002) p.81.
- 11) 並村裕一ほか:R&D 神戸製鋼技報, Vol.50, No.1 (2000) p.41.
- 12) 河本剛ほか:TOYOTA Technical Review, Vol.52, No.1 (2002) p.12.
- 13) 染川雅実ほか:R&D 神戸製鋼技報, Vol.51, No.1 (2001) p.13.
- 14) 渡里宏二ほか:まてりあ, Vol.41, No.1 (2002) p.57.
- 15) 村上俊之ほか:NKK 技報, No.178 (2002) p.21.
- 16) 梶田富男ほか:R&D 神戸製鋼技報, Vol.51, No.1 (2001) p.53.
- 17) 前島敬一ほか:鍛造技報, Vol.53 (1993) p.4.
- 18) 家口浩ほか:R&D 神戸製鋼技報, Vol.50, No.1 (2000) p.53.
- 19) F. M. Androsch et al.: GALVATECH'98, p.703.