
自動車用鋼材の開発と将来

Recent Development and Future of Steel Materials for Automotive Use

安田 顯 (Akira Yasuda) 古君 修 (Osamu Furukimi) 清野 芳一 (Yoshikazu Seino)

要旨：

自動車の走行燃費を向上させるため、動力系の改善と車体軽量化が進められている。このような自動車技術の発展に貢献するために、高強度鋼板をはじめとして、種々の鋼材開発が進められている。車体軽量化のための材料開発課題を整理し、最近の鋼材開発の状況を総括するとともに、将来の自動車車体を構成する鋼材を考察した。自動車車体を構成する鋼板の90%以上が高強度鋼板となり、またステンレス鋼板、鋼管、電磁鋼板、鋼粉、線材・棒鋼などの品質機能が向上することにより、鋼製車体の大幅な軽量化が達成されるであろう。鉄鋼材料技術と自動車技術の協力を深めることにより、車体軽量化が急速に進展すると期待される。

Synopsis：

Improvement of driving system and weight reduction of automotive vehicles are propelled to increase fuel mileage. Further improvements on the side of material suppliers have been carried out to contribute to the development of various steel materials. This article reviews subjects imposed to steel materials by newly developed automotive technology and the recent situation of developments in steel materials, specifically high strength sheet, and then forecasts the steel materials which will be applied to the automotive parts. In the future, more than 90% of steel sheets in an automotive body will be made from high tensile strength steel. The improvement of qualities and functions in steel sheet, stainless steel, iron powder, tube, electrical steel and bar will bring a potential achievement in the drastic weight reduction of steel used in a car body. Collaboration between the automotive technology and the steel material technology is expected to promote the material developments and to succeed in increasing fuel mileage.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

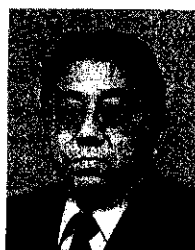
Recent Development and Future of Steel Materials for Automotive Use



安田 顕
Akira Yasuda
薄板セクター室 主査
(部長)



古君 修
Osamu Furukimi
技術研究所 薄板研究
部門長



清野 芳一
Yoshikazu Seino
薄板セクター室長

要旨

自動車の走行燃費を向上させるため、動力系の改善と車体軽量化が進められている。このような自動車技術の発展に貢献するために、高強度鋼板をはじめとして、種々の鋼材開発が進められている。車体軽量化のための材料開発課題を整理し、最近の鋼材開発の状況を総括するとともに、将来の自動車車体を構成する鋼材を考察した。自動車車体を構成する鋼板の 90% 以上が高強度鋼板となり、またステンレス鋼板、鋼管、電磁鋼板、鋼粉、線材・棒鋼などの品質機能が向上することにより、鋼製車体の大幅な軽量化が達成されるであろう。鉄鋼材料技術と自動車技術の協力を深めることにより、車体軽量化が急速に進展すると期待される。

Synopsis:

Improvement of driving system and weight reduction of automotive vehicles are propelled to increase fuel mileage. Further improvements on the side of material suppliers have been carried out to contribute to the development of various steel materials. This article reviews subjects imposed to steel materials by newly developed automotive technology and the recent situation of developments in steel materials, specifically high strength sheet, and then forecasts the steel materials which will be applied to the automotive parts. In the future, more than 90% of steel sheets in an automotive body will be made from high tensile strength steel. The improvement of qualities and functions in steel sheet, stainless steel, iron powder, tube, electrical steel and bar will bring a potential achievement in the drastic weight reduction of steel used in a car body. Collaboration between the automotive technology and the steel material technology is expected to promote the material developments and to succeed in increasing fuel mileage.

1 緒 言

全世界的な地球環境問題への関心の高まりと、自動車車体機能に対する安全性要求が厳しくなっている中、自動車の構成そのものが大きく変化しつつある。地球温暖化の原因となる CO₂ の排出を低減するために、21 世紀の初頭には、自動車の動力源であった内燃機関に代って、燃料電池を動力源とした電気自動車が実用化、汎用化されようとしている。さらに、動力源の変革、改善とともに車体軽量化が継続的に図られてきた。一方、走行性能が向上すると同時に、自動車を利用される環境が多様化し、自動車運転者が性別、年齢、職業など社会的なあらゆる階層に広がった結果、衝突事故など不慮の事態における搭乗者の安全を考慮して、車体構造の安全化が進められてきた。このような自動車の変化に対応して、自動車車体に用いられる材料の種類も多様化してきている。従来、自動車車体は鋼板を主とした鋼材が大部分を占めていたが、車体軽量化を追求する結果、アルミ合金や樹脂などを部分的に適用した車体や、限られた車種ではアルミ合金で車体全体を構成する量産車が製品化され

た。自動車用材料の中で、鋼材が占める地位が変化しつつある現在、自動車用鋼材は、新しい自動車技術が材料に要求する特性に対応して、一層その機能を高め、自動車車体用の主要な材料として、自動車の軽量化、安全性向上に貢献することが必要である。

2 車体軽量化と安全性向上

車体重量軽減は動力系の改善とともに CO₂ 排出抑制のための重要な課題と考えられている。Fig. 1 に現在までに市販された乗用車の 10・15 モード走行燃費に及ぼす車体重量の影響を示す¹⁾。直噴エンジンやリーンバーンエンジンなど動力系の改善により走行燃費が向上している。車体重量の軽減が燃費の改善に重要であることが明確である。実用化されたハイブリッド動力系を搭載した車種であっても、800 kg/台程度の重量でなければ、近年、欧州で提唱されている、100 km/3ℓ の低走行燃費車や米合衆国で計画されている PNGV²⁾ が目標とする 80 mile/gallon の走行燃費には到達できない。一方、法規制など³⁾ で定められている衝突時の安全性を確保するために、車体強度を高めようとすると、車体構造に補強部品を加えたり、使用する材料の厚みを増す必要がある。こうした対策が採られた結果、1990 年ごろの車体と比較して、近年の車体は車体重量が

* 平成12年1月14日原稿受付

Table 1 Achievement of ULSAB Project

	Average of bench marked vehicle	Target value	Achievement	Corison with bench mark (%)
Mass (kg)	271	≤ 200	203	-25
Static torsion rigidity (Nm · deg ⁻¹)	11 531	$\geq 13 000$	20 800	+80
Static bending rigidity (Nm · mm ⁻¹)	11 902	$\geq 12 000$	18 100	+52
First body structure mode (Hz)	38	≥ 40	60	+58
Ratio of HSS in material	91%			
Parts of tailored blank	16 parts (side panel outer, front side member, rear side member, panel skirt etc.)			
Parts of tube hydroforming	2 parts (roof side rails)			
Total length of laser welding in assembly	16 m			

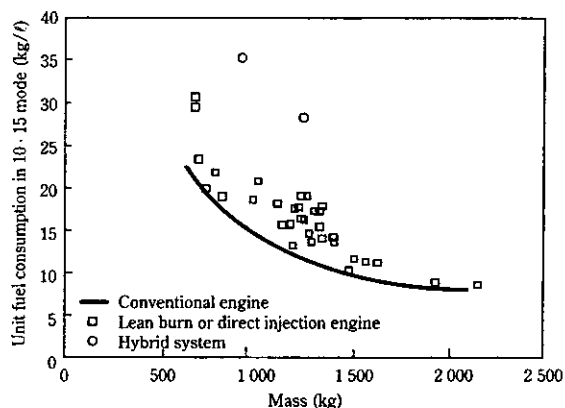


Fig. 1 Influence of vehicle mass and power system on unit fuel consumption

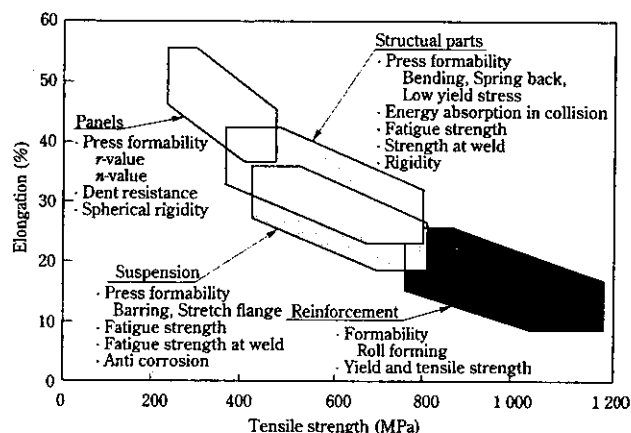


Fig. 2 Applicable strength and elongation and additional requirement of parts

10% 程度増加している。

この間車体軽量化と車体の安全性向上を両立させるための検討がさまざまな観点からなされてきた。鉄鋼材料を用いた検討の例として ULSAB プロジェクトが挙げられる⁹⁾。このプロジェクトには、鋼製の軽量化ホワイトボディの開発を目指して、世界の鉄鋼メーカー 35 社が参加した。高強度鋼板を大量採用し、テーラードblank、鋼管を素材としたチューブハイドロフォーミング、組立工程におけるレーザー溶接などの車体製造技術、および車体構造（応力伝達経路）の最適化を組み合わせ、車体の安全性能を高めると同時に、約 25% の車体軽量化が可能であることを実証した。ULSAB の成果概要をまとめて Table 1 に示す。

3 車体用材料に要求される特性と高強度鋼板の開発課題

自動車の軽量化と安全性向上のために、鋼板をはじめとする種々の鋼材の機能向上と特性改善が果たす役割は大きい。自動車車体の大部分を構成する鋼板を取り上げて、今後の開発課題を整理する。

高強度鋼板を自動車車体に適用することは、鋼製車体の軽量化を図る上で重要である。しかし、高強度鋼板は、高強度であるためにプレス成形が困難であったり、高強度を得るために合金元素が多量に添加される結果、溶接性、疲労特性、耐食性などの性能が変化する場合がある。したがって、それぞれの強度水準で、強度とともに各特性が特に優れている材料が個別に開発されてきた。強度 590 MPa 級高強度熱間圧延鋼板を例にとると、日本鉄鋼連盟規格⁹⁾には一般用、高降伏比型、低降伏比型、高バーリング鋼など機能的に特徴をもった複数種の鋼板が用意されている。自動車車体の各部品に

必要とされる性能は多岐にわたり、部品によりそれぞれの性能の重要度が異なる。車体部品をパネル部品、構造部材、足廻り部品、強度補強部品に分類して、部品に加工する工程や部品機能から重要と考えられる材料特性を Fig. 2 に示す⁹⁾。一方、使用する鋼板の板厚は、剛性や腐食による板厚減少など強度と関係しない必要特性の制約を受ける。たとえば、外板パネル部品では耐デント性や張り剛性の制約から、強度水準として 440 MPa を超える高強度鋼板を適用しても、軽量化を目的とした板厚の低減が困難であると予想される。車体構造部材においても、剛性を確保し得る板厚を採用すると、必要とされる強度は 780 MPa 以下に限定されるであろう。強度 980 MPa 以上の鋼板は、補強部材など、車体剛性への影響が小さい部品に使用される。

3.1 プレス成形性

高強度鋼板の開発において、高強度化にともなう延性の低下をできるだけ抑制し、プレス成形性を確保することが、最も重要な課題である。その他に、部品によってさまざまなプレス成形における問題があり、その解決手段は多様である。大型のパネル、特に外板パネルの成形においては、絞り成形、張り出し成形が支配的であり、部品の面形状を正確に成形することが必要である。延性とともな r 値や n 値を改善し、しわや面歪の発生を防ぐことが有効である。構造部品の成形では、高強度鋼板の適用を広げるために、部品形状を単純化し、曲げ成形を主体とした成形とする傾向が強まっている。形状が単純化された部品でも、成形後のスプリングバック、湾曲部でのしわ、伸びフランジ変形部での材料破断がプレス成形における問題として残される。したがって、高バーリング性、伸びフランジ

性、降伏比の適正化などが延性の改善とともに主要な課題となる。

鋼板のプレス成形を支配する要因として、鋼板の機械的性質の他にプレス金型との摩擦が上げられる。プレス金型との摺動抵抗を軽減することにより、成形荷重が低減し材料破断を防ぐことができる。また、高強度鋼板のプレス成形においては型嚙り現象を防止し、金型の損耗を軽減することも重要である。塗装工程の前処理で除去される水溶性有機樹脂皮膜や無機系の皮膜を鋼板表面に成膜させ、プレス成形時の型嚙りを防止し、摺動抵抗を低減する方法が開発されている⁷⁾。りん酸塩皮膜に類する無機系の潤滑性皮膜を形成し、そのまま塗装下地として利用する方法もある。今後、鋼板の表面特性の改善とともに、潤滑性皮膜の改善、開発がさらに進められるであろう。亜鉛めっき鋼板や合金化溶融亜鉛めっき鋼板の場合、プレス金型との摺動抵抗や嚙りの問題が発生しやすいため、潤滑性皮膜の適用が特に有効である。

3.2 溶接性

高強度鋼板は、C、Mn、Si、Pなどの合金元素を添加し、さらに金属組織を制御することにより、目的とする強度と延性を得ている。一方、自動車車体の組立に溶接は欠かせない接合技術である。溶接部は鋼板を部分的に溶解して接合するため、制御された金属組織を維持することが困難である。大型のパネル部品はスポット溶接、将来的にはレーザー溶接などを併用して、接合される。これらの溶接方法では、溶接による熱影響が小さく、また適用される材料の強度水準が比較的低いため、溶接による金属組織変化の影響が小さく、機能上の問題は少ない。むしろ、亜鉛系の表面処理を施した鋼板でスポット溶接の電極損耗を抑制し、溶接工程の生産性を阻害したり、レーザー溶接においてZn蒸気に起因するブローホールを防ぐことが主な課題となっている。

一方、足廻り部品、あるいは一部の構造部位ではスポット溶接だけでなく、アーク溶接も接合に用いられる。また、使用される高強度鋼板の強度水準も高く、かつ、部品機能として溶接部強度を確保することが重要である。590 MPa級の高降伏比型合金化溶融亜鉛めっき高強度鋼板を例にとると、従来、めっき性を阻害するSi、Mnの添加を避けC量が高い鋼板を母材として製造されていた。その結果、溶接部強度が十分ではなかった。Ti、Nbの添加量を最適化した低C鋼を母材とし、析出物による強化を最大限利用して、鋼板強度を確保した鋼板が開発された結果、Fig. 3に示すように、スポット溶接性が改善された。溶接条件と溶接方法によっても溶接部強度の改善は可能であるが、安定した溶接部強度が得られる高強度鋼板の開発が一層重要になっている。

3.3 めっき性と耐食性

車体軽量化、安全性能向上とともに車体の防食性能の向上は自動車車体において重要である。現在ではZn系のめっき鋼板が広く用いられ、車体に十分な防錆性能を付与している。特に、比較的低コストで製造可能な溶融亜鉛めっき鋼板 (GI) または合金化溶融亜鉛めっき鋼板 (GA) が自動車車体に広く適用されている。GIまたはGAを製造する場合、鋼成分によりめっき性が阻害される場合がある。溶融亜鉛めっき鋼板は、焼鈍と冷却過程での溶融亜鉛への浸漬処理が連結した、連続式溶融亜鉛めっき設備 (CGL) で製造される。Si、Mnなどの合金元素はFeよりも酸化されやすく、焼鈍中に鋼板表面に酸化物として濃化し、溶融亜鉛との濡れ性を阻害する。したがって、高強度溶融亜鉛めっき鋼板に添加される合金元素の種類は限定され、添加量をめっき性を阻害しない範囲にとどめなくてはならない⁸⁾。また、GAの場合、めっき後、引き続き加熱して合金

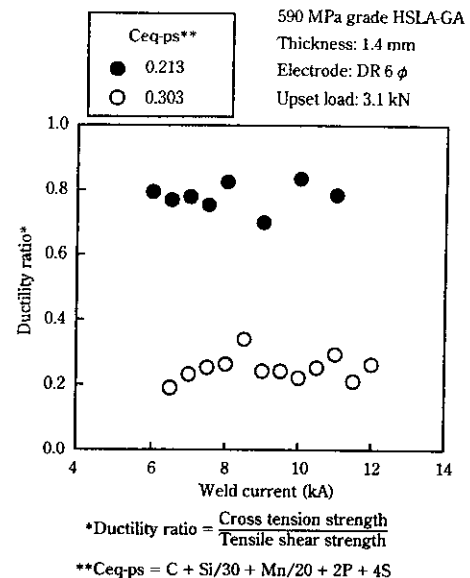


Fig. 3 Influence of C content on strength of spot welding

化処理をする。合金化処理により鋼板の冷却条件が制約されるため、冷間圧延やGIとは異なる金属組織制御技術を開発する必要がある。

足廻り部品では、腐食による板厚減少が直接的に部品機能の劣化につながり、走行性能および安全性に重大な影響を及ぼす。一部の足廻り部品では、腐食による板厚減少を十分に見込んで板厚を設定する必要があるため、鋼板の耐食性が高張力鋼板を用いた板厚低減の障害になっている。亜鉛系めっきによる防錆で腐食を抑制することもできるが、鋼板自体の腐食速度を抑制することが一層、有効である。腐食速度を低く抑えるために、Cu、Pを複合添加した鋼板が足廻り部品の一部に適用されている。材質とともに、防食の観点からの鋼成分の検討が不可欠である。

3.4 部品機能

高強度鋼板で成形された部品の機能が、降伏応力で支配される場合と、破断応力で支配される場合がある。同じ強度の鋼板であっても適切な降伏強度の鋼板を選択することが、高強度鋼板の性能を活かし、部品を合理的に軽量化する上で望ましい。たとえば、部品の変形をとまなう高速での衝突で、衝撃エネルギーを吸収する効果は、材料の破断応力に依存すると考えられ、これが高強度鋼板を使用する主な動機となっている⁹⁾。また、キャビンを構成する部位の場合には、乗員の生存空間を確保するために、衝突時の変形を最小限にとどめることが重要で、降伏応力が高い鋼板が使用される。一方、低速での衝突で、衝撃力を緩和する効果が求められる部品には降伏応力が低い鋼板を適用することが好ましい。このような個々の部品特性の要求に応えるために、同じ強度水準の鋼板でも降伏応力が異なる鋼板の開発が必要となる。

一般に強度の上昇とともに、鋼板の疲労強度も向上する。しかし、切欠き形状部やボルト穴周辺部が多い、足廻り部品、ロードホイール、トラックのフレームなどでは、鋼板強度に相応した十分な疲労強度が得られない場合がある。部品形状による荷重分散やブランク端面の処理などにより解決できる場合もあるが、材料特性からも改善を図ることが必要である。一例として、切欠き部の疲労特性が優れた780 MPa級高強度鋼板が開発され、ロードホイールやトラックのフレーム部材に適用されている¹⁰⁾。

剛性は強度とともに部品に適用する鋼板の板厚を決定する要因と

Table 2 Representative steel grade designated in the JISF* standard

Category	Steel	Tensile strength (MPa)	Designation	Applied steel by Kawasaki Steel
Hot rolled steel	Mild steel	270	JSH270C, D, E	Low C steel
	General use W	310~540	JSH (TS value) W	Low/Medium C solution hardened steel
	High hole expanding I	370~590	JSH (TS value) A	Low C solution hardened steel or HSLA**
	High hole expanding II	440~590	JSH (TS value) B	Low C solution hardened steel or HSLA**
	High yield ratio	440~780	JSH (TS value) R	Low C precipitation hardened steel
	Low yield ratio	540~780	JSH (TS value) Y	Dual phase steel
Cold rolled steel	Mild steel	(260), 270	JSC270C, D, E, F, JSC260G	Ultra low C IF steel, mainly
	Bake hardening	270, 340	JSC270H, JSC340H	Ultra low C steel
	General use	340~440	JSC (TS value) W	Low/Medium C solution hardened steel
	High yield ratio	440, 590	JSC (TS value) R	Low C precipitation hardened steel
	Deep drawing	340~440	JSC (TS value) P	Ultra low C steel
	Low yield ratio	590~1180	JSC (TS value) Y	Dual phase steel in general
Galvannealed hot rolled steel	Mild steel	270	JAH270C, D, E	Low C steel
	General use	310~440	JAH (TS value) W	Low/Medium C solution hardened steel
	High yield ratio	440	JAH440R	Low C precipitation hardened steel
Galvannealed cold rolled steel	Mild steel	(260), 270	JAC270C, D, E, F, JAC260G	Ultra low C IF steel, mainly
	Bake hardening	270, 340	JAC270H, JAC340H	Ultra low C steel
	General use	340~440	JAC (TS value) W	Low C solution hardened steel in general
	High yield ratio	440, 590	JAC440R, JAC590R	Low C precipitation hardened steel
	Deep drawing	340~440	JAC (TS value) P	Ultra low C IF steel, mainly

*The Japan Iron and Steel Federation

**Low C precipitation hardened steel

して重要である。板厚低減により剛性が低下すると、パネル部品では車体外面形状の歪みや車内騒音の原因となり、構造部材や足廻り部品では走行安定性、乗り心地の低下、振動、騒音の原因となる。剛性はヤング率に依存し、材料の高強度化では向上しない。高強度鋼板の適用範囲を広げるためには、部品断面形状の最適化や異種材料との複合化などにより、部品の剛性を高めるための技術開発が必要がある。

4 自動車用鋼板開発の現状

日本鉄鋼連盟の自動車用鋼板規格^{5, 11, 12)}には、Table 2 に示すように、成形性能の水準が異なるプレス成形用軟鋼の他、熱間圧延で780 MPa 級、冷間圧延で1180 MPa 級までの高強度鋼板が制定されている。また、これらの鋼板の一部を母材とした溶融亜鉛めっき鋼板も規格化されている。さらに、この自動車用鋼板規格にはまだ規格化されていない、特徴ある鋼板が開発され、その特長を活かして自動車車体に適用されている。これらの自動車用鋼板の種類をまとめて Fig. 4 に示す。それぞれの強度水準で、用途に必要な特性を得るために、複数の鋼種を用いた鋼板が製造されている。これら鋼板の特徴を用途別に述べる。

4.1 パネル部品用鋼板

車体パネル部品には、冷間圧延、GA、電気めっき鋼板の340 MPa 級高強度鋼板、340 MPa 級焼き付け硬化型 (BH 性) 鋼板が広く使用されている。これら鋼板は極低炭素鋼を素材として、連続焼鈍法で製造されており、高 r 値、高延性を有している。特に、焼き付け硬化型鋼板 (BH 鋼板) は、成形後の塗装焼き付け処理において降伏強度が上昇し、成形前の鋼板強度で期待される以上の耐デント性を示すことにより、外板パネルに適用される。これら鋼板と同様に極低炭素鋼を用いて、370~440 MPa 級の高強度鋼板が製造されており、パネル部品や構造部位に使用されている。部品形状や材料の複合化により張り剛性の問題が解決されれば、これらの高強度

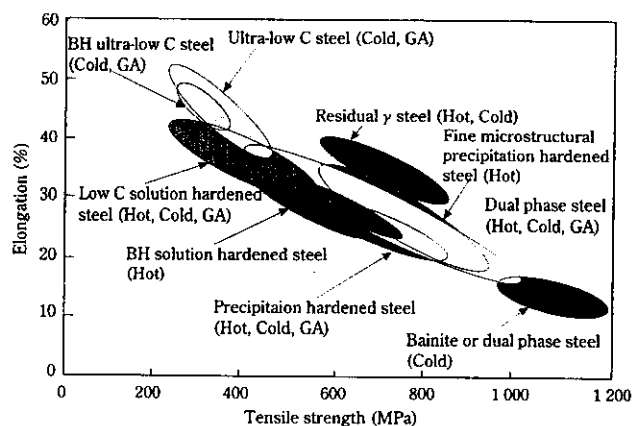


Fig. 4 Kind of steel for automotive use categorized after tensile strength and elongation

鋼板や BH 鋼板を用いて、パネル部品の板厚をさらに低減することができる。また、規格化されていないが、440 MPa 級デュアルフェーズ (DP) 高強度鋼板も、車体パネルに適用される可能性を持っている¹³⁾。DP 鋼板は、 r 値が冷間圧延としては低く、0.9~1.2 程度であるが、延性と n 値が高く、張り出し成形では優れた成形性を示すと同時に、高い BH 性を有している。

一方、約 3.0 の r 値を示す、きわめて優れた深絞り性を有する冷延軟鋼板が開発されている¹⁴⁾。優れた深絞り性を利用して、パネル部品に限らず、複雑な形状をした構造部材などの部品を一体成形し、フランジの低減による軽量化とコストダウン効果が期待されている。この鋼板は極低炭素鋼を用い、熱間圧延において高潤滑低温圧延することを特徴とする工程で製造されており、極低炭素鋼系の高張力鋼板にも適用可能な技術である。同様の工程できわめて高い r 値を有する 340~440 MPa 級高強度鋼板が開発されれば、車体軽量化への大きな貢献が期待できる。

4.2 構造部材、足廻り部品用鋼板

車体構造部材には 440~590 MPa 級高強度鋼板の適用が進んでいる。日本鉄鋼連盟規格には汎用、高降伏比（析出硬化鋼）、低降伏比（DP 鋼）の熱間圧延3種類、冷間圧延で高降伏比、低降伏比の2種類、GA で高降伏比の 590 MPa 級高強度鋼板が規格化されている。その他、規格にはないが、冷間圧延、熱間圧延では 35% 以上の伸びを有する残留オーステナイト鋼板が開発されており、プレス成形が困難な部品に適用されつつある¹⁹⁾。GA はめっき性が障害となり、析出硬化鋼を除いて、これらの冷間圧延を母材とした各種鋼板の開発が遅れていた。しかし、DP 鋼板の GA は合金元素の選択によりめっき性が改善され、すでに実用車体に採用されている。

構造部材や足廻り部品に高強度鋼板を適用する場合、加工方法の特徴から、曲げ変形における形状凍結性と優れた伸びフランジ性、バーリング性が要求される。最近、熱間圧延の製造工程で熱間圧延条件を制御することにより、結晶粒径とともにパーライトやベイナイトなどの第二相の分散を微細均一化すると、バーリング性が改善されることが明らかにされた¹⁶⁾。この技術を析出強化鋼に適用し、穴広げ率¹⁷⁾が 100% を超える 590 MPa 級、あるいは 80% を超える 780 MPa 級の高強度熱間圧延が開発されている。

パネル部品では、高強度鋼板のプレス成形における問題を回避する方法として、BH 鋼板が使用されているが、高張力が要求される構造部材の場合、焼付け硬化の利用があまり検討されていなかった。降伏応力のような焼付け硬化による強度の上昇が、抗張力では期待できないと考えられていたためである。しかし、最近の研究では、熱間圧延に過剰の侵入型固溶元素を残存させれば、プレス加工後、塗装焼き付け時に、抗張力も上昇する場合があることが明らかにされ、構造部品用 BH 鋼板の開発が進められている¹⁸⁾。この種の鋼板を用いれば、たとえば、440 MPa 級高強度鋼板と同様のプレス成形が可能でありながら、部品としては 500~540 MPa 級高強度鋼板を用いた場合と同等の機能を得ることが期待できる。今後、成形が困難な部品に高強度鋼板を適用する場合、各強度水準において、抗張力の焼付け硬化を利用することが検討されるであろう。

4.3 補強部材用超高強度鋼板

980 MPa を超える超高強度冷間圧延がバンパーラインフォース、ドアインパクトビームなどの補強部材に使用されてきた。これらの部品は、ロールフォーミングと軽度の曲げ成形で部品とされている。超高強度鋼板の延性改善には限界があり、成形方法、適用される部品に限られている。適用範囲を拡大するためには材料の延性改善だけでなく加工方法の開発が必要であろう。また、超高強度熱間圧延が開発されれば適用対象の拡大だけでなく、材料費や加工工程におけるコスト削減に寄与する可能性がある。

5 自動車用鋼材の将来

5.1 製品開発の方向

自動車の軽量化と安全性向上の観点から、自動車用鋼板の開発の現状について述べてきたが、今後の自動車を構成する材料は、薄鋼板に限らず、チューブフォーミングやサスペンション材料として用いられる鋼管、エンジン周り部品、駆動系に用いられる鉄粉、線材・棒鋼、排気系に用いられるステンレス鋼板、そして、駆動用モータに用いられる電磁鋼板にも、さまざまな機能を目的とした開発が要請されている。車体構造、駆動系を構成する鋼材の重要な課題

は、部品の軽量化を実現する高強度化と、それにとまなう加工性の低下が小さい材料の開発および加工方法の開発であり、材料費、加工費を総合したコストダウンへの寄与である。耐食性、あるいは高温強度、高温耐食性が必要とされる排気系部品に多く使用されるステンレス鋼板は、動力系の改善とともに使用環境が厳しくなる中、部品の薄肉化図るために、高温機械特性、耐食性の改善が要求される¹⁹⁾。同時に、チューブフォーミングの適用など加工方法の変化にとまなない、延性、 r 値の改善が必要となっている²⁰⁾。電磁鋼板の場合、低鉄損高磁束密度化によるモータの小型化は動力系の軽量化のための重要課題である。同時に打ち抜き加工性の向上など、コスト低減のための特性向上が求められている²¹⁾。

今後、このような自動車技術からの各種鋼材に対する要請に応える開発に留まらず、車輛軽量化に有効な開発課題を、軽量化の観点から系統的に整理し、開発製品を材料技術の側から提案していくことが必要である。言い換えれば双方向的な技術開発が、新しい自動車技術の発展を促進すると期待される。

5.2 材料の品質精度向上

高強度鋼材を自動車車体に適用する場合、鋼材の材質、寸法などの品質のばらつきが大きな障害となる。新製品開発、品質特性改良と同時に安定した品質特性の製品を供給することが、従来にも増して重要になる。部品の設計において、寸法精度が向上し、保証される寸法の範囲が小さくなれば、機能的な極限まで板厚などの寸法の低減を検討することができる。強度上の偏差が小さくなり、加工性が明確に特定されれば、その特性に合わせた合理的な形状、成形工程を設計できる。また、部品製造工程において、成形形状の不安定性が一定範囲に抑制されれば、容易に成形工程において対策を講ずることが可能となる。すなわち、鋼板の材質、寸法などの品質のばらつきを抑制することは、高強度鋼材の適用範囲を拡大するとともに、部品製造コストを削減するためにも有効である。逆に言えば、平均的に優れた特性を有する材料であっても、特性のばらつきが大きい鋼板、特に高強度鋼板は適用範囲が限定される。

寸法精度のばらつきは、生産設備の工程能力への依存度が大きく、先進的な生産設備において達成される水準が標準化される方向に進むであろう^{22, 23)}。一方、材質特性の安定化は製造技術の向上だけで達成されるのではなく、特性が製造条件のばらつきに影響されない冶金学的な検討も重要である。同等の平均的特性を有する材料が数種類開発された場合、材料特性の偏差が大きな材料は淘汰され、安定した材質が得られる材料が主要な材料となる。

5.3 鋼板利用技術の開発

高強度鋼材を利用して部品の軽量化を実現する上で、鋼材利用技術の開発は不可欠である。鋼板のプレス成形におけるテーラードブランクや薄鋼板、鋼管のハイドロフォームはすでに実用化された技術である。BH 鋼板を利用するために、高歪を付与する成形方法や、鋼板を加工中に加熱して成形性を補ったり、加工後加熱して高強度化を図るなどの技術が検討されている。また、鑄造、鍛造で製造されていた部品を鉄粉の焼結部品²⁴⁾や鋼板を用いた圧造部品に替えて、部品機能の向上やコスト低減を図る検討も行われている。材料置換や、従来とは異なる成形工程あるいは付加的な工程を加えて、高強度鋼材を利用する加工技術の開発は、軽量化効果とコストの観点からの合理性が重視される。

溶接や塗装工程の変化も鋼材製品が要求される特性に大きく影響する。スポット溶接やアーク溶接に替わってレーザー溶接が広く使用されるようになれば、熱影響部により部品機能が低下する懸念が

軽減され、高強度鋼板の適用範囲は拡大すると期待され、塗装工程の簡素化が進めば鋼材自体に厳しい耐食性が要求され、鋼材と塗装系の機能分担を再配分する検討が必要となる。自動車製造工程は今後大きく変化する可能性があり、その変化に対応するためには、新製品開発だけでなく、既存の製品のさまざまな工程における加工性能を明確にしていくことが重要である。

一方、コンピュータを用いた有限要素法による解析の精度が高まり、材料の基本特性からプレス成形における変形過程や部品の性能を、精度良く予測できるようになった。机上の検討により、部品に適用する材料の選択や、材料が必要とされるとされる特性が予測できることは、車体構造、使用材料の適正化と材料開発の指針を得るためには有益である。データベースを整備し、この手法を発展させ、有効に活用することが材料開発においても有益である。

6 結 言

自動車車体軽量化を主眼において、薄鋼板を中心とした鋼材の

開発状況を概括した。ULSAB で示されたように、近い将来、車体に使用される鋼板の 90% 以上が高強度鋼板となるであろう。パネル部品などには主に 340~440 MPa 級高強度鋼板が、構造部材には 590~780 MPa 級の高強度鋼板やそれを素材とする鋼管が主に使用される。また、サスペンション部品は、780 MPa 級の高強度鋼板の使用が一般的になり、アルミ合金を使用した場合と同等の軽量化が達成されると期待される。駆動系および排気系においても線棒鋼やステンレス鋼板などの鋼材が高強度化し、その耐食性が向上すれば、鋼材の薄肉化が可能となり、軽量化に貢献するであろう。また動力系においても、高性能の電磁鋼板の性能向上によりモータの小型軽量化が進むと期待される。

自動車を構成する各部品の軽量化を実現し、環境問題の解決に貢献する低燃費軽量化車両が実現するためには、鋼材の機能向上とその鋼材を利用するための技術の発展が不可欠な条件である。この目的を達成するために、鋼材から自動車にいたる製品開発において、材料を開発、供給する立場と、自動車車体を開発、製造する立場からの技術的な協力関係を深めることが重要である。

参 考 文 献

- 1) 湊 清之: *Jamagazine*, 33(1999)6, 8
- 2) <http://www.cnle.org/nle/eng-9.html>
- 3) 有田耕司, 高野紀雄, 島田実, 田中 誠: 自動車技術, 53(1999)8, 15
- 4) 橋本耕司, 栗山幸久, 滝田道夫: 「地球環境を考えた自動車と材料の取り組み」, 自動車技術会 材料フォーラム, (1998), 1
- 5) 日本鉄鋼連盟規格: 「自動車用熱間圧延鋼板及び鋼帯」, JFS A 1001
- 6) 林 央: 自動車技術, 45(1995)5, 11
- 7) 橋貝和彦, 鈴木幸子, 海野 茂: 川崎製鉄技報, 32(2000)1, 74
- 8) 飛山陽一, 大沢一典, 平田基博: 川崎製鉄技報, 31(1999)3, 181
- 9) 清水哲雄, 比良隆明, 飯塚栄治: 川崎製鉄技報, 32(2000)1, 14
- 10) 清水哲雄, 青柳信男: 川崎製鉄技報, 31(1999)3, 185
- 11) 日本鉄鋼連盟規格: 「自動車用冷間圧延鋼板及び鋼帯」, JFS A 2001
- 12) 日本鉄鋼連盟規格: 「自動車用合金化溶融亜鉛めっき鋼板及び鋼帯」, JFS, A 3011
- 13) 大橋延夫, 高橋 功, 橋口耕一: 塑性と加工, 17(1976)190, 883
- 14) 西村恵次, 福井義光, 川辺栄尚: 川崎製鉄技報, 31(1999)3, 161
- 15) 杉本公一: 熱処理, 32(1992)1, 58
- 16) 安原英子, 登坂章男, 古君 修, 森田正彦: *CAMP-ISIJ*, 12(1999), 377
- 17) 日本鉄鋼連盟規格: 「穴抜き試験方法」, JFS T 1001-1996
- 18) 金子真次郎, 登坂章男, 富永陽一: 川崎製鉄技報, 32(2000)1, 67
- 19) 宮崎 淳, 平澤淳一郎, 佐藤 進: 川崎製鉄技報, 32(2000)1, 32
- 20) 豊岡高明, 橋本裕二, 郡司牧男: 川崎製鉄技報, 32(2000)1, 49
- 21) 本田厚人, 石田昌義, 島田一男: 川崎製鉄技報, 32(2000)1, 43
- 22) 小川隆夫, 武田 了, 川縁正信, 丹下武志: 川崎製鉄技報, 32(2000)1, 54
- 23) 戸部俊一, 石川 孝, 潮海弘資: 川崎製鉄技報, 32(2000)1, 72
- 24) 宇波 繁, 上ノ園聡: 川崎製鉄技報, 32(2000)1, 38