

自動車「材料編」*



上西 朗 弘**

Automotive(Materials)*

by UENISHI Akihiro**

キーワード 自動車用鋼板, 高強度鋼板, 加工性, 溶接性, 強化手法

1. はじめに

自動車産業は高い競争力を有していることや関連する産業の裾野が広いことなどから、日本における重要性は広く認識されているところである。自動車に関連する材料も機能材から構造材まで多岐にわたるが、ここでは自動車のボディーやシャーシ系部品に使用される薄鋼板について述べてみたい。

1990年代の後半以降自動車に使用される薄鋼板の種類は大きく変化してきた。それを促したのは衝突安全規制の強化と二酸化炭素排出量低減のための燃費改善への対策である。元来薄鋼板の開発は、鉄が本来持っていた“硬さ”を捨て、より軟らかく加工しやすい材料を提供するというものであった。しかし、衝突安全や燃費改善のためには自動車を軽量化する必要がある、薄鋼板にも高強度化が求められるようになった^{1,2)}。そこでの課題は自動車製造プロセスで必要とされる加工性や溶接性を確保しつつ、いかに高強度化を達成するかという点にある。

ここではまず薄鋼板の製造プロセスに触れながら材料の特徴について述べ、高強度化手法についてその概要を示す。さらに、薄鋼板の溶接について特に高強度化との関連に留意して紹介する。

2. 適用材料と製造プロセス

2.1 自動車用薄鋼板に必要な特性と製造プロセス

表1に薄鋼板に求められる種々の特性を示す。薄鋼板は

そのままでは最終製品とならないため、自動車への適用を考えると優れた加工性を持つことが重要である。しかしその一方で軽量化の観点からは強度が求められる。加工性と強度は相反する特性であり、使用目的に合わせて部品形状や工法まで含めて最適化することが必要である。また溶接性についても溶接の容易さと高強度化は両立しない。これに関しては後述するが、高強度化のためには元素(炭素、マンガン、珪素、など)の添加が必要であり、一般に元素の添加は溶接性を阻害してしまう。このように表1に示した種々の特性はそのままでは共存が難しく、用途に応じた調整がなされている。その意味で薄鋼板はすり合わせ(インテグラル)型の開発が必要な製品であると言える。

表2は薄鋼板の製造工程とその目的を示したものであ

表1 薄鋼板に求められる特性

| | |
|--------------------------------------|--|
| 加工性 強度 耐久性 溶接性 意匠性 品質 | 薄鋼板で最も重視される 剛性、圧潰・曲げ抵抗、高温 疲労特性、耐食性、磨耗 スポット溶接、アーク溶接、レーザ溶接 光沢、反射、色、塗装性 形状精度(板厚、板幅)、表面疵、汚れ |
|--------------------------------------|--|

表2 薄鋼板の製造プロセスとその目的

| 製造工程 | | 主要な目的 | 製品 |
|------|----------|-----------------------------|-------|
| 1 | 製鋼 軋炉 | 成分調整 ・不純物元素除去 ・必要元素添加 | — |
| | 連続鋳造 | ・異物(介在物)除去 | |
| 2 | 熱間圧延 | ・薄肉化 ・組織微細化 | 熱延鋼板 |
| 3 | 冷間圧延 | ・薄肉化 ・加工ひずみ導入 | — |
| 4 | 焼鈍 | ・材質制御 ・軟化 | 冷延鋼板 |
| 4' | めっき | ・防錆性 | めっき鋼板 |

*原稿受付 平成25年7月27日

** 新日鐵住金(株) 技術開発本部鉄鋼研究所 Steel Research Laboratories, Technical Research&Development Bureau, Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation

る。高炉で還元され取り出された銑鉄は製鋼工程に送られ、転炉によって炭素が取り除かれ鋼に転換されるとともに必要な元素が添加される。加工性を極限まで求める軟鋼板（IF鋼；Interstitial Free 鋼）の製造時には、転炉での一次精錬の後、さらに真空槽で脱炭、脱ガスを行い（真空脱ガス法（二次精錬））、ほぼ純鉄に近い成分（炭素含有量 10 ppm 以下程度）へと調整される。精錬の終わった溶鋼を次の圧延工程で加工しやすいような形状の鋼片とするのが連続製造である。この工程では溶鋼が凝固するまでに鋼中の酸化物などの固体介在物を除去することも重要である。溶鋼中の介在物は製品の加工性や疲労特性などを低下させる原因となる。

次の熱間圧延工程においては鋼片を一定の温度まで加熱した後、圧延を行い、所望の板厚まで薄肉化される。またこの工程では圧延時に与える変形量や熱履歴の調整によって微細化などの組織制御が行われる。この熱間圧延工程を最終工程として出荷される鋼板が熱延鋼板である。さらなる薄肉化や高い表面品位が必要とされる場合には酸洗後に冷間圧延工程へと送られる。この工程では加熱せずに圧延が行われるため、材料内部には大きな加工ひずみが蓄積され材料強度が高い状態となる。次の焼鈍工程では鋼板を昇温するが、その際に蓄積した加工ひずみを駆動力として組織変化を起こすことで材料の強度や延性を調整する。焼鈍方法には大きく分けると箱焼鈍と連続焼鈍があるが、前者は熱処理に数日かかるのに対して後者は10分程度であり、国内の自動車用鋼板の製造に関しては連続焼鈍が主流となっている。このような工程で製造されるのが冷延鋼板である。さらに防錆のために表面処理がなされる場合があり、工程によって電気めっき鋼板、溶融めっき鋼板の種類がある。自動車用としては溶融めっき鋼板が主流となっている。

自動車用の薄鋼板の強度クラスは 270 MPa 級から 1 GPa 超級までの多岐に渡る。図 1 に自動車の模式図を示すが、薄鋼板の適用部位はボディー系とシャシー系に分け

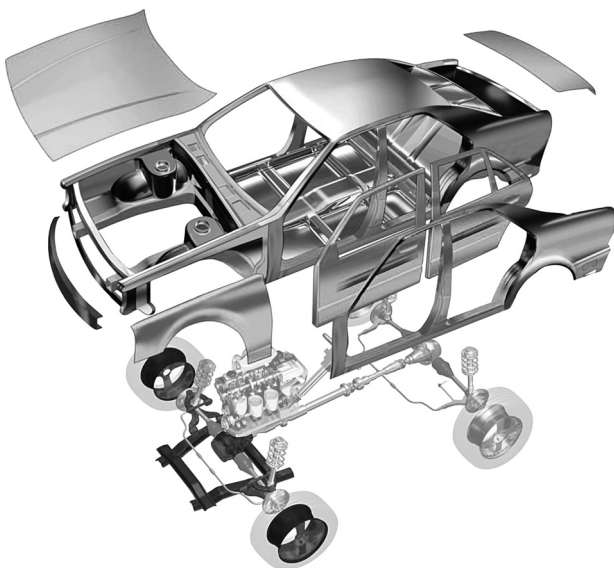


図 1 自動車における薄鋼板の適用部位（ボディー系、シャシー系部品）

られる。ボディー系はさらに車体外側を構成するパネル系部品と内側の骨格系部品があり、これらは比較的薄手であり冷延鋼板（防錆の必要な部位についてはめっき鋼板）が適用されることが多い。パネル系部品には高い意匠性が求められるため極めて成形性の良い軟鋼板や比較的強度の高強度鋼板が使用される。骨格系部品には自動車の中で最も強度の高い鋼板が使用されており、1 GPa 超の高強度鋼板やホットスタンプ工法を活用した 1.5 GPa 級の材料が使用されている。シャシー系部品については比較的厚手（2 mm 超）ということもあり、熱延鋼板が使用されることが多い。従来は腐食による減肉代を確保するため薄肉化が困難と言われてきていたがこの部位に関しても高強度化による軽量化が盛んに検討されている。

次節以降では、各材料の特徴とその性質について詳しく述べていく。

2.2 パネル系部品用材料（外板）

1980年代後半に車体形状の複雑化や部品の一体成形化への対応が望まれるようになり、従来以上の加工性（深絞り成形性）が要求されるようになった。これに応じて開発されたのが IF（Interstitial Free）鋼である⁹⁾。この鋼は深絞り成形性の指標であるランクフォード値（ r 値）が高いことが特徴である。この r 値は引張試験の際の板幅方向のひずみと板厚方向のひずみの比であり（図 2 参照）、 r 値が高い場合には板幅方向の変形が優先して起こり、深絞り性に優れるとともに材料の破断が起き難くなる。 r 値は板厚方向に $\{111\}$ 方向の結晶粒が多い場合に高くなり、またこの方向を持つ結晶粒は鋼の化学成分が純鉄に近い場合に大幅に増加する。IF 鋼では先述の真空脱ガス法による二次精錬によって材料中の炭素や窒素を徹底的に取り除くことで純鉄に近づけ、さらにチタンやニオブを添加して残存した炭素や窒素を固定化することで高 r 値を達成している。このような高成形性材料はボディーサイドアウトパネルなどの一体成形化に寄与しており、現在も主流の外板用材料となっている。

また、ドアやフードなどの外板パネルにおいては成形性の他に、人間が押ししたり小石が飛来したりして変形してしまうことに対する抵抗（耐デント特性）も要求される。耐デント特性を向上させるためには降伏強度を上げることが有効であるが、降伏強度が上昇するとプレス成形時に面ひずみと呼ばれる欠陥が発生しパネルの面精度が確保できなくなってしまう。このような相反する要求特性を満足するために、プレス成形時には低降伏強度で、使用時には

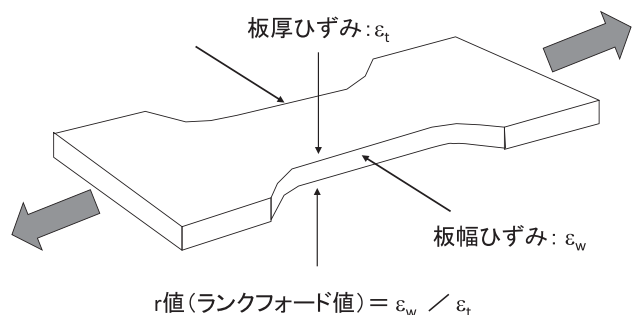


図 2 薄鋼板の特性評価方法（ r 値；ランクフォード値）

高い降伏強度を示す鋼板として焼付け硬化 (BH: Bake Hardening) 鋼板が開発された。焼付け硬化とは自動車の製造工程の中の塗装焼付け処理 (170℃ で20分程度) によって降伏強度が上がる現象である。これは鋼板中に固溶状態で残留する炭素や窒素が、焼付け処理時にプレス成形で導入された転位を固着し、変形を起し難くさせるという性質を利用している。IF 鋼の場合は製鋼工程において炭素や窒素を取り除き、さらにチタンやニオブにより残存した炭素や窒素を完全に固定化するようにしていたが、BH 鋼板の場合はチタンやニオブの添加量を制御して特性に悪影響が出ない程度の固溶元素 (炭素など) をあえて残し、塗装焼付け時に部品としての強度を高くするものである。材料強度として 270, 340 MPa 級の BH 鋼板が実用化されており、その際の焼付け硬化 (BH) 量は 30~50 MPa 程度である。比較的低強度の高強度鋼板であるが、これらの材料の適用により耐 Dent 性を確保した上でパネル部品の薄手化が可能となっている。

2.3 骨格系部品用材料 (内板)

骨格系部品は、部位に応じて衝突時のエネルギーを部材の塑性変形により吸収する役割と、出来る限り塑性変形を生じさせずに乗員の生存空間を確保する役割を担っている。いずれの場合においても材料の高強度化が大きく寄与できる領域である。衝突における変形は通常行われる鋼板の出荷試験の 100 万倍にも及ぶ速度で生じる。一般に鉄鋼材料は変形速度の上昇により強度が上昇する。しかしながらその上昇量は材料強度やその強化機構により異なるため、高強度化による軽量化を考える場合には高速での変形強度を考慮に入れる必要がある⁹⁾。

図 3 に薄鋼板の強化手法の分類を示す。引張強さにて 590 MPa 級未満の自動車用鋼板は固溶強化や析出強化など、固溶元素や析出物を用いて母相にひずみ場を形成することで強化する手法を用いることができ、フェライト単相鋼として製造することが可能である。しかしながら、それ以上の強度の鋼においてはマルテンサイトなどの硬質相による強化が用いられることが多い。このような軟質相と硬質相との組み合わせによる強化手法は組織強化と呼ばれる。

先述のように溶接性の観点からは材料に添加する元素量を減ずることが望ましい。熱間圧延工程や冷間圧延後の焼鈍工程時の熱履歴によって作り込まれる硬質相は、多量

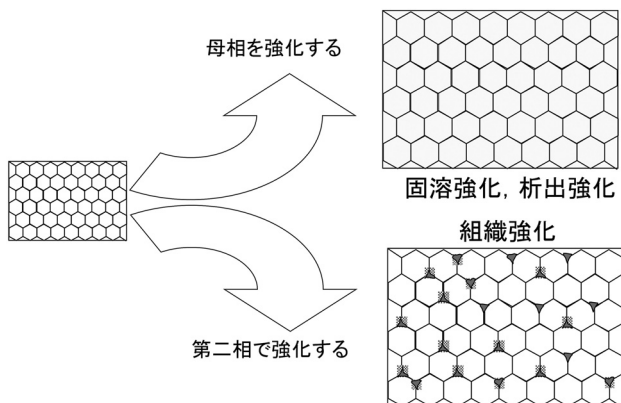


図 3 薄鋼板における材料強化の考え方

の添加元素を必要とせず鋼板の高強度化を可能とする。例えば最も広範囲に使用されている DP (Dual Phase) 鋼はフェライトとオーステナイトの二相となる温度域から急冷し、フェライトと硬質相であるマルテンサイトからなる二相組織としたものがその起源である⁹⁾。現在ではそれ以外 (例えばベイナイト) を含む複雑な組織の場合も DP 鋼と呼ばれることが多いが、比較的低降伏強度 (あるいは降伏比) と優れた延性を示すことが特徴である。低い降伏強度と延性を軟質相で、強度を硬質相で確保するという考え方は、590 MPa 級超の高強度鋼板の材料設計の基本となっている。

パネル系部品の場合には深絞り加工性が必要であると述べたが、骨格系部品の場合には深絞りよりも曲げを主体とした成形加工がなされるため、曲げ加工性や切断された材料端部の引き伸ばし (伸びフランジ加工) や打ち抜き穴の穴広げ (パーリング加工) など局所的な変形に耐える特性が重視されるようになる。

図 4 は 980 MPa 級鋼板の全伸びと穴広げ値の特徴を示したものである^{6,7)}。縦軸の穴広げ値 (λ 値) とは打ち抜いた穴を工具を用いて広げた際にどの程度まで破断なく穴広げが出来たかの試験値である。材料を構成する組織の組み合わせを変えることにより、伸びを重視した高延性型、 λ 値を重視した高穴広げ型、その中間のバランス型、の鋼板が実用化されている。高延性型はフェライトとマルテンサイトの混合組織により構成されている。軟質相により高い伸びを確保しているが、軟質相/硬質相境界近傍での局所変形や硬質相そのものが破壊するなどの現象により λ 値は低い。このような鋼は張出しや絞り成形性に優れるため複雑な形状の部品に適している。高穴広げ型は均一組織に制御することで λ 値を高めており、曲げやパーリング加工などを必要とする部品に対して使用される。これらの中に位置するのがバランス型で、軟質相の強度を高め硬質相との差を小さくすることで延性と穴広げ性とを両立させている。

軟質相を用いる以外の高強度鋼板の延性改善手法の一つに TRIP (Transformation Induced Plasticity) 効果の活用がある。これは室温でも存在できるよう安定化させたオーステナイトを含む鋼に加工を加えると、このオーステナイトが硬いマルテンサイトに変態し高い伸びが得られるというものである。TRIP 効果はオーステナイト系ステンレスなど高合金の鋼ではよく知られており、工業的にも活用

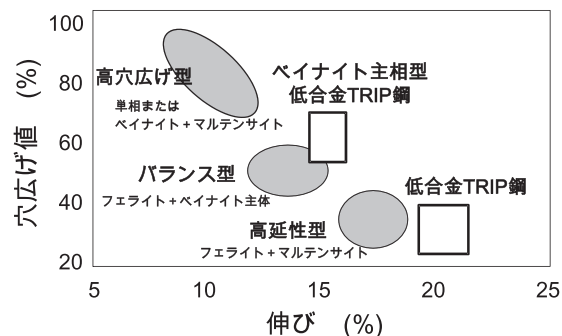


図 4 延性と穴広げ性バランスが異なる各種 980 MPa 級ハイテン

されていた。自動車用鋼板の場合にはコストや溶接性の観点から、低合金系の TRIP 鋼が開発され実用に供されている。この鋼においては全体の炭素添加量を抑えた上で 400℃ 近傍でのベイナイト変態により選択的にオーステナイト相への炭素の濃化を進めることで、室温でも安定なオーステナイト相を得たものである。図 4 に 980 MPa 級の低合金 TRIP 型冷延ハイテンの特性値を示す^{7,8)}。フェライト、ベイナイト、オーステナイトからなる材料で穴広げ値は低いものの、20% と言う大きな伸びを示す材料となっている。

穴広げ性や曲げ性を極力担保しながら延性を向上させるために、ベイナイトを主な構成組織とした低合金 TRIP 鋼も提案されている。その特性値もあわせて図 4 に示す。ベイナイト自体の延性が乏しいためにフェライトを含む TRIP 鋼ほどの延性は確保できていない。しかしながら、延性と穴広げ性の両方が高いレベルで要求される部品への適用が今後期待できる。TRIP 鋼の場合、延性を向上させるためには残留オーステナイトの量を確保しつつ、高い安定性を持たせるためにオーステナイト中に炭素を十分に濃化させることが必要である。そのためには鋼板の炭素量を増加させる必要があるが、炭素量の増加はスポット溶接性の劣化につながるため炭素量の増加には限界がある。今後延性や穴広げ性を支配する因子を解明しつつ、さらに特性改善を行っていく必要があると思われる。

さらなる高強度化として、複雑形状部品への 1180 MPa 級高強度鋼板の適用検討も始まっている⁹⁾。最適な成分設計と製造プロセスにより、材料の組織を極限まで微細化させる技術を確立し、硬質相と軟質相の最適な組織分率を持った複合組織を開発したとの報告がなされている。この 1180 MPa 級高強度鋼板は冷間プレス成形により車体の骨格系部材に適用されることになっている⁹⁾。

2.4 シャシー系部品用材料

シャシー系部材は剛性と共に疲労や腐食に関する耐久寿命が要求され、比較的厚手の鋼板が利用されることから、熱間圧延ままの鋼板が広く使われている。

熱延高強度鋼板で最も延性に優れるのが低合金 TRIP 鋼である。熱延鋼板の TRIP 鋼の場合には仕上げ熱間圧延後冷却して約 400℃ 付近で巻き取ることによって、ベイナイト変態を進行させオーステナイトを安定化している。熱延 TRIP 鋼は高延性であると共に衝撃エネルギー吸収能に優れており、また良好な疲労耐久性を示すことから、種々の部品への適用が期待される。

アーム類等の床下部品では打ち抜き穴へのバーリング加工や材料端部に引張り変形が加わる伸びフランジ加工が行われることが多い。このような加工性は材料の持つ極限変形能 (= 局所的な変形能) と関連することが知られており、金属組織の均一性が高いほど向上する。フェライト + ベイナイトもしくはベイナイト単相に近いマイクロ組織にすることで高い伸びフランジ性を示す熱延高強度鋼板 (高バーリング性鋼板) が開発されている。通常の炭素鋼では硬質なセメントナイトが不可避免的に存在するが、珪素などセメントナイトに固溶しにくい元素を添加することでセメントナイトの成長を抑制し、かつこれを微細分散させることによってバーリング性を高めることが可能であり、

780 MPa 級までの鋼板が実用化されている。

2.5 熱処理型の高強度部品製造技術

ホットスタンプは 900℃ 程度まで加熱した鋼板をプレス成形し、金型内で冷却することにより焼き入れを行う技術である。従来、熱処理ひずみを嫌う機械部品に適用されていた技術であるが、近年、自動車部品への適用が急速に進んでおり、ドアビーム、バンパーリインフォース、ピラーリインフォース等が実用化されている。成形後には主に鋼板の化学成分で決まる強度 (炭素量 0.22 mass% で最終的に 1.5 GPa 程度) の部品を得ることが出来る。高強度鋼板の冷間プレス成形の場合、素材の破断を誘発する成形性の不足以外にもプレス荷重の増加やさらには強度上昇に伴う形状凍結性の劣化 (スプリングバック) などの課題がある。しかしながら、ホットスタンプにおいては高温で成形されることからプレス荷重は小さい。また、金型内でマルテンサイト変態が起こるためにスプリングバックの原因である残留応力が小さくなり良好な形状凍結性が得られる¹⁰⁾。

3. 材料の特性と溶接性

自動車の車体は約三百点以上の部品によって構成されている。これらの部品は、主に抵抗スポット溶接 (数千点) で組み立てられているが、それ以外にもレーザー溶接やアーク溶接、接着、機械接合、摩擦攪拌接合、等の様々な手法が適用されている。様々なニーズに応えるために次々と新しい鋼板が開発されてきているが、それと同時にその接合・溶接技術も検討されてきた。

これまでに述べてきたような高強度鋼板の溶接でまず必要とされるのは継手の信頼性確保である。一般に鋼板強度を確保するために添加元素を増加させると溶接部や熱影響部の硬さが増加し、溶接部で応力が集中する場合にはその近傍で破壊が起こり継手強度が低下してしまう。抵抗スポット溶接における継手強度の指標として、引張せん断強さ (TSS: Tensile Shear Strength) と十字引張強さ (CTS: Cross Tension Strength) がある。TSS はせん断方向の、CTS は剥離方向の継手強度であると考えられている。TSS と CTS に関しては以下のような経験則による整理がなされている¹¹⁾。

$$TSS = a \cdot D \cdot t \cdot TS_M \quad (1)$$

$$CTS = \beta \cdot D \cdot t \cdot TS_M \quad (2)$$

$$TSS = \gamma \cdot \pi \cdot (D/2)^2 \cdot TS_N \quad (3)$$

$$CSS = \delta \cdot \pi \cdot (D/2)^2 \cdot TS_N \quad (4)$$

ここに a , β , γ , δ は定数であり、 D は溶接ナゲット径、 t は板厚、 TS_M は母材の引張強さ、 TS_N は溶接ナゲットの引張強さである。また式 (1), (2) は溶接部がプラグ破断 (溶接部が一体となって一方の鋼板に残る形態) の、(3), (4) はシエラ破断 (溶接ナゲットが鋼板間でせん断される形態) 場合である。これらの表式は実現象を単純化してモデル化したものであり必ずしも実際の強度を再現できないが、継手強度を考える上での基本である。

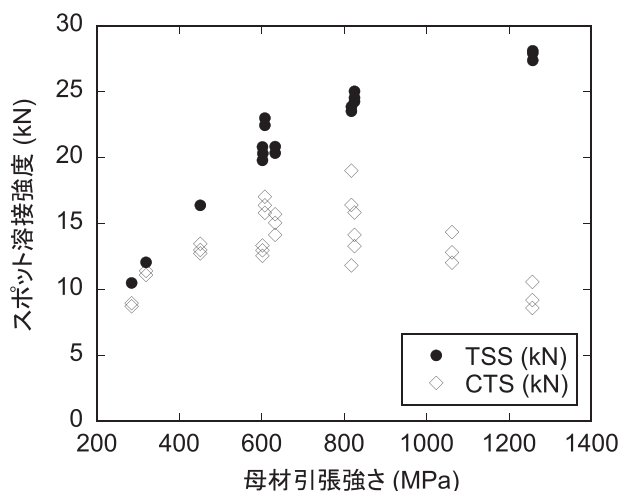


図5 TSS と CTS に及ぼす母材引張強さの影響 (板厚 1.6 mm, ナゲット径 6.7 mm)

さらに抵抗スポット溶接における添加元素の影響に関しては様々な検討が行われている。種々の添加元素の影響を一つの指標で表現しようとするのが炭素当量 (Ceq) の考え方であり、その一つとして以下のような式が知られている¹²⁾。

$$\text{Ceq} = \text{C} + \text{Si}/30 + \text{Mn}/20 + 2\text{P} + 4\text{S} \quad (5)$$

ここに C, Si, Mn, P, S はそれぞれ炭素, 珪素, マンガン, リン, 硫黄の鋼中濃度 (mass%) である。この式は特に上述の CTS について検討されたものであり, 炭素, 珪素, マンガンは溶接部の硬さ上昇に影響し, リンや硫黄は脆化を誘発すると考えられている。この炭素当量が 0.24 以下の場合には十字引張試験において破断形態が良好 (ナゲット外でプラグ破断が起こる) で CTS の値も低下しないとされている。炭素, 珪素, マンガンは固溶強化等により直接鋼板の強度に関与するが, それと同時に鋼の種々の組織 (フェライト, ベイナイト, マルテンサイト等) の変態生成速度も変化させる。先述のように限られた添加元素の範囲内で高強度化するためには硬質相の制御が肝要であり, (5) 式のような制約も考慮しつつ添加元素を最適化していくことが今後も重要となってくる。

図5はナゲット径を一定にした場合の引張せん断強さと十字引張強さに及ぼす材料強度の影響を示したものである¹²⁾。TSS は, 800 MPa 程度までは強度とともに比例的に増加しており, その後も増加率は低くなるものの強度とともに増加している。一方, CTS は 800 MPa 程度以上でむしろ低下している。従来, 高強度化に伴い CTS が低下するのは, 炭素当量が増加するためと考えられてきたが, それに加えて母材強度の増加に伴ってナゲット周辺部での変形量低下と, その結果生じるナゲット近傍での応力集中が影響しているとの指摘もある¹²⁾。また, これらの溶接継手試験では試験片の回転や面外変形が発生する場合があります。TSS や CTS が継手の純粋なせん断または剥離強度を表してはいないことにも注意が必要である。

高強度側で低下していく CTS の改善に関する検討が行われている。その一つがナゲット形成のための本通電後に

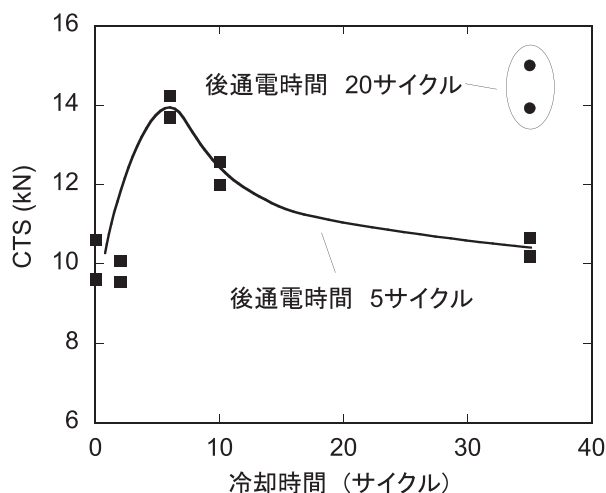


図6 2段通電方式でスポット溶接した継手の十字引張強さ (CTS)

短時間の冷却時間を設け, さらに通電を行う手法である¹³⁾。図6は板厚 2mm のホットスタンプ材に対して2段通電方式によりスポット溶接を行い CTS を測定した結果である¹³⁾。CTS は冷却時間 6 サイクルでピーク値を示し, 冷却時間が長い場合 (35 サイクル) でも後通電時間を長くすることで CTS が向上することを示している。この向上は後通電によりナゲット端部のリンなどの元素の凝固偏析が緩和されるためであると考察されている¹³⁾。CTS の向上には炭素の低減や珪素の増加が有効であるとの報告もあるが, 上述したようにこれらの元素は鋼板の特性制御にも重要な働きを持っている。最初に述べたように薄鋼板は種々のすり合わせが必要なものであり, 今後もそれぞれの制約条件を明確化しながら開発を進めていく必要がある。

経済的な観点や管理方法の知見などから, 自動車の組み立て工程においては現在も抵抗スポット溶接が接合技術の主流である。しかしながら, 最近では作業効率向上や閉断面構造での片面溶接¹⁴⁾, 溶接の連続化を目的にレーザー溶接やレーザーろう付も使われつつある^{15), 16)}。レーザー溶接技術は著しく進歩しており, ファイバーレーザーやディスクレーザーに代表されるように大出力化が進められている。また, リモート (スキャナー) レーザーを用いた溶接法も実ラインへの適用が検討されており, スポット溶接を併用したハイブリッドスポット溶接のような新しい手法も提案されている¹⁷⁾。

シャシー系部品では疲労特性が大きな課題の一つである。鋼板の疲労強度は基本的に材料の高強度化により増加するが, 同時に溶接継手の疲労強度も増加しないと材料置換による軽量化は困難となる。そのため例えばアーク溶接においてはビード止端部の再溶融による止端部曲率半径の増大や, ショットピーニングや低温変態溶材による止端部への圧縮応力の導入などの技術が検討されている。

以上のように, 材料の変化に伴って溶接は難しくなる方向にあるが, それに対応する技術も開発されつつある。材料と利用技術との組み合わせが自動車のさらなる安全性向上や軽量車体の実現に貢献するものと考えられる。

4. おわりに

衝突安全性の向上と燃費の改善を両立させるため、車体構造や材料に関する検討が盛んに行われており、車体を構成する材料である鋼板も次々に新しい材料が開発されてきている。ここでは薄鋼板に求められる特性とその製造プロセスについて述べるとともに最新の1GPaを超える超高強度鋼の材料設計の考え方について紹介した。その上でそれらの材料の車体適用に必要とされる種々の溶接技術について述べた。薄鋼板の場合、材料開発と同期して加工、溶接などの利用技術開発を行うことが重要である。今後も高度化するニーズに対応するためには材料開発と利用技術に関する技術革新を進めて行く必要がある。鉄鋼材料開発・利用技術が世界をリードする自動車産業を支えるものづくりの基盤となることを期待したい。

参考文献

- 1) 高橋：自動車用高強度鋼板の開発，新日鉄技報，378 (2008)，2-6.
- 2) 山口：最近の高強度薄鋼板の進歩，溶接学会誌，63-4 (1994)，51-56.
- 3) 武智：自動車用鉄鋼材料の最近の動向，鉄と鋼，78-3 (1992)，339-345.
- 4) 上西，吉田：高強度鋼板の高速変形特性に及ぼす軟質相硬度の影響，46-534 (2005)，646-650.
- 5) 例えば，S. Hayami and T. Furukawa: Proc. of Microalloying 75, Session 2A, Vanitec, London, (1975), 78-87.
- 6) 野中，後藤，谷口，山崎：自動車用 980 MPa 冷間圧延鋼板の開発，新日鉄技報，378 (2003)，12-14.
- 7) 中屋，向井：自動車衝突安全・軽量化に貢献する高成形性冷延 980 MPa 級ハイテン，R&D 神戸製鋼技報，59-1 (2009)，46-49.
- 8) 橋本，鹿島，池田，杉本：TRIP 型鋼板の強度・延性に及ぼす残留オーステナイト形態の影響，鉄と鋼，88-7 (2002)，42-47.
- 9) 日産自動車株式会社ホームページ 2011年10月5日付けニュースリリース.
- 10) 瀬沼，楠見，末廣：自動車軽量化の切り札ホットスタンピング，ふえらむ，11-2 (2006)，86-91.
- 11) 佐久間，及川：スポット溶接部静的強度の支配因子とそれにもとづく溶接部強度特性の優れた高強度鋼板メニューの展開，新日鉄技報，378 (2003)，30-34.
- 12) 及川，村山，崎山，高橋，石川：自動車用高強度鋼板のスポット溶接性，新日鉄技報，385 (2006)，36-41.
- 13) 古迫，渡辺，村山，濱谷，及川，高橋，野瀬：自動車ボディの接合技術における最近の課題とその対策技術－前編，新日鉄技報，393 (2012)，69-75.
- 14) 松下，谷口，大井：車体軽量化に貢献する次世代抵抗スポット溶接技術の開発，JFE 技報，30 (2012)，32-37.
- 15) 内原：自動車用薄鋼板の高エネルギー溶接技術，溶接学会誌，77-8 (2008)，10-18.
- 16) 大北，及川：最近の溶接技術の進歩と今後の展望，新日鉄技報，385 (2006)，2-9.
- 17) 内藤，兎玉，崎山，宮崎，野瀬：自動車ボディの接合技術における最近の課題とその対策技術－後編，新日鉄技報，393 (2012)，76-82.