



車体軽量化のための自動車用薄鋼板の動向

High Strength Steel Sheets for Light Weight Auto-bodies

高橋 学
Manabu Takahashi

新日本製鐵(株) 鉄鋼研究所
鋼材第一研究部 主幹研究員

1 はじめに

自動車は我々の日常生活と切り離して考えることができないほど広く社会に浸透している。しかしながら、身近な商品であるがゆえに、自然環境や社会環境との調和が強く要求されている。環境との調和はCO₂排出量の削減や排出ガス規制となって現れており、特にCO₂排出削減のための燃費向上は自動車業界での最も重要な課題の一つと位置付けられている。一方、衝突安全性は人間社会との調和のために考慮すべき項目であり、世界的にも法的規制が強化される方向にある。安全は車のみならず人と環境も含めたトータルシステムが完成して初めて実現できるものであり、安全走行、事故予防、事故回避、衝突安全および衝突後安全の5段階に分けることができるかとされている¹⁾。この中で、衝突時の乗員の安全性を向上させるための衝突安全性の向上は車体構造と共にそれを構成する材料特性の影響も強く受けることが知られている。一般に衝突安全性の向上が車体構造部材の板厚増加や補強部材の追加等を通じて、車体重量の増加をもたらす傾向にあることから燃費向上の要求に反する場合が多い。燃費の向上を目的として強力に推進されているエンジンの効率向上や種々の摩擦抵抗低減対策等の各種取り組みと共に、これら相反する二つの要求を同時に満足させる方法の一つとして素材の高強度化や低比重化が検討もしくは既に実施されている。自動車用鋼板の高強度化はアルミ合金やマグネシウム合金、プラスチック等の適用と共に自動車車体軽量化もしくは車体重量増加無しに衝突安全性を向上させる手段として注目されている。

ここでは、特に自動車車体軽量化を目的として開発されてきた高強度鋼板の主用特性及びその効果と今後の動向について概説する。

2 高強度鋼板のプレス成形性

薄鋼板は鋼材一般に要求される強度特性以外に、種々の複雑な形状への造形性が強く要求される。特に自動車用の鋼板はプレス加工によって最終的な部材形状に成形される場合が一般的であり、Fig.1に示すような種々の加工モードに対する良好な成形特性が期待される²⁾。適当なサイズに切断された鋼板をポンチとダイスの間に挟み込むことによって造形するプレス加工は、カップ成形に代表されるように、効率的に材料をポンチとダイスの間に流し込むことによって大きな成形高さを確保する深絞り成形性(縮みフランジ成形性とも呼ぶ)、板厚を減少させながら風船を膨らます要領で成形する張り出し成形性、打ち抜いた穴を広げる要領で端部に大きな引張り変形を与える伸びフランジ成形性、及び曲げ成形性に分類することができ、各々の加工モードによって必要とされる鋼板特性(機械試験等によって得られる特性)が異なる。

深絞り成形性は金型によって比較的強く挟み込まれているフランジ部の体積が減少する変形であるために、この部分での縮み変形が必須となる。このような変形特性は例えば円盤状

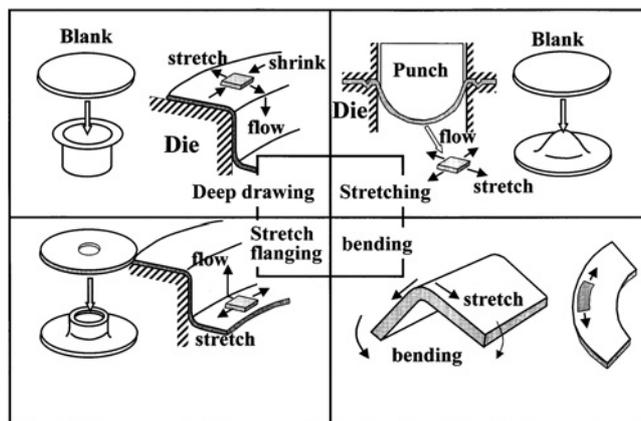


Fig.1 Categories of deformation mode in press forming of sheet steels²⁾

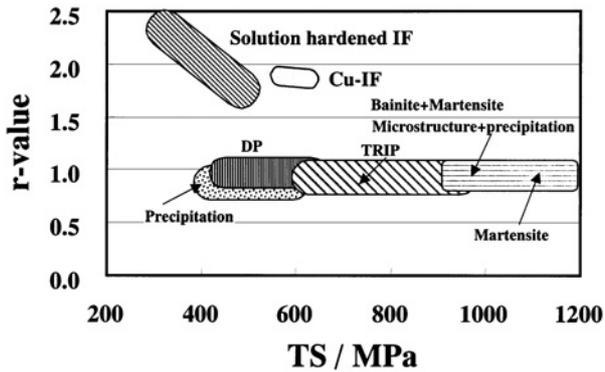


Fig.2 Relation between tensile strength and r-value of sheet steels

の鋼板を円筒カップ状に成形する際の限界絞り比（成形前の円盤と成形後の円筒径の比によって表現され、LDR：Limiting drawing ratioと呼ばれる）によって表現されるが、鋼板の塑性異方性（r値）と良い相関がある事が知られている。自動車車体の外板等では特にこの特性が重要な役割を演じ、鋼板中の炭素量の低減や析出処理を利用した固溶炭素、固溶窒素の低減と製造条件の最適化を通じて非常に高いr値が達成されている。しかしながら高強度鋼板では、鋼に含有されるC量が多いことや、鋼中に含まれる硬質相まわりでの変形の不均一性等に起因して高いr値を得ることは容易では無く、現在自動車部材に適用されている強度（単軸引張り試験で得られる最大強度TS：Tensile Strength）が500MPa超のほとんどの高強度鋼板ではr値が1.0以下で、深絞り成形には適さないと言える。Fig.2には鋼板強度とr値の関係を示した。590MPa程度以上の高強度鋼板で高いr値を持つ鋼として、Cuを添加したIF鋼（Interstitial free:TiやNbで侵入型元素を固定した鋼）³⁾とやはりCuを添加した中炭素鋼のBAF焼鈍材⁵⁾が報告されている。

張り出し成形は材料を流入させずに板厚を減少させながら成形高さを確保する成形であり、限界張り出し高さ（LDH：Limiting dome heightと呼ばれる）によって表現される。限界張り出し高さは鋼板の延性特に均一伸びを強い相関を持つことが知られている。上述のように高強度鋼板では一般的に高いr値が確保できないため、張り出し成形性すなわち延性がプレス成形性の代表的な指標と言える。鋼板の延性は鋼板強度の上昇と共に低下することが知られており、高強度鋼板ほど張り出し成形性は劣化する。Fig.3にはTSと延性（破断伸び）の関係を示した。同一強度で比較すると、固溶体強化や析出強化に対して、軟質のフェライトと硬質相の組み合わせであるDP（Dual-phase:フェライトとマルテンサイトの2相組織）鋼や低合金TRIP（Transformation induced plasticity:フェライト、ベイナイトと残留オーステナイトの複合組織）鋼等の複合組織鋼板は良好な延性を示す。

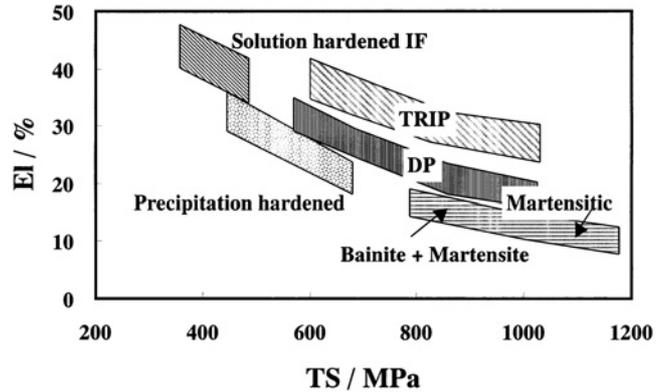


Fig.3 Relation between tensile strength and total elongation of sheet steels

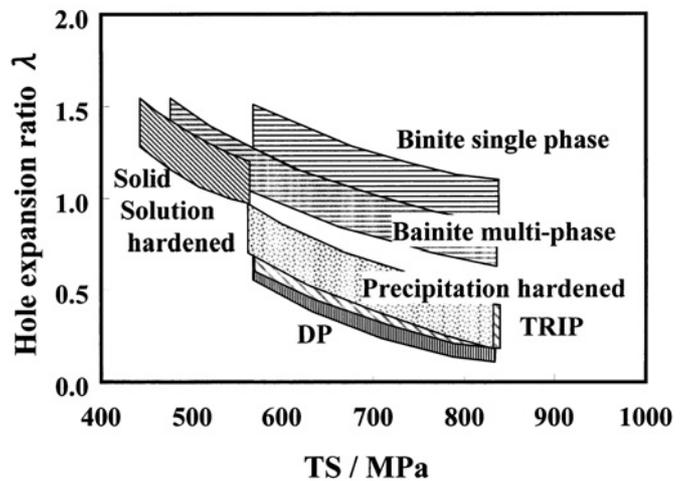


Fig.4 Relation between tensile strength and hole expansion ratio of sheet steels

伸びフランジ成形性は端部、特に打ち抜き端部の変形能を表す。代表的には円形に打ち抜いた穴を円錐ポンチで広げる穴広げ試験によって評価される。元穴径 d_0 に対する最終穴径 d までの穴広がり率（穴広げ率 $\lambda = (d - d_0) / d_0$ もしくは100倍して%で表現）がその指標として用いられ、極限変形能と良く対応することが知られている。鋼材の材質としてはr値と対応することが知られているが、前述のごとく高強度鋼板でのr値は一般に1.0以下であることから、その他の支配因子が重要となる。Fig.4にはTSと穴広げ率との関係を示した。穴広げ性も鋼板強度の上昇と共に劣化するが、鋼板のマイクロ組織の影響を強く受けていることが分かる。延性とは逆に、DP鋼や低合金TRIP鋼は比較的低い穴広げ性を示す。一方均一なマイクロ組織をもつベイナイト強化された鋼は非常に良好な穴広げ性を示す。マイクロ組織に硬さが大きく異なる粒子もしくは変態組織を持つと打ち抜き時の欠陥生成や変形時の歪み集中によるポイド生成によって伸びフランジ成形性は劣化する。従って、マイクロ組織の均一化や硬質相である炭化物、酸化物の減少が有効であり、Siを添加することに

よるセメント微細化とベイナイト化によるマイクロ組織の均一化も利用されている。

曲げ成形性は特に非常に高い強度レベルで問題となり、曲げRを固定した曲げ試験によって評価される。曲げ性も伸びフランジと同様に局所的な大変形による破壊現象ととらえることができ、例えば980MPa級の鋼について、硬さのバラツキ（マイクロ組織における硬質相と軟質相の分布に対応）によって整理できる。従って曲げ性の向上は伸びフランジ成形性の向上と同様の考え方で達成できると言える。

以上の4象限の成形性以外にもいくつかの成形性に絡む課題が認識されている。自動車用外板では表面のなめらかさが重要な商品価値となり、降伏強度が高い場合や耐時効性が十分でない場合には面歪みやストレッチャーストレインと呼ばれる表面欠陥が生じる。従って外板用の鋼板では時効性を十分に考慮した上で降伏強度を低く保つことが必須となる。また、高強度化に従って成形後のスプリングバックによって金型通りの形状を確保することが困難となる。この形状凍結性の劣化はスプリングバックが生じる部位の歪みレベルによるが、引張り試験における降伏強度もしくは最大強度が大きいほど劣化することが知られている。

3 プレス成形性に優れた高強度鋼板

3.1. 高焼付け硬化型 (BH) 鋼板

自動車の外板は前述のように高い成形性と良好な表面品位が要求される。このために低い強度の鋼を用いるのが一般的である。この様なパネル類における強度特性としてはパネルの面としての剛性（張り剛性と呼ばれる）と、微小な領域での耐塑性変形（耐デント特性と呼ばれる）があげられる。前者は主に素材のヤング率と板厚及びパネルの局率や拘束条件などの幾何学的因子によって支配されており、素材の種類によって決まると言える。鋼板のヤング率は結晶の配向性を示す集合組織によって変化するが、全方位に渡ってヤング率を向上させることは容易ではなく、実用化されていない。後者の耐デント特性は、例えば指などで押された場合に永久変形が残りにくい効果であり、降伏強度が高いほど良好である。しかしながら良好な表面品位を確保するためにはプレス成形時には極力低い降伏応力である事が必要であるために、成形性と耐デント特性の両立は困難であった。これに対して、鋼板中に少量の侵入型元素（CやN）を固溶状態で残して、プレス成形時に導入される転位をその後の焼付け処理（塗料の乾燥を目的に行われ、一般的には170℃で20分程度の熱処理）中に起こるひずみ時効現象（侵入型固溶元素が可動転位に集まって固着し、次の変形時の転位移動を妨げることによる応力、特に降伏応力が上昇する現象）を利用して、成形時

には低い降伏強度を確保しつつプレス後の焼付け処理によって降伏強度を上昇させてプレス成形性と耐デント特性を両立させた焼付け硬化型鋼板（BH鋼板：Bake hardenable 鋼板）が開発された。この鋼で重要なことは、170℃での時効現象を利用するが、実際にプレス成形が行われるまでは時効しない「遅時効性」が要求される点である。侵入型固溶元素の量を増加させることによってBHによる降伏強度の上昇量（BH量と呼ぶ）は増加するが、同時に室温での時効性も劣化するため、高精度の固溶C,N制御技術が必要となる。高い加工性が要求されるパネル類に適用されることから、極低炭素鋼をベースにしたBH鋼板が開発されている。最終製品に適量の固溶Cを残留させるためには、(1) 鋼に添加する炭化物形成元素のTi、Nb量を精度良く調整して固溶Cを残留させるExcess C型と、(2) Cの化学当量以上にTi、Nbを添加した上で、高温で焼鈍することで炭化物を再溶解させて固溶Cを残留させる再固溶型の2種類が考えられる。(2)の方法では高温での焼鈍が必須になる上に、工程条件によって固溶C量に変化することから、バラツキが大きくなる危険性が高く、高精度の成分調整に依存する(1)の方法が安定製造には有利であると考えられる。

BH量は予加工量を増加させると2%程度もしくはそれ以下の歪でピークを示し、高歪側では減少することが知られている。一方TS等の流動応力を見ると、予歪の増加とともに焼付け処理による応力上昇量が大きくなる⁶⁾。この応力上昇は後述する衝突時のエネルギー吸収能の向上に有利であり、いくつかの高強度鋼板では流動応力のBH効果が積極的に利用されている⁷⁾。

3.2. 高塑性異方性 (r値) 高強度鋼板

高いr値を持つ440MPa超の高強度鋼板に関する研究例を紹介する。最初の例は、極低炭素鋼にTiを添加することでr値に及ぼす固溶Cの悪影響を除外した鋼に1.0重量%超のCuを添加したものである。この鋼は冷延後焼鈍することによってIF鋼特有の高いr値が確保できる³⁾。焼鈍ままのTSは熱延ままの場合同様440MPa程度であるが、Fig.5に示すように550℃程度の温度域での熱処理によって得られるCuの析出強化で最大600MPa程度まで強度が上昇する⁴⁾。

2番目の例は、Cuを添加した中炭素鋼を箱焼鈍することによって高いr値が得る方法である。アルミキルド鋼の箱焼鈍によるr値の向上は良く知られているが、Cuを添加した鋼についても同様の効果がある事が報告されている。清水らは、C量が高い鋼についても箱焼鈍に相当する徐加熱処理を行うことによって高いr値が得られることを利用して、Si添加鋼に徐加熱後空冷程度の比較的速い冷却速度が採用できれば残留オーステナイトを導入する事もでき、深絞り成形性と

後述の張り出し成形性が同時に達成できる可能性を示した⁵⁾。現実の工程ではこの様な熱処理条件の達成が容易では無いことから実用化には至っていないが、高強度鋼板の加工性を改善する一つの方法として注目される。

以上2種類の研究では焼鈍後の付加的な熱処理や生産性が低い箱焼鈍を採用する必要があることに加えて、Cu起因の表面欠陥を回避するためにNiの添加が必要なことなどから製造コストの問題もあるが、特性上は非常に魅力ある鋼と言える。

3.3. 高延性低合金TRIP鋼

高強度鋼板の成形性を表す代表的なパラメーターは引張り試験で得られる伸び特性である。引張り試験の全伸び(破断伸び)は最大荷重までの均一伸びとその後の局部伸びに分離できる。張り出し成形性を支配しているのは主に均一伸びと考えられるが、この均一伸びを大きく向上させた鋼が低合金TRIP鋼である。TRIP現象はZackay⁸⁾らによって最初に報告されたが、オーステナイトを安定化するためにNiやMn、Crなどが多量に添加された高合金系が選択されていたことから、コストやファブリケーションの難しさによって実用化は限られていた。これに対し、最も安価で効果的なオーステ

ナイト安定化元素である炭素を利用して、オーステナイトを残留させたのがこの低合金TRIP鋼である。オーステナイトを室温で残留させるためには約1重量%程度以上の炭素濃度が必要とされている⁹⁾。溶接性を考慮した低炭素鋼中にこの様な高Cのオーステナイトを存在させるためには、フェライト変態を利用して効率よくCを未変態オーステナイト中に濃化させる必要がある。しかしながら、オーステナイト中のC濃度が高くなると(実際にはオーステナイトとオーステナイト+セメンタイトの平行相界面濃度であるAcmを超えると)鉄炭化物(セメンタイト: Fe₃C)が析出してそれ以上オーステナイト中へのC濃化を進めることは容易ではない。これを回避するために低合金TRIP鋼にはセメンタイト析出を大きく抑制する元素(Si, Al, Cu, P等)の添加と400℃近傍でのベイナイト変態が利用されている。低合金TRIP鋼には数%から20%程度の残留オーステナイトが含まれており、Fig.6に示すように、塑性変形の進行と共にオーステナイトから硬質(高C)マルテンサイトへの変態が進行する。この結果非常に広いひずみ範囲において高い加工硬化特性を示し、良好な張り出し成形性を持つ¹⁰⁾(Fig.7)。更に特筆すべきは、この鋼の深絞り成形性である。加工によるオーステナイトからマルテンサイトへの変態はその変形モードによって影響を受ける¹¹⁾ことから、深絞り成形の場合Fig.8に見られるように、フランジ部(縮みフランジ成形)と壁部(等2軸成形)でマルテンサイト変態量が異なる。フランジ部に比べて壁部が硬質になることから破断することなく効率よくフランジ部の材料を引きずり込むことによって高い深絞り成形性が確保できる。前述のr値以外の絞り成形性向上方法として注目される。低合金TRIP鋼の加工性は残留オーステナイトの量と安定性によって決まることが知られており、同一強度と比較すると鋼板の延性は残留オーステナイトの量と共に直線的に増加し、また残留オーステナイト中の炭素濃度とともに向上する¹²⁾(Fig.9)。

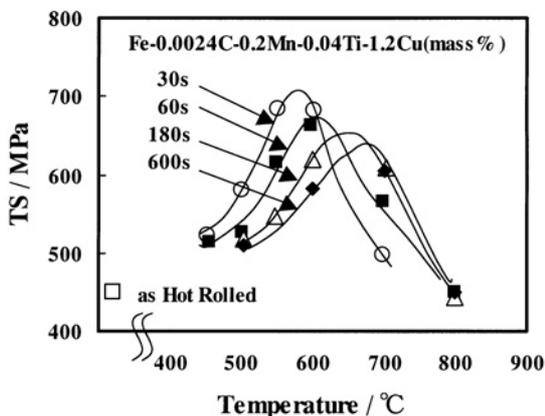


Fig.5 Increase in tensile strength of a Cu added IF steel by heat treatment⁴⁾

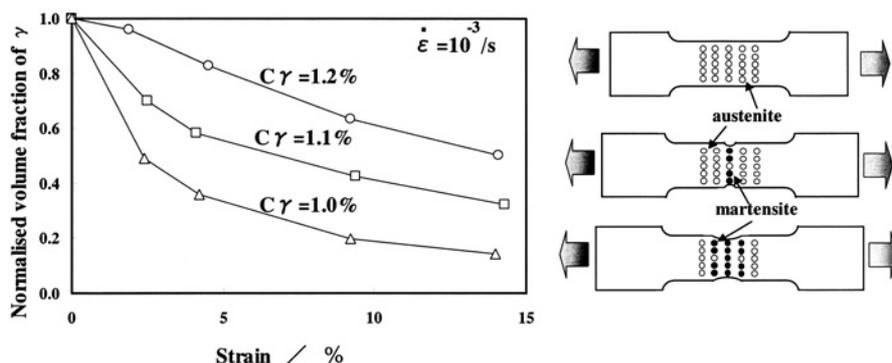


Fig.6 Transformation of austenite to martensite during deformation and its effect on improving elongation in low-alloyed TRIP steels¹²⁾

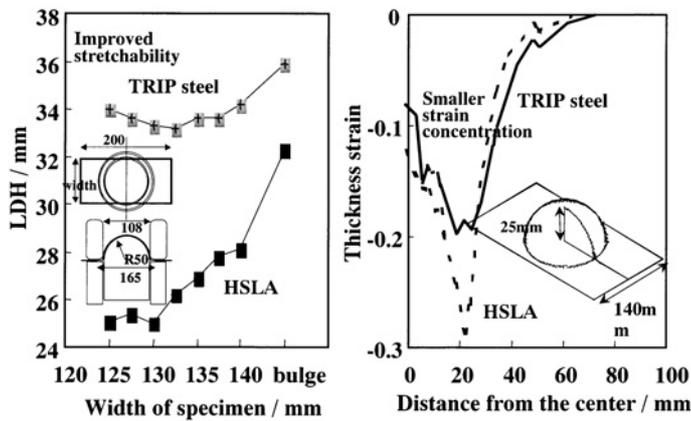


Fig.7 Enhanced stretchability of low-alloyed TRIP steel¹⁰⁾

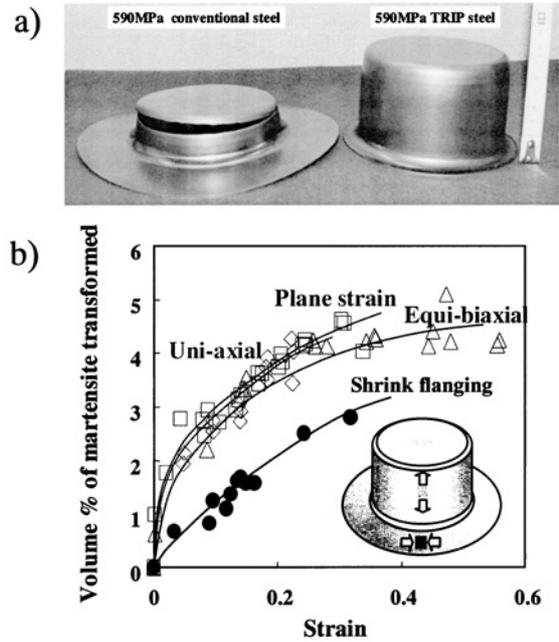


Fig.8 Deep drawability of low-alloyed TRIP steel
 a) Results of cylindrical deep drawing cup test
 b) Effect of deformation mode on transformation behavior of austenite to martensite¹¹⁾

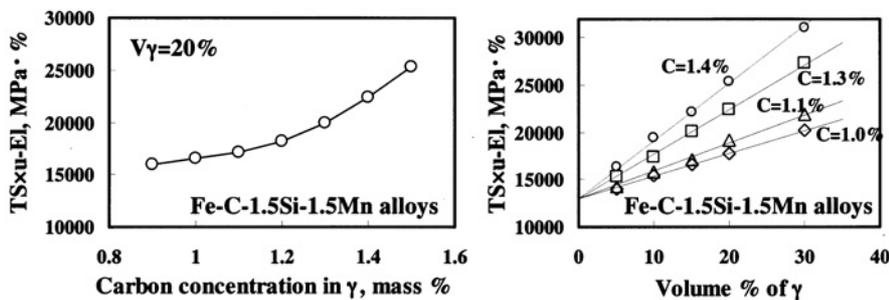


Fig.9 Effect of the amount and carbon concentration of retained austenite on TS×u-EI values of low-alloyed TRIP steels (calculation)¹⁰⁾

3.4. 高パーリング熱延鋼板

伸びフランジ成形性を高めた鋼板として広く適用されているのが高パーリング鋼板である。Fig.4に示すように、伸びフランジ成形性の指標である穴広げ性は鋼板強度の上昇と共に低下することが知られている。伸びフランジ成形性が局所的な変形能に対応していることから、硬度差の大きな組織が混在することが特性低下につながる。ベイナイト単相組織もしくはベイナイトとフェライトの混合組織は組織の局所的な硬度差が比較的小さいこともあり、良好な穴広げ性を示す。また、Siなどのセメンタイト析出抑制元素を添加することによる炭化物の微細分散化することも伸びフランジ成形性向上に有効であることが知られている。実際の成形時には打ち抜き端部の伸びフランジ成形性が問題となり、マトリクスと大きく硬度が異なる組織や大型の硬質介在物等を含む場合にはせん断面時に端部に欠陥が導入されやすく、穴広げ性を著

しく低下させる¹³⁾。

4 高強度鋼板の衝撃エネルギー吸収能

自動車車体への高強度鋼板適用推進の大きな駆動力の一つは衝突特性の向上にある。自動車の衝突時の部材変形はその形状や部位によってさまざまではあるが、薄肉箱型断面部材の軸方向座屈変形とそれに垂直な方向での曲げ変形が代表的なモードと言える。乗員保護の観点からは、乗員の存在空間を守る事と、衝突時に乗員に伝わる衝撃エネルギーを低下させる事が必要となる。前者はキャビンまわりを極力強くし変形を少なくすることによって達成され、後者は特に前面衝突等の際に構造部材が塑性変形することによって限られた変形領域内で効率的に衝撃エネルギーを吸収することによって達成される。角筒の衝撃軸圧潰では通常の静的な引張り試験よ

りも約100万倍の変形速度である最大1000/s程度的高速変形が予想され¹⁴⁾、この様な高速変形時の強度(特に10%程度までの流動応力)が衝撃吸収エネルギー量を決定する。材料の高速変形挙動は特に衝撃変形で生じる衝撃波の影響を最小化する工夫がとられたホプキンソン棒法¹⁵⁾やワンバー法¹⁶⁾などの特殊な高速変形試験装置を用いて測定できる。Fig.10には静的及び動的引張り試験結果の例を示した。ひずみ速度が100万倍変化する事で強度(変形応力)が大きく上昇していることがわかる。この応力の上昇量(応力のひずみ速度依存性)は鋼材の種類によって異なり、特に鋼材強度の上昇と共に小さくなる。部材の動的な変形挙動はFEM(Finite element method:有限要素法)を用いて計算することができるが、実際の現象を精度よく再現するためには、使用される鋼材の変形応力のひずみ及びひずみ速度依存性を正確に表現して用いることが重要となる。この様な材料特性の表現方法については鉄鋼協会の「自動車用高張力鋼板の高速変形挙動に関する共同研究会」(1997年4月~2001年2月)でも議論され、最終報告書¹⁷⁾にまとめられている。FEM計算で比較的良好に使われる表現が(1)式に示すCowper-

Symonds型の経験式¹⁸⁾であり、実験結果から F, ϵ_0, D, n^*, P が決定される。

$$\sigma(\epsilon, \dot{\epsilon}) = F \cdot (\epsilon + \epsilon_0)^{n^*} \left\{ 1 + \left(\frac{\dot{\epsilon}}{D} \right)^{1/P} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

Fig.11には角筒の軸圧潰のFEMシミュレーション結果を示した¹⁹⁾。角筒の軸圧潰では座屈変形が繰り返し起こる事によって変形が進行し、各々の座屈変形に応じて加重のピークが現れる。このとき反力として計算される加重一変位曲線の下側の面積が特定の変形量に対する衝突エネルギー吸収量に対応し、乗員が受ける加速度と共に、衝突安全性を議論するうえで重要な因子と言える。Fig.12には70mm角の角筒を高速で軸圧潰した場合に、100mmの変形で吸収できる衝撃エネルギー量を板厚に対してプロットした¹⁹⁾。エネルギー吸収能は板厚及び鋼材強度の増加とともに上昇する事がわかる。従って、より高強度の鋼材を適用する事によって衝撃エネルギー吸収能を低下させることなく部材板厚を減少させ、部材を軽量化することができる。しかしながら、前述のように鋼材強度の上昇は鋼材の加工性の低下を招くことから、よりプレス成形性に優れた高強度鋼板が要求される。また、同

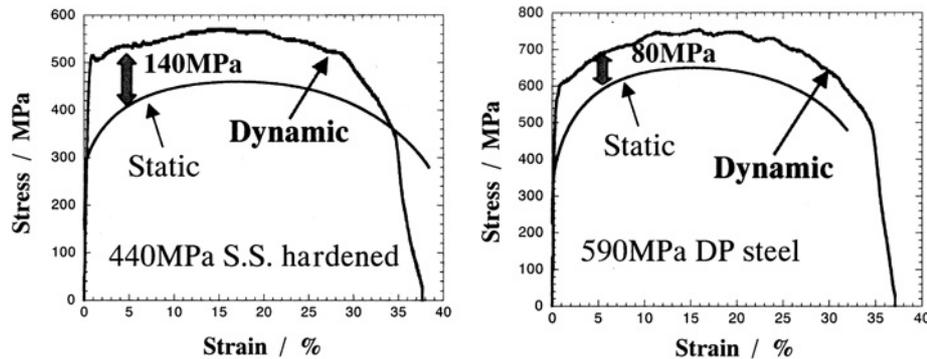


Fig.10 Typical examples of stress-strain curves at 0.001/s and 1000/s of strain rate

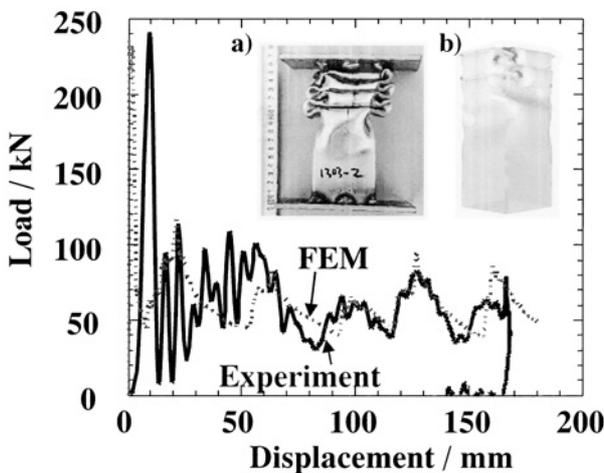


Fig.11 Comparison of experimental and calculated load-displacement curves during axial crush test of thin-wall square tube with the appearance of samples after the test
a) Experimental results, b) Calculated results¹⁹⁾

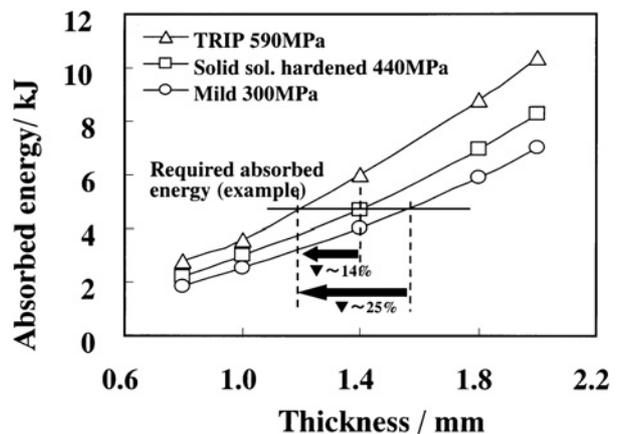


Fig.12 Effect of the thickness and strength of steel sheets on the calculated absorbed energy at 100mm of displacement during axial crush test of thin-wall square tube¹⁹⁾

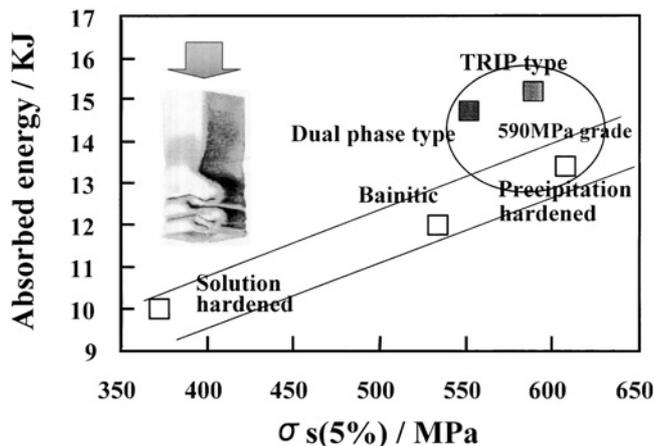


Fig.13 Effect of the strengthening mechanism of steels on the calculated absorbed energy during axial crush test of thin-wall square tube¹⁴⁾

一強度レベルで比較した際には、より高い衝撃エネルギー吸収能を示す鋼ほど部材の軽量化には有利となる。異なるマイクロ組織を持つ3種類の590MPa級高強度鋼板と2種類の比較鋼を用いて角筒の軸圧潰時の衝撃吸収エネルギー量の比較を行った結果をFig.13に示した¹⁴⁾。自動車部材へのプレス成形とその後の塗装焼き付け処理工程を模擬して、5%の引張り予ひずみ付加後、170℃×20分の熱処理を行った後の高速引張り試験結果を用いて決定された各材料の応力-ひずみ曲線を用いて計算されている。衝撃吸収エネルギーは静的強度(ここではプレス成型時の変形抵抗を代表させるために静的引張り試験時の5%ひずみでの応力を用いた)の上昇とともに増加するが同程度の強度レベルで比較すると、通常の析出強化鋼に比べ、DP鋼や低合金TRIP鋼がより大きな衝撃エネルギー吸収能を示すことがわかる。これらの鋼は軟質なフェライトや残留オーステナイトに起因する高いひずみ速度依存性ととも、製造時に鋼中に残留する固溶CやNに起因する焼き付け硬化性が高いことに起因することが知られている⁷⁾。この計算衝撃吸収エネルギーを鋼材の延性に対してプロットしたのがFig.14である。鋼材強度上昇と共に衝撃エネルギー吸収能は上昇するものの、加工性は一般的に劣化する。しかしながらDP鋼や低合金TRIP鋼は良好な加工性と衝撃エネルギー吸収能を兼ね備えており、自動車の軽量化や衝突安全性向上に貢献するものと考えられる。

5 おわりに

自動車用部材に高強度鋼板を適用する際には今回概説したプレス成形性や衝撃特性以外にも耐疲労特性(母材、打ち抜きなどの端部、溶接部およびその他の応力集中部)、溶接性、耐食性、靱性、プレス時の形状凍結性や水素起因の破壊など

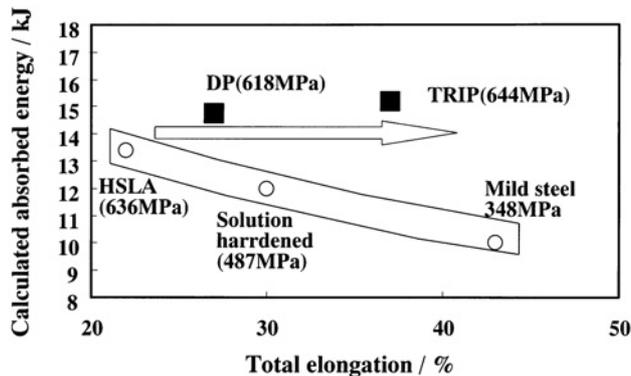


Fig.14 Relation between total elongation and the calculated absorbed energy during axial crush test of thin-wall square tube¹⁰⁾

の課題も解決する必要がある。これらの諸特性は各々が関連しており、利用される部材とその必要特性に応じて重要となる項目が変化する。今後高強度鋼板の適用を更に拡大してゆくとためには、開発の初期段階から自動車メーカーと素材、部品メーカーが協力し、これら種々の利用特性上の問題を解決してゆくことが必要であろう。また、より使いやすい高強度鋼板開発や素材のグローバル供給体制構築も強く期待されている。

参考文献

- 1) 大坂邦明, 森健雄:自動車衝突安全性と高張力鋼板の高速変形特性, 日本鉄鋼協会, 東京, (1997), 9.
- 2) 林 央:第40回塑性加工学講座, 力学コース, 板成形, 塑性加工学会, (1985)
- 3) K.Kishida and O. Akisue: Tetsu-to-Hagane, 76(1990), 759.
- 4) K.Kishida, M.Oda, N.Ikenaga, M.Takita and O. Akisue: SAE Technical Paper Series 900735 (1990)
- 5) H.Era, K.Tomokiyo, H.C.Chen and M.Shimizu: Scripta Metall, 23 (1989), 173.
- 6) R.P.Krupitzer: Formable HSLA and Dual-Phase Steels, The Metallurgical Society of AIME, U.S.A., (1979), 315.
- 7) 高橋学, 上西朗弘, 栗山幸久, 岸田宏司:自動車衝突安全性と高張力鋼板の高速変形特性, 日本鉄鋼協会, 東京, (1997), 41.
- 8) V.F.Zackay, E.R.Parker, D.Fahr and R.Bush: Trans. ASM, 60 (1967), 252.
- 9) I.Sawai and S.Uchida: J.Jpn Soc.Heat Treat., 30(1990), 27.
- 10) S. Hiwatashi, M.Takahashi, Y.Sakuma and M. Usuda: Proc.of Int.Conf.on Automotive Technology and

- Automation, Germany, (1993), 263.
- 11) S.Hiwatashi, M.Takahashi, T.Katayama and M. Usuda : J.of the JSTP, 35 (1994), 1109.
- 12) M.Takahashi, H.Yoshida and S.Hiwatashi : Proc. Int. Conf.on TRIP-Aided High Strength Ferrous Alloys, GRIPS' Sparkling World of Steel, Belgium, (2002), 103.
- 13) N.Matsuzu, A.Itami, K.Takahashi and S.Komori : CAMP ISIJ, 4 (1991), 780.
- 14) A.Uenishi, M.Suehiro, Y.Kuriyama and M.Usuda : IBEC'96, Automotive Body Interior & Safety Systems, Automotive Technology Group Inc., Michigan USA, (1996), 89.
- 15) T.Yokoyama : J.Mater.Test.Res.Assoc.Jpn, 43 (1998)
- 16) K.Kawata, S.Hashimoto, K.Kurokawa and N.Kanayama : Proc.Conf.Mechanical Properties as High Rates of Strain, Inst.of Phys, Inst.of Phys., London, (1979), 71.
- 17) 自動車用材料の高速変形に関する研究成果報告書, 日本鉄鋼協会, 東京 (2001)
- 18) G.R.Cowper and P.S.Symonds : Brown University Division of Applied Mech. Report No.28 (1952)
- 19) A.Uenishi, Y.Kuriyama, M.Usuda and M.Suehiro : IBEC'97, Automotive Body Materials, Automotive Technology Group Inc., Michigan USA, (1997), 59.
(2002年7月29日受付)

ブックレビュー

なっとくする材料力学 辻 知章 著

2002年3月 (株)講談社サイエンティフィック発行(TEL.03-5395-3676)
A5判 214頁 定価 2,700円(消費税別)

身近な素材による物理現象の探求～「なっとくする材料力学」を読んで～

読者諸兄の中で、「スパゲッティ」を用い引張試験や座屈試験を行ったことのある技術者はいるだろうか。金属を頻繁に試験されている人はいても、「スパゲッティ」や「そば」を試験された方はおそらく誰もいないであろうと推察される。ましてやそれを使って3mもの塔を建てる課題など、誰が考えつくであろうか。本書に掲載されている3m近くの「スパゲッティの塔」は、まさに圧巻である。

本書はこれら各家庭の台所にある素材や5円玉など、文系理系・老若男女を問わず、身近にある素材を用いた実験を引き合いに出しながら、材料力学を「なっとく」いくまで考えるものである。小生は大の豆腐好きであるが、冷奴を見てせん断応力に思いを馳せることは材料力学の講座出身でありながら恥ずかしいことに今までなかった。こういった基本とも言える物理現象について、子供から大人まで、誰でも知っている材料を用いて、材料力学への導入として例示しているのである。

種々の事例を紹介しながら話を展開しているため、「なるほど」と思いながら読み進んでしまう。実際、小生も2時間程度で読破したし、大抵の方も同様であろう(というのが本書の売りでもあるらしい)。もちろん必要な箇所は丁寧に数式で説明している部分もあるため、全く数学の知識のない人にとっては理解し兼ねる部分もあることと思われる。それでも材料力学がどのように使用され、社会に役立つのかといった観点で全体像を把握するには十分すぎる内容を網羅している。もちろん高校程度の数学の知識があれば言うことはない。

理系離れ、数学離れが叫ばれて久しい昨今、自らが基本に立ち返り、また読者諸兄のご子息・ご令嬢に興味を持っていただくための第一歩として本書をお勧めしたい。

(NKK 技術開発本部総合材料技術研究所圧延プロセス研究部 勝村龍郎)