

自動車用高強度鋼板評価技術

C

燃費特性の向上(CO₂排出量の低減)と衝突安全性の向上は自動車に要求される社会的責務である。これらの課題に対し車体重量の軽減と、ハイブリッドシステムに代表されるようなエンジン性能の向上、変革が大きな対応の方向である。近年車体軽量化の手段として高強度鋼板(ハイテン)の使用が急激に増大し、一部の車種では車体の50%以上に使用されるに至っている。ここでは最近のハイテンの動向、使用される際に求められる特徴、その評価技術について紹介する。



技術本部
材料評価事業部
材料技術部
橋本 俊一

C-1 最近の自動車用高強度鋼板(ハイテン)

1994年にIISI (International Iron and Steel Institute) が実施したULSAB (Ultra Light Steel Auto Body) プロジェクト^{*1)}で25%の車体軽量化が達成可能であることが示されて以来、加速度的にハイテンの適用部位の拡大、より強度の高い鋼板の適用が進展してきた。

鋼板が使用される自動車部品には外板に代表されるパネル部品、熱延鋼板が主に使用される足回り部品、車体の骨格を構成する構造部品および乗員の安全を確保するための補強部品から構成される。構造部品には優れた剛性と衝突エネルギー吸収能が要求され、補強部品には衝撃特性が要求される。

第1図に示すように各種の自動車用鋼板が開発されてきたが、一般的に強度の上昇とともに伸びが低下する。しかしながら近年AHSS (Advanced High Strength Steel) と称せられる比較的高強度でかつ伸びの高い鋼板が注目されている。DP-CPは (Dual Phase-Complex Phase) の略である。DP鋼はフェライトマトリックスに10から30%程度のマルテンサイトを分散させた組織に制御し、高伸び、低降伏比を達成したものであり、590MPa、780MPa級鋼板として広く使用されている。CP鋼はさらにベイナイトも含めて複相組織とし、より高強度化を図ったものである。TRIP (Transformation Induced Plasticity; 変態誘起塑性) 鋼は残留オーステナイトを10%程度導入した鋼で、より高い伸

びを示す鋼板として、590MPa、780MPa級に使用されている。一方さらなる高強度化に対応すべくDP鋼におけるマルテンサイト比率をより高めた鋼板、あるいはマルテンサイトを100%まで高めた鋼板 (MART; Martensite) が980MPa級を超える超ハイテンとして補強部材に使用されている。この中には残留オーステナイトを含んだ鋼板も開発されている。

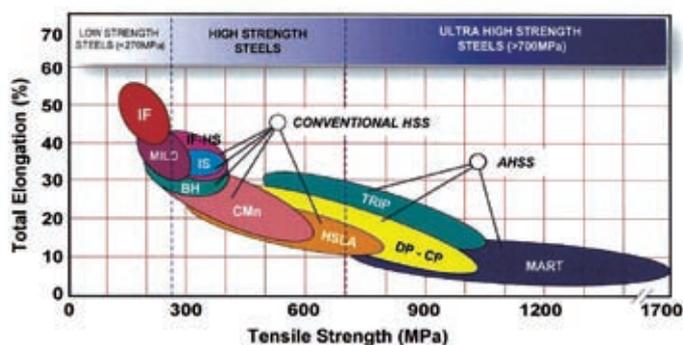
また1470MPa級となると伸びが小さくなり、プレス成形限界が低下し、スプリングバックが大きくなるなどの問題があるため、ホットスタンピング (ダイクエンチ、熱間プレスとも呼ばれる) 技術も実用化されている。これは0.22%C-1.2%Mn-Cr-Ti-B鋼をオーステナイト域で加熱し、高温でプレス成形、プレス型内でマルテンサイト変態させ強度をえるものである。この技術は1990年代に欧州で本格的な採用が始まり、日本でも近年注目を集めている。同様の成分鋼を冷間成形後、焼入れ処理によりマルテンサイト変態させたドアーインパクトビームや、必要箇所のみ焼入れ強化した部品も実用化されている。

第1図には示されていないが、最近800から1000MPaで70%程度のきわめて高い伸びを示すTWIP鋼 (Twinning Induced Plasticity) が開発されつつある^{*3) *4)}。この鋼板の特徴は母相がオーステナイト組織であり、変形が進んだ箇所では双晶が起り、その部分が硬化し割れの発生を抑制しきわめて高い均一伸びを示すことにある。この材料の研究や実用化の検討はヨーロッパを中心に行われているが、オーステナイトを安定化するためには20%以上のMnが必要であり、コスト的に難があるほか、遅れ破壊特性などの問題も指摘されている。また類似の成分系でAlを6%程度添加した低密度鋼も提案されている^{*4)}。一方0.4%のCを含むTRIP鋼を150℃の温間で引張試験を行うと、TWIP鋼と同等の強度、伸びがえられることが報告されている^{*5)}。自動車用鋼板として使用されるためには成分系の調整や温間加工方法など今後検討しないといけない点は多々あるがTWIP鋼同様、今後の自動車用ハイテン、加工技術として注目される。

参考文献

- *1) ULSAB Electronic Report: The ULSAB Consortium, (1998)
- *2) IISI AUTOCO Report; www.worldautosteel.org
- *3) J.Kiese: International Symposium on Niobium Microalloyed Steel Sheet for Automotive Application, (2006) ,p89
- *4) G.Frommeyer et al.: ISIJ Int.43, (2003) ,p438
- *5) M.Mukherjee et al.: ISIJ Int.46, (2006) ,p316

第1図 各種鋼板の強度と伸びの関係(IISI 発表資料)^{*2)}

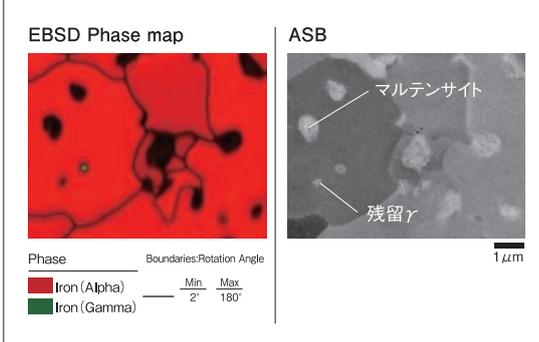


C-2 組織観察事例

前節で述べたようにDP鋼、TRIP鋼、あるいはマルテンサイト鋼板がAHSSとして注目を集めている。これらの鋼板は使用部位により伸びだけでなく、穴広げ性、曲げ性も重要な特性となる。これらの特性を制御するためには、マルテンサイト、オーステナイト、セメンタイトなどを制御することが重要であり、これらの相の構成を分散状態を含めて正確に把握することが求められる。また塑性変形中に各相がどのように変形していくかを知ること各鋼の変形挙動を理解するうえで必要である。

DP鋼の組織観察をSEM-EBSD (Scanning Electron Microscope-Electron Back Scatter Diffraction) とFE-SEM (Field Emission-Scanning Electron Microscope) に搭載したASB (Angle Selective Backscattered Electron Detector) 検出器で観察した結果を第2図に示す。EBSDでは赤色で示されたフェライト相と緑色で示されたオーステナイト相および高転位密度のため識別されず黒色となっているマルテンサイト相の分散状態が認められる。一方ASBではコントラスト状態から相の判別が可能である。ASBは極低角度散乱反射電子を検出することで、チャンネルングコントラスト (結晶方位情報) が反映された像がえられる。このため結晶粒内のサブグレインや微小領域の塑性ひずみに起因した方位差などの知見を比較的簡便にえることができる。この特徴を生かし、広領域から微小領域までの方位変化の短時間観察、サブグレインなど転位下部組織の観察などに活用されている。

第2図 DP鋼のEBSDおよびASBによる観察例

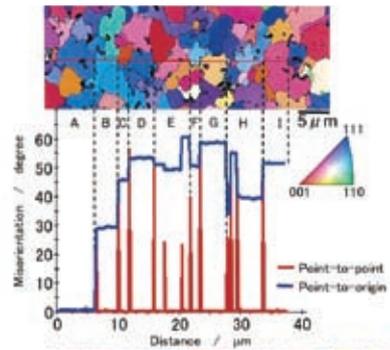


DP鋼の変形にともなう組織変化をSEM-EBSDにて観察した例を第3図^{*6)}に示す。a) は母材、b) はそれに26%引張変形を与えた後のOIM像 (Orientation Imaging Microscopy) による方位マッピングを示したものである。a) 中に分散している黒い領域はマルテンサイトである。b) ではマルテンサイトに加え、変形により局所的に大きなひずみが生じることで菊池線が不明瞭となった部分も黒く表現されている。各図下のグラフはOIM像中央の横線に沿って方位差を測定したプロファイル

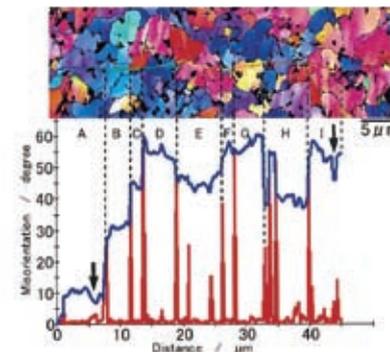
であり、赤線は隣接する測定間隔 (1ステップは0.1 μm) の方位差、青線はグラフの原点と測定点間の方位差を示している。また図中には初期状態 (a) と変形後 (b) の場所的対応を明確にするため、対応する領域をA~Iの記号で示している。a) では各結晶粒が単一の色 (方位) で示されているが b) では粒内部にグラデーションが現れており、変形によって各結晶粒内に方位差が生じたことがわかる。これに対応して方位差プロファイルにおいても a) では結晶粒界での方位差以外、粒内は平坦で方位差がほとんどないが、b) では粒内部のプロファイルが鋸歯状になっており細かい周期で方位変化があり、マルテンサイトが隣接するフェライトの方位差増大をもたらしていることがわかる。このような観察を通じてDP鋼の変形過程で生ずるフェライトの変形状態、およびそれにおよぼすマルテンサイトの影響を知ることができる。

第3図 DP鋼のEBSDによる変形前後の方位変化観察例^{*6)}

(a) 初期状態



(b) 26%引張変形後



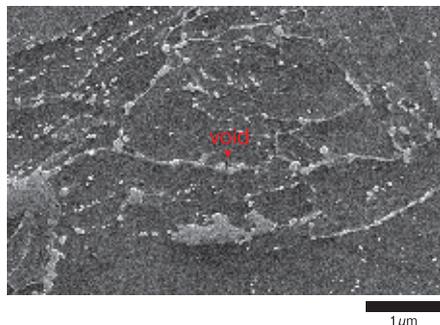
近年の高強度化の進展とともに焼戻しマルテンサイト組織を有する鋼板が注目されている。その場合焼戻しによって生ずるセメンタイトの分散状態を簡便に観察することが求められる。第4図にオーステナイトから焼入れ後600℃で焼戻した材料の引張変形後のボイド発生状況をFE-SEMにて20,000倍で観察した結果を示す。サブミクロンサイズ (約100nm) の微細なセメンタイトが粒界に多数析出しており、それを起点にボイドが発生している様子が観察される。この組織写真の場合微細な

参考文献

- *6) 大谷ほか: 鉄と鋼, Vol.95 (2009), p620

セメンタイト観察を目的としたため、腐食をピクラルで行っている。紙面の関係でこれより微細なセメンタイトを表現することはできないが、250℃程度の低温焼戻しで析出する針状微細セメンタイトも本手法で観察することができる。

第4図 焼戻しマルテンサイト中のセメンタイト分散状態および引張試験後のポイド発生状況



TRIP鋼においては残留オーステナイトの量あるいは分散状態の確認が重要である。残留オーステナイト量の測定は一般的にX線回折法により求められる。ある特定の領域、たとえば打ち抜き穴部の微小領域の残留オーステナイト量を測定することも求められるが、その場合にはビーム径を100 μm程度まで絞り込める微小X線回折装置を用いることにより可能となる。X線測定の場合、ある特定の測定面の情報しか検出できないが、飽和磁化法^{*7)}を用いれば3.6×4×30mmの領域全体の残留オーステナイト量を測定することができる。1mm程度の鋼板であればそれを積層して測定することにより、板厚全体の残留オーステナイト量の把握が可能となる。また残留オーステナイトの分散状態は第2図に示したようにSEM-EBSDで観察可能である。目的に応じて適切な解析手段を提供している。

参考文献

*7)
赤水ほか：
R&D神戸製鋼技報，
Vol.52 (2002) No.3,p43

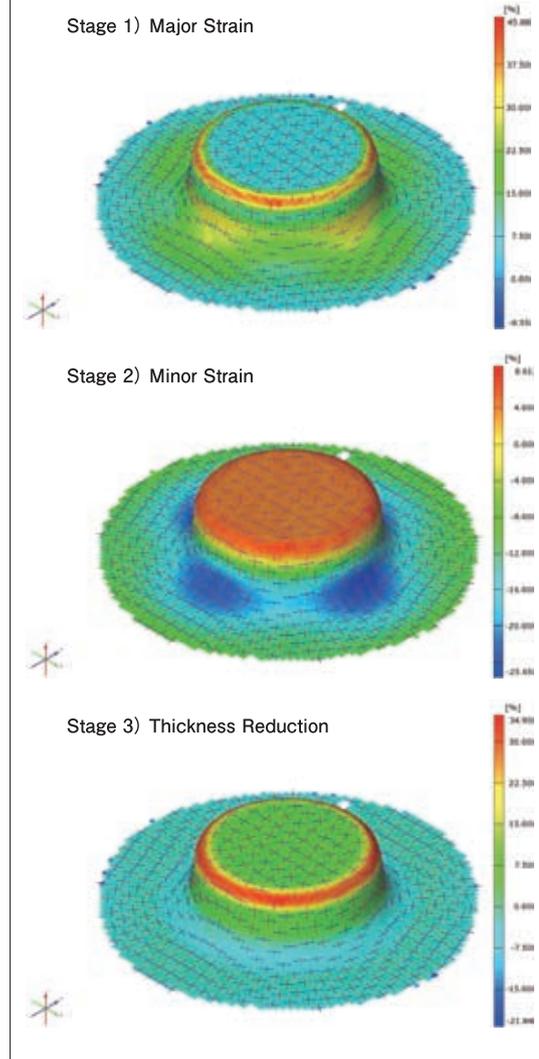
C-3 利用技術評価

3-1 成形性評価

自動車用鋼板を評価するうえでまず求められるのは成形性試験である。JISで規定されているエリクセン試験、コニカルカップ試験、曲げ試験、日本鉄鋼連盟規格で規定されている穴広げ試験に加え500kN小型プレス機による各種成形性評価、FLD (Forming Limit Diagram ; 破断限界曲線) の測定、10000kN大型プレスによる大型成形性評価を実施している。これらの評価の中では単なる成形高さなどの値だけでなく非接触プレス板金変形測定システム (商標名ARGUS) による詳細なひずみ分布測定も実施している。その一例を第5図に示す。0.8mmピッチのドットパターンをカメラで取り込むことによりプレス品全体にわたるひずみ分布、板厚分布を表示することができ、危険部位の予測やその対応策を的確に提供することができる。

ホットスタンプ技術が1470MPa級の超ハイテン部品に適用されつつあることを先に述べた。この技術では当然のことながら冷間プレスと異なり、プレスが高温のオーステナイト状態で行われること、型内での冷却条件によっては目的とするマルテンサイト組織がえられないことなどから、従来の知見では解決できない問題が発生する。またシミュレーションに不可欠な過冷オーステナイト域での応力-ひずみ曲線、マルテンサイト変態塑性量、型-鋼板間の熱伝達係数、鋼板の熱膨張-収縮挙動の把握などが必要である。これらの最近クローズアップされてきた課題に関しても積極的な取り組みを展開しているところである。

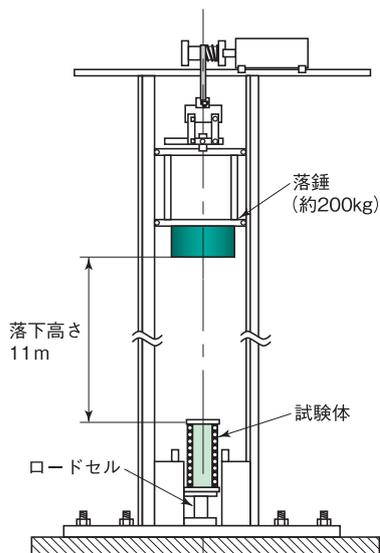
第5図 ARGUSによるプレス部品ひずみ分布、板厚分布測定例



3-2 高速衝撃試験

ハイテンは自動車骨格部材に使用され、フロントサイドレールのように高いエネルギー吸収能をとくに求められるもの、Bピラーのように衝突から乗員を保護することが求められるものがある。これらの評価には衝突時に生ずる衝撃吸収エネルギーや変形特性を求めることが必要である。そのためには試験片レベルでの高速引張試験から実部品の高速圧壊試験まで目的に応じて実施されている。試験片レベルの高速引張試験機には油圧サーボ式試験機、ホプキンソンバー試験機、ワンバー試験機、検量台式試験機などがある。また部品圧壊試験機には各種各様の試験機が考案されているが、その一例として第6図に50 km/hの衝突速度で200kgのウェイトを試験体に衝突させる高速衝撃試験機概要を示す。高速度カメラによる試験体の変形状況、ロードセルによる変形荷重の測定、圧壊エネルギーの測定を実施している。

第6図 高速圧壊試験機概要および外観



3-3 遅れ破壊評価

遅れ破壊の問題はハイテンボルトで顕在化し、ボルトでの評価方法の検討が先行した。その後薄板でも980MPa級を超えるハイテンが使用されるようになり、遅れ破壊の問題が注目されるようになってきた。遅れ破壊の評価方法には統一的方法が確定されていないため、各鉄鋼会社、自動車会社でそれぞれ独自の考え方、方法で評価しているのが現状である。

薄板の遅れ破壊はプレス加工により導入されるひずみ、付加される応力、侵入水素量の3点の要素が関係するため、これらを考慮した試験を行う必要がある。評価したい部品そのものを、実際に使用される環境下で評価するのが一番近い方法であるが、現実的には不可能であり、部品を模擬し、促進環境試験条件のもとで評価されるのが一般的である。たとえば曲げ加工によりその部品のもっとも厳しい加工部分に近い加工を行い、部品締結時にかかる応力を模擬した応力を付与し、水素を希薄HC1溶液中、あるいは陰極チャージ法にて導入して試験する。

遅れ破壊の評価は実際の部品形状、環境をできるだけ模擬したマクロ的な試験と、その違いを解析するための学術的な評価の組み合わせにより総合的に判断すべきものと考えている。コベルコ科研ではどのような試験方法にも対応できる試験設備を備えていると同時に、API-MS (Atmospheric Pressure Ionization-Mass Spectrometer) による拡散性、非拡散性水素量測定、破断試験片破面のSEM観察による総合的評価を実施している。

3-4 溶接性、疲労特性

自動車部品の接合には点溶接、アーク溶接、レーザー溶接が用いられている。ハイテン材使用にあたってはC量や各種合金元素量が高いため溶接不良が生じやすい。またマルテンサイト等の組織で強化した鋼板では熱影響部で軟化し、軟化部を起点にした破断や、疲労特性の低下が生じる場合がある。これらの状況を把握するため、溶接試験、強度試験、疲労試験など一連の試験評価を実施している。

最近の自動車用ハイテンの概要と、それを評価するための技術を紹介した。材料、加工技術とも日進月歩であり、当社に課せられる評価技術も常に最新の設備、技術の高度化が求められている。ユーザー各位からのご要望がこれらの技術展開を進めるためのもっとも大きな力であると考えているので、よろしくお願ひしたい。