

# 実用化が進む 自動車用超ハイテン材



軽量化と衝突安全性の向上の多様なニーズに対応するため、自動車用鋼板は進化を続けてきた。いわゆる「ハイテン（高張力鋼）材」がこれまでも自動車ボディに使用されてきたが、近年、従来よりもさらに高強度かつ成形性に優れたハイテン材が開発されている。これにより、従来はハイテン材の適用が難しかった複雑な形状の部品にもハイテン材が使用されはじめている。

2013年から北米で発売される「Infiniti Q50」には、1.2GPa級の高成形性超ハイテン材が使用されている。  
（資料提供：日産自動車（株））

## 用途に応じて使い分ける自動車用ハイテン材

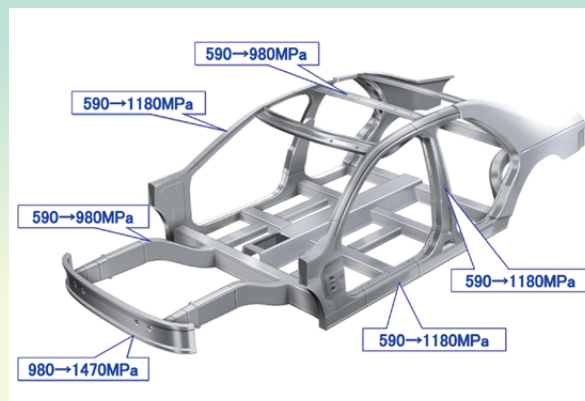
高い安全性が求められる自動車のボディの骨格構造は、衝突安全性を考慮した3つの部分から構成されている。ボディ前方は前面衝突時の衝撃を軸圧壊することで衝撃を吸収する構造とそれに適した高延性・高エネルギー吸収の440～590MPa級のハイテン材が用いられる。側面は曲げ圧壊することで衝撃を吸収するが、曲げて潰れることでエネルギーを吸収する側面下部には590～780MPa級ハイテン材が使用される。また、側面上部は搭乗者を守るために曲げて潰れない部位で、センターピラー、フロントピラー、ルーフレール等には、高変形抵抗と高剛性を持つ780～980MPa級ハイテンが用いられる（図1）。その一方で、自動車ボディには燃費向上などのために、軽量化が求められている。

このような軽量化と衝突安全性の向上を同時に満足させるために、自動車材料ではハイテン材の使用量が増加している。当初はバンパーやドアインパクトビームなど、ハイテン材の使用箇所は限られていたが、近年はセンターピラーなどの複雑な形状を持つ部材などへと、ハイテン材の適用箇所は増加する傾向にある。また、それぞれの部位で使用されるハイテン材の高

強度化が進んでいる。

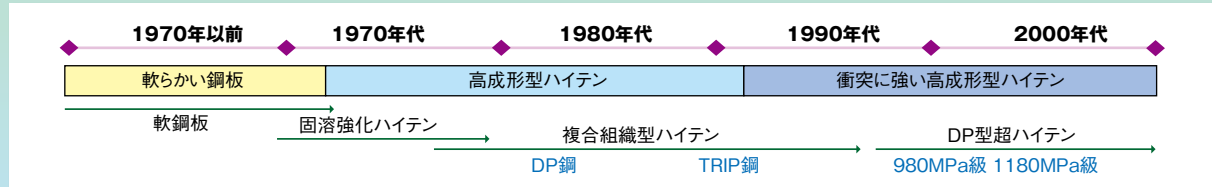
自動車部品としてハイテン材を使用する際の加工方法には、高強度の材料を成形して使用する冷間プレス成形と、加熱した材料を成形するホットスタンプ（熱間プレス）成形の2つの方法がある。ホットスタンプ成形とは、オーステナイト域の温度に加熱したボロン鋼をプレス成形と同時に焼入れを行う成形技術であり、金型内で工作物を冷却することからダイクエンチ（die quench）とも呼ばれている。

■ 自動車におけるハイテン材の使用箇所と強度の向上（図1）



（資料提供：（株）神戸製鋼所）

## ハイトン材開発の流れ



自動車用ハイトン材は、1970年代から開発が開始されている。当初は、MnやSiを添加した固溶強化型のハイトン材であったが、その後、組織中に析出物を分散させる分散強化(析出強化)と冷却制御による組織強化や靱性を高める結晶粒微細化強化などを組み合わせた複合組織型ハイトン材が開発された。硬い結晶組織と柔らかい結晶組織を分散させる複合組織を持つDP (Dual Phase) 鋼は

マルテンサイト相で強度を確保し、フェライト相で成形性を持たせることにより強度と成形性の両立を目指したものである。さらに、冷却制御により未変態のオーステナイトを残留させ、軟質のオーステナイトを成形加工中にマルテンサイトへ変態させることにより成形性の向上が実現できるTRIP (Transformation Induced Plasticity) 鋼も開発された。

ハイトン材は難加工材料であり、プレス加工では形状凍結性の確保(図2)が課題である。また、ハイトン材は、強度が向上するほど成形性が低下する性質をもっている。そのため、複雑な形状に成形する必要がある自動車の骨格部品への適用は、これまで高成形性を保つことができる引張強度980MPa級の鋼材にとどまっていた。しかし最近になって、成形性の大幅な向上を実現したハイトンが開発されたことから、自動車材料において、従来よりも高強度のハイトン材の実用化が進んでいる。

## 高成形性超ハイトン材の開発

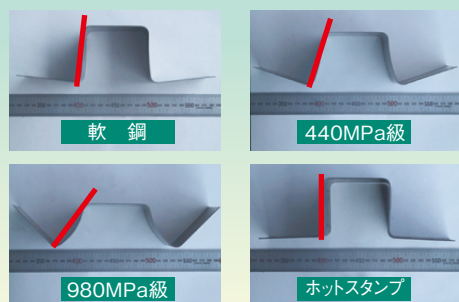
一般的に引張強度が340MPa以上の冷延鋼板、490MPa以上の熱延鋼板をハイトン材と呼ぶ。1970年代から冷間プレス成形が可能なハイトン材の開発が開始され、硬い結晶組織と柔らかい結晶組織を分散させた複合組織によって、求められる強度と成形性を両立させている(図3)。1990年代に開発

され、現在実用化されている980MPa級のいわゆる「超ハイトン材」も同様のコンセプトで設計された材料である。

このような複合組織の考え方を基本にして、従来のハイトン材を超える強度と成形性を有する材料の開発は現在も進められており、新しい成分設計と熱処理プロセスを用いることによって、冷間プレスが可能な引張強度1.2GPa級の超ハイトン材が開発されている。この超ハイトン材は、2013年に日産自動車(株)が北米で発売する「Infiniti Q50」のセンターピラーやフロントピラー等に採用されている。この車種では、780MPa以上の超ハイトン材の採用比率は9%であるが、同社では、1.2GPa級を含む超ハイトン材の採用比率を2017年以降に25%まで増大させることを発表している。さらに、車体構造の合理化と合わせることで、車体重量の15%の軽量化が実現可能になると見込まれている。

組織制御のアプローチとしては、水焼入れ方式と呼ばれるプロセスも用いられている(図4)。これは、水冷による急速焼入れと、その後の焼戻しの温度と時間を厳密にコントロールする

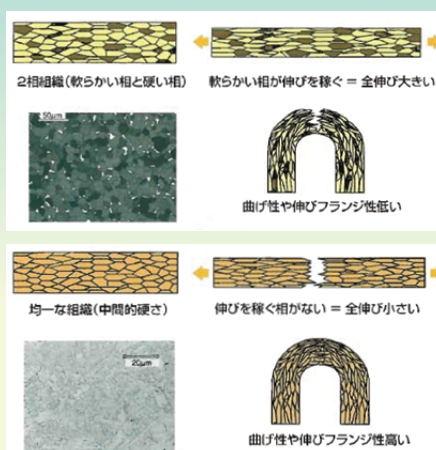
### ■ 材料の強度と形状凍結性の例(図2)



軟鋼、440MPa級、980MPa級のハイトン材の冷間プレスと、ホットスタンプによる形状凍結性を比較したデモ試験。実際の自動車部材の製造時には、種々の対策を講じてスプリングバックが低減されている。

(資料提供:新日鐵住金(株))

### ■ 成形性に応じたマイクロ組織制御の考え方(図3)



高強度と成形性(延性)を両立させるために、軟らかい組織の中に固い組織を分散させる複合組織化という手法が用いられている。局部的に大きな変形が必要なフランジ成形性や曲げ性が要求される、骨格構造材やシャシー系部材では、変形の集中を避ける事ができる均一な組織が適している。

(資料提供:新日鐵住金(株))

ことで、用途に応じた組織を持ったハイテン材を作り出すプロセスである。このプロセスを用いることで、同一の成分でも曲げ成形に適した組織や絞り成形に適した組織などを作り分けることが可能になる。このプロセスでは、低合金でありながらハイテン材を製造することが可能であるために、溶接性向上、コスト低減も同時に実現している。また、1180MPa以上のハイテン材は対策が必要とされる遅れ破壊の抑制効果も要求されている。遅れ破壊は、応力、ひずみ、侵入水素量の3つの条件がそろふことにより発生する水素脆化による破壊であり、超ハイテン材の実用化・使用拡大にあたり、その対策が求められている。

自動車部品の製造過程では、例えばパネルの成形では深絞り成形性や張り出し成形性、骨格構造部材では伸びフランジ成形性や曲げ性、など要求される加工特性が異なる。さらに、張り出し成形に有効な延性や、伸びフランジ成形や曲げ成形に有効な局部延性などの加工特性は、部品の使用箇所だけでなく、成形工程によっても異なってくる。現在、自動車で使用されているハイテン材は、使用箇所だけでなく加工工程までを考慮して、最適化された組織を持つハイテン材が提供されている。

### 実用化に不可欠な周辺技術の開発

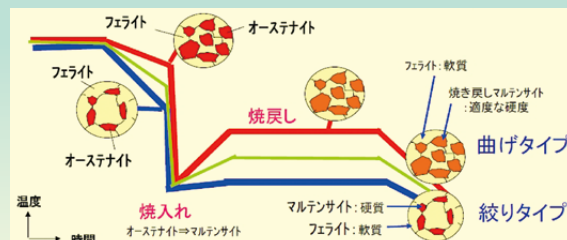
ハイテン材を実用化するためには、成形性の高い材料の開発に加えて、冷間プレスなどの成形技術やスポット溶接をはじめとした接合技術などの周辺技術の進化が必要不可欠である。

一般的に、国内の自動車メーカーでは冷間プレス成形に適したハイテン材、海外の自動車メーカーではホットスタンプ成形に適したハイテン材が多く使用されている。日本で冷間プレス成形が主流を占めている理由としては、優れたプレス技術を有すること、エネルギーコストが高いことが背景にある。ホットスタンプは金型内でワークの冷却に時間が必要なために、生産性が冷間プレスより劣る点も指摘されている。

しかし、ハイテン材の高強度化に伴い、冷間プレス加工そのものが難しくなるために、高成形性の材料開発と同時に、プレス技術の開発も行われている。従来、高強度材料のスプリングバック対策としては、板厚方向に圧力をかける「決め押し」や、しわ押さえ力を加えない「フォーム成形」等が用いられてきた。また、スプリングバック後の形状が製品形状となるように金型を調整する「見込み」という手法もあるが、これは熟練した金型技術者でもなかなか難しいという課題があった。

近年、ハイテン材をプレス加工するための金型の設計には、CAE (Computer Aided Engineering) 解析が活用されている(図5)。従来までの金型の製作には、トライ工程による金型形状の修正が不可欠であったが、CAE解析を利用することで、

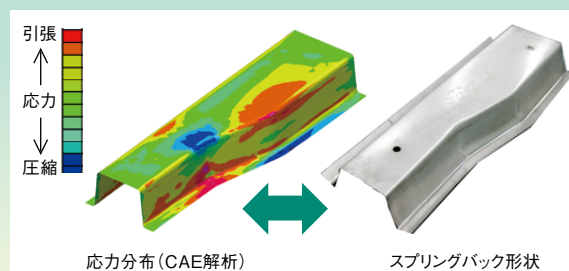
■ 水焼入れ方式によるマイクロ組織の制御(図4)



水焼入れプロセスでは、焼入れ・焼戻しの温度をコントロールすることで、同一成分の原料鋼材から、必要な特性を持ったハイテン材を製造することができる。

(資料提供: (株) 神戸製鋼所)

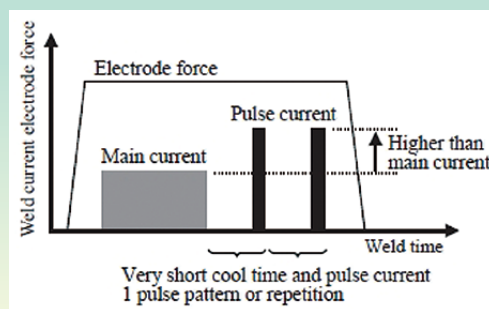
■ CAE解析の例(図5)



CAE解析により、ワーク(工作物)の歪みや残留応力のシミュレーションを行える。金型技術者の持つノウハウと合わせることで、従来よりも短納期の金型製作が可能になった。

(資料提供: 新日鐵住金(株))

■ パルススポット溶接の通電パターンの例(図6)



本通電の後に冷却、大電流を極短時間だけ通電することで、ナゲットの周辺部を再加熱することができる。

(資料提供: JFEスチール(株))

金型の修正回数をできるかぎり少なくし、金型製作の効率化、短納期化によるコスト削減が進んでいる。

ハイテン材の実用化において、もう1つの重要な周辺技術分野が接合技術、特に溶接技術である。材料側からの溶接性の改善も重要であるが、高強度材を使用する際に問題になる継手強度の確保が大きな課題の1つである。

## 剛性を確保できる超ハイテン鋼管

自動車用ハイテン材は、プレス部品の他に、鋼管としても使用されている。材料の強度は組成や熱処理工程などにより向上させることが可能であるが、基本的な物性である剛性は材料によってほぼ決定され、剛性を確保するためには、部材の形状を閉断面構造とするなどの工夫が必要になる。プレス部品で閉断面構造を実現するためには、スポット溶接などが必要になるが、溶接用のフランジが不要な鋼管を使用することで軽量化も同時に実現できる。超ハイテン鋼管の製造技術の例を紹介する。

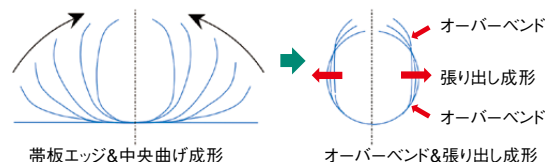
### ■冷間ロール成形プロセス

鋼管の曲げ成形、ハイドロフォーミングなどの二次加工性能に優れたハイテン鋼管を製造する方法として、張り出し成形曲げ方式と複数の小型ロール(ケージロール)により連続的に成形するケージロール方式を採用した冷間ロール成形プロセスが開発されている。980MPa級の成形性に優れた超ハイテン鋼管が開発されており、フロントピラーリンフォースメントで実用化されている。

### ■3次元熱間曲げ焼入れプロセス

3次元熱間曲げ焼入れプロセスは、鋼管を局部的に加熱しながら水冷によって焼入れを行い、同時にロボットにより曲げモーメントを与えることで、複雑な形状の閉断面構造部材を一工程で製造するプロセスである。この技術は、超ハイテン鋼管の量産と同時に、設備のコンパクト化と低コスト化への貢献も期待されている。

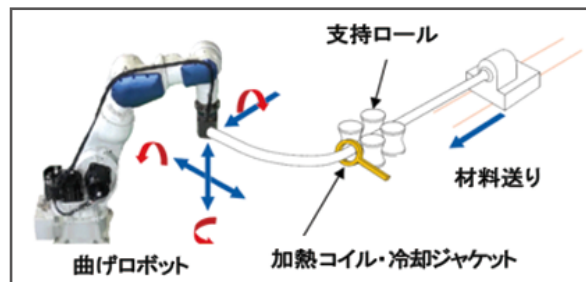
#### 冷間ロール成形における張り出し曲げ成形



ケージロール成形域における帯板の成形状態

(資料提供:JFEスチール(株))

#### 3次元熱間曲げ焼入れプロセスの概略図



3次元熱間曲げ焼入れ装置

(資料提供:新日鐵住金(株))

スポット溶接における熱影響部への対策としては、溶接部を冷却した後、焼戻しを行う、テンパー通電と呼ばれる溶接法がよく知られている。しかし、テンパー通電は、冷却時間とテンパー通電時間が必要のため、生産性に課題があった。これを改善するために、近年、パルススポット溶接と呼ばれる溶接方法が開発され、実用化されている。パルススポット溶接では、本通電、冷却の後に、極短時間だけ大電流を通電することが特徴である(図6)。本通電により生じた熱影響部に再度、大電流を極短時間だけ通電することによって、熱影響部の外周部

を選択的に再加熱し、焼戻すことが可能になり、十分な溶接継手強度を得ることが可能になる。

今後は、電気自動車の普及が期待されているが、動力源にかかわらず、自動車の燃費と衝突安全性上の向上は引き続き追求していくべき課題である。これらの社会的な要請に応えることのできる超ハイテン材にかかる期待は大きい。

●取材協力 日産自動車(株)、新日鐵住金(株)、JFEスチール(株)、(株)神戸製鋼所  
●文 石田 亮一