

塗装焼付け処理により引張強度が上昇する 新高強度熱間圧延鋼板「BHT 鋼板」*

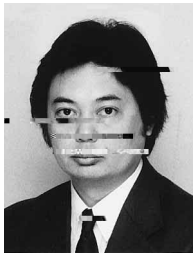
A



金子 真次郎

S Ka e

技術研究所
薄板研究部門
主任研究員(主席掛長)



平本 治郎

J H a

技術研究所
加工技術開発センター
主任研究員(課長)



石川 孝

T a a I a a

千葉製鉄所
商品技術部薄板室
主査(課長)

要旨

歪み時効硬化を活用することにより、著しい引張強度の上昇を示す新しいタイプの高強度熱間圧延鋼板（BHT 鋼板）を開発した。開発鋼板は成形時には低強度で加工性に優れ、塗装焼付け処理後には大きな強度上昇を示すため衝突吸収エネルギーや疲労特性を著しく向上させることができる。熱間圧延プロセスにおいて固溶N量の適正化および結晶粒の微細化を施すことにより、高い歪み時効硬化能と耐常温時効性を両立させている。本鋼板を自動車の構造部材に適用することにより、プレス成形性を損なうことなく自動車の耐衝突特性や耐久性の向上が可能であり、車体の軽量化にも寄与することができる。

Abstract text (partially obscured by noise)

1 緒 言

近年、自動車の衝突安全規制の強化や衝突試験結果の情報公開の開始にともなって、自動車メーカー各社において耐衝突特性に優れた車体構造の開発が行なわれている。これらの車体構造では板厚の上昇や補強部材の増加などに起因して車体重量は増加傾向にある¹⁾。一方では、環境問題の観点から CO₂ の排出規制が強化されており、燃費向上を目的とした車体軽量化の要求がある²⁻⁴⁾。これらの課題に対して、部材の強度上昇と板厚低減による軽量化が可能であることから、車体構造部品への高強度鋼板の適用が検討されている⁵⁻⁸⁾。しかし、一般に鋼板強度の上昇とともに成形性は低下するため⁹⁻¹¹⁾、強度と成形性を兼ね備えた鋼板の開発が強く望まれている。

当社は、熱間圧延後の高精度の冷却制御により、鋼中の固溶N量を適正に調整するとともに結晶粒径の微細化を施すことにより、成形時には低強度で加工性に優れ、塗装焼付け処理後には大きな強度上昇を示し、かつ耐常温時効性の良好な熱間圧延鋼板を開発した¹²⁻¹⁶⁾。開発鋼板の歪み時効処理後の応力-歪み線図を従来のBH鋼板¹⁷⁻¹⁹⁾と比較して、図1に模式的に示す。従来のBH鋼板では塗装焼付け処理により降伏強度が上昇するが、塑性変形領域での変形

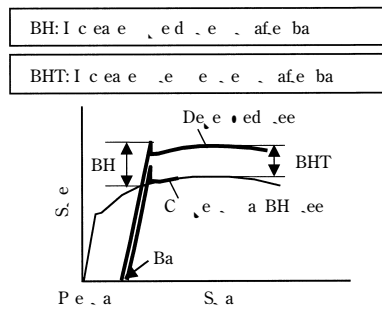


Fig. 1 Stress-strain curves of BH and BHT steel

応力は原板と同等になってしまう。このため従来のBH鋼板は耐デント性が必要な自動車の外板への適用のみに限定されていた。一方、開発鋼板は歪み時効処理を施すことにより従来のBH鋼板を上回る著しい降伏強度の上昇を示すとともに、引張強度も上昇することが大きな特長である。したがって本開発鋼板では耐衝突特性や疲労特性が必要な自動車の構造部材への適用が可能となっている。

本報では、開発鋼板の種々の材料特性について紹介するとともに、自動車車体への開発鋼板の適用について検討した結果を述べる。

* 平成14年7月22日原稿受付

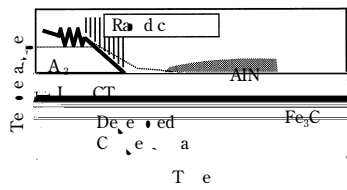
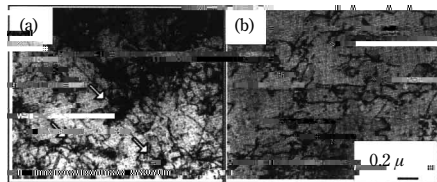


Fig. 2 Schematic diagram of the hot rolling process



(a) 10% pre-strain, 170°C, 20 min, 4.5% strain
(b) 14.5% strain

Fig. 3 TEM observation of dislocation density after pre-strain and annealing

2 開発鋼板の製造原理と引張強度上昇機構

本開発鋼板は、C に比較して熱間圧延温度域での固溶度の大きい N を利用して高い歪み時効硬化能を実現している。開発鋼板の熱間圧延プロセスの模式図を Fig. 2 に示す。鋼板中の固溶 N を確保するため、熱間圧延後の冷却条件を制御して AN の析出を抑制している。さらに室温時効劣化を抑制するため、熱間圧延後に急速冷却を施すことにより結晶粒径を微細化して、固溶 N を安定な存在位置である結晶粒界へ偏析させている。このようにして、高い歪み時効硬化能と室温時効性を両立させている。

著者らは、開発鋼板の塗装焼付け処理による引張強度の上昇機構を明らかにするため、以下の検討を行った。Fig. 1 に、開発鋼板の引張試験後の転位下部組織におよぼす塗装焼付け処理の影響を示す。Fig. 1 (a) は、10% の予歪み付与後、塗装焼付け処理を施し、さらに 4.5% の歪みを付与したときの TEM 観察結果であり、Fig. 1 (b) は、塗装焼付け処理を施さず 14.5% まで変形させた場合である。塗装焼付け処理をした材料には、図中に矢印で示すように転位ループや転位のタングリングが明瞭に観察され、塗装焼付け処理をしていない場合と比較して転位密度が増加していることが分かる。これは、予歪みにより導入された転位が、塗装焼付け処理時に強固に固着されたため、塗装焼付け後の塑性変形時に、転位の増殖が促進されたためであると考えられる。転位の増殖に必要な外力は、転位が転位源に強くかつ密に固着されるほど大きく、また、転位が増殖した転位群の中を運動するのに必要な外力は、転位密度が高いほど大きい。これらの作用により、塑性変形時の応力が高くなるため引張強度が上昇したと考えられる。予歪み付与後に時効処理を施した段階で、転位上に微細な析出物が存在しているのが確認された。転位のタングリング領域では、これらの析出物が転位の固着、増殖源として存在していると推定される。

転位密度の増加により X 線回折半価幅が大きくなることから、塗装焼付け処理の有無による X 線回折半価幅の変化を測定することで、この現象を検証した。なお、X 線回折半価幅は、(222) ピーク半価幅を測定し、無加工材に対する半価幅の増加率 (d/d) で評価した。X 線回折半価幅におよぼす塗装焼付け処理の影響を Fig. 3 に示す。塗装焼付け処理を施すことにより、X 線回折ピークの半価

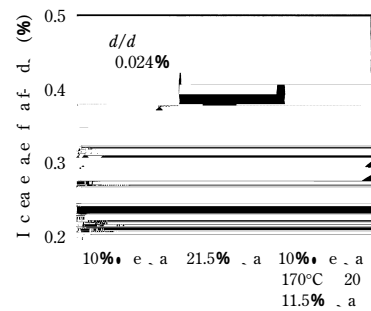


Fig. 3 Effect of annealing on the increase rate of (222) peak half-width

幅が大きくなり、塗装焼付け処理による転位密度の増加が示唆された。

3 開発鋼板の諸特性

開発鋼板の自動車の構造部品への適用に対する基礎的な機能評価を目的として歪み時効硬化特性、成形性、高速変形特性、疲労特性、常温時効性について調査した。

3.1 供試鋼

実機において製造された TS440MPa 級の開発鋼板を供試鋼として各試験に用いた。その機械的性質の一例を Table 1 に示す。

3.2 歪み時効硬化特性

板厚 1.4 mm の開発鋼板から圧延方向に平行に JIS5 号引張試験片を採取し、引張試験に供した。一軸引張により 0~15% の予歪みを付与した後、オイルバスにて 170°C、20 分の焼付け相当処理を施し、再度引張試験を行なった。このときの BH 量、BHT 量を測定し歪み時効特性を調査した。BH 量、BHT 量の定義は Fig. 4 に示す通りであり、BH 量は焼付け相当処理後の再引張試験時の降伏応力から予歪み付与時の応力を差し引いたものである。BHT 量は焼付け相当処理後の再引張試験時の引張応力から原板の引張応力を差し引いたものである。開発鋼板の BH 量および BHT 量に及ぼす予歪み量の影響を従来鋼板と比較して Fig. 4 に示す。従来鋼板の BH

Table 1 Mechanical properties of the developed steel (t = 1.4 mm)

| YS (MPa) | TS (MPa) | E (%) | BH* (MPa) | BHT** (MPa) |
|----------|----------|-------|-----------|-------------|
| 370 | 478 | 34 | 95 | 57 |

*Increase rate of yield strength after annealing (2% pre-strain, 170°C, 20 min)

**Increase rate of tensile strength after annealing (10% pre-strain, 170°C, 20 min)

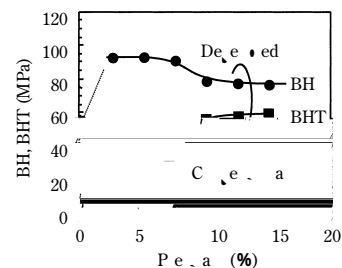


Fig. 4 Effect of pre-strain on BH and BHT of the developed steel

以上の結果は、耐衝突部品に対して開発鋼板の適用が有効であることを示すものである。

3.6 常温時効性

開発鋼板について伸び率 1.5% のスキンパス圧延を施した後、室温に放置し、約 3 ヶ月間隔で通年にわたり引張試験を実施し、機械的特性の経時変化を調査した。

開発鋼板の室温保持による機械的性質の変化を従来鋼板と比較して、図 3.6 に示す。1 年間保持した場合でも、TS の変化はほとんどなく、YS の上昇は約 30 MPa、E の低下は高々 2% 程度と特性変化は極めて小さい。

歪み時効硬化を活用した鋼板では、常温における特性の劣化が問

5 結 言

新しく開発した歪み時効活用型高強度熱間圧延鋼板（BHT 鋼板）を用いて種々の材料特性の調査および機能解析の結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 開発鋼板における引張強度の上昇は、予歪み時に導入された転位が塗装焼付け処理により強固に固着され、塗装焼付け後の塑性変形時に転位の増殖が促進され、転位が転位群の中を運動するのに必要な外力が上昇したためと考えられる。
- (2) 開発鋼板では、10% 以上の予歪みを付与後、焼付け相当処理を施すことにより、80 MPa 以上の降伏強度の上昇、約 60 MPa の引張強度の上昇を示す。
- (3) 開発鋼板における引張強度上昇効果により、疲労特性が向上するとともに、高速変形時の吸収エネルギーが増加する。
- (4) 開発鋼板は原板 TS レベルが同一の従来鋼板と同等の成形性を有する。
- (5) 開発鋼板では 1 年間の室温保持での YS の上昇は約 30 MPa、E の低下は高々 2% 程度と常温時効劣化は極めて小さい。
- (6) 開発鋼板の衝突特性に対する歪み時効硬化の寄与は板厚では約 0.1 に、TS では 60～70 MPa に相当し、板厚低減による軽量化、あるいは難成形部品に対する成形性確保（強度レベルダウン）などへ寄与する。

本開発鋼板は自動車に要求されている安全性、環境問題に対して大きく貢献するものと期待される。

を歪位 60 まで積分することにより求めた。いずれの板厚の場合においても、従来鋼板および開発鋼板の吸収エネルギーと原板の TS とは正の相関を示す。しかし、その絶対値は開発鋼板の方が従来鋼板に比べて高い値を示す。高速変形特性から予測されたように、開発鋼板では歪み時効硬化による強度上昇の寄与があるためである。この歪み時効硬化による寄与は、原板の TS 上昇量に換算すると約 60 MPa に相当し、通常の引張試験により測定される強度上昇 (BHT) が同様の効果として現れている。また、歪み時効硬化による寄与を板厚に換算すると約 0.1、重量で 7% の軽量化に相当した。

以上の結果から、開発鋼板を適用することにより車体重量を増加させることなく耐衝突特性の向上、あるいは耐衝突特性を維持したまま車体の軽量化が可能となることが明らかとなった。