

高バーリング 780 MPa 級熱延鋼板の開発

岡本 力¹⁾ 麻生 敏光²⁾
 岡田 浩幸²⁾

1. 緒 言

地球環境保護の観点から自動車に対する燃費向上と CO₂ 排出量削減の要求が益々強くなっている。これに応えるべく、ガソリンカーにおけるアイドリングストップ技術やハイブリッドカー、電気自動車など動力源システム技術が加速的に進化し、まさに、自動車は技術変化の過渡期にあるといえる。これに伴い、どのシステムにおいても、その効果を底上げする⁽¹⁾車体重量の軽減に対するニーズはますます強まっている。これまで、自動車用冷延鋼板においては高成形性 980 MPa 級鋼板を開発され⁽²⁾、自動車骨格部位で適用がすすめられている。

一方で、自動車用熱延鋼板はシャシーなど比較的板厚が厚い部品に用いられ、自動車車体総重量の25%程度を占めている。これらの部品は重要保安部品であるため、その形状がパネル部品などに比べ複雑であり、高強度鋼板適用による薄肉化が遅れている。すなわち、自動車用熱延鋼板は今なお軽量化に対し高いポテンシャルを持っており、大きな軽量化効果が期待できる。

今後、これらの部品への高強度熱延鋼板の適用が加速すると予想され、加工性や疲労強度等に優れた高強度熱延鋼板の開発が強く望まれる。本報では、これに対応すべく開発し、大きな実績をあげている高バーリング 780 MPa 級熱延鋼板の鋼板設計の考え方、特性、適用事例について述べる。

2. 高バーリング 780 MPa 級熱延鋼板の開発

(1) 780 MPa 級熱延鋼板の課題

自動車の足廻り部品の中でロアアーム等では、これまで 590 MPa 級熱延鋼板が主流であったが、近年、車体重量の低減のため 780 MPa 化が進んでいる。この部材は、製品形状から、伸びと同時に非常に高い穴拡げ性を持つ鋼板が要求される(図 1)。しかし、伸び、穴拡げ性とも強度の上昇に伴い劣化する特性であること⁽³⁾⁽⁴⁾に加え、後述するように、伸びと穴拡げ性は相反する特性であることが知られており⁽⁵⁾、これらを高次で両立するためには、新たな技術指針が必要であった。本開発では、熱延の加工に適した強化機構の構成を再考し、780 MPa 級の引張強度を持ちつつ、伸び El > 20% と穴拡げ性 λ > 80% を同時に満足する鋼板開発を目的とした。

(2) 対策の考え方

一般的に伸びと穴拡げ性は金属組織を制御することで改善することが可能である⁽⁶⁾。しかし、図 2 に示すように伸び向上に適した軟質フェライト(F)と硬質相(マルテンサイト(M)等)との混合組織は穴拡げ性が低く、局所的な延性が支配的な穴拡げ性の向上に適したアシキュラーフェライト(A.F.)単相組織は伸びが劣る。これは、組織の均一性の寄

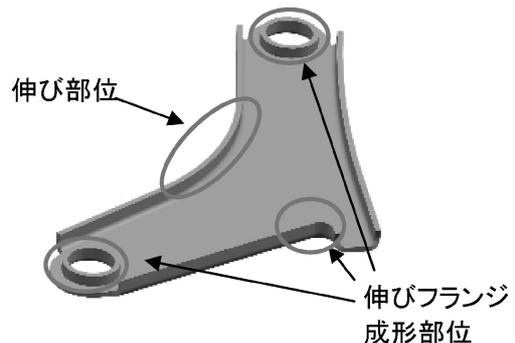


図 1 ロアアームの外観と要求される加工性。

* 新日本製鐵株式会社
 技術開発本部 1) 広畑技術研究部主任研究員
 名古屋製鐵所 2) 品質管理部マネージャー
 Development of Hot-rolled 780 MPa Class Steel Sheet with Excellent Hall-expansion Ratio; Riki Okamoto, Toshimitsu Asou, Hiroyuki Okada (Nippon Steel Corporation)
 2011年11月8日受理

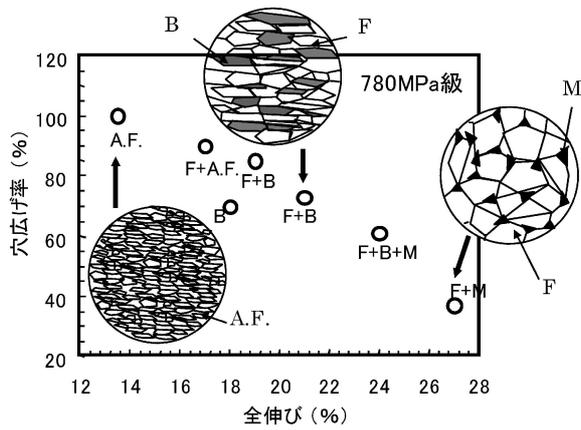


図2 780 MPa 級熱延鋼板の伸びと穴広げ性の関係および金属組織の特徴.

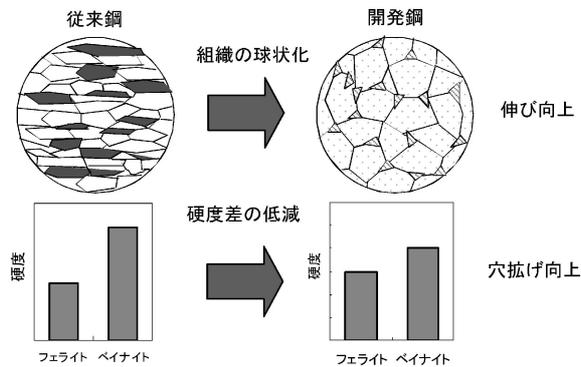


図3 高バーリング 780 MPa 級熱延鋼板の開発指針.

与に起因するものである。すなわち、伸び特性においては、強度と延性をそれぞれ、硬質相、軟質相が担保することで全体として高いレベルで強度と伸びが両立できるのに対し、穴広げ性は、硬質相と軟質相の相境界で割れに繋がるポイドが発生するため⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾、組織の均質化により改善する。このことから、従来の相の組み合わせ主体の組織制御の考え方ではこの両立は不可能であった。

そこで、従来の相の組み合わせを主体とした組織制御に各相の特性(硬さ)を制御するという概念を加えた。すなわち、相間の硬度差を少なくしたフェライト(F, 軟質相)とベイナイト(B, 硬質相)の混合組織とすることが有効であると考えた。これを実現するため、成分設計および熱延条件において下記の金属組織制御を行う。①成分系としてオーステナイトフォーマーのC, Mnを低減し、更にROT(仕上げ熱延後の冷却ゾーン)で十分な量のフェライトの相分率と組織形状の球状化を達成、②Ti, Nbを添加し、これらの炭窒化物を析出させることでフェライト相の強度を上昇させ、③低C化によりベイナイトの硬度を低減させる(図3)。

(3) 高バーリング 780 MPa 級熱延鋼板の材料特性

上記の指針に基づいて、高バーリング 780 MPa 級熱延鋼板の実機試作を行った。

表1 開発鋼と従来鋼の機械的性質.

	Ar3(°C)	ROT 2 段冷却	TS(MPa)	El(%)	λ (%)
開発鋼	789	有り	794	21	96
従来鋼	736	無し	795	74	

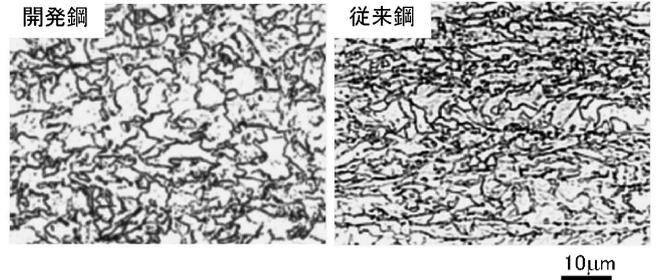


図4 開発鋼と従来鋼の金属組織.

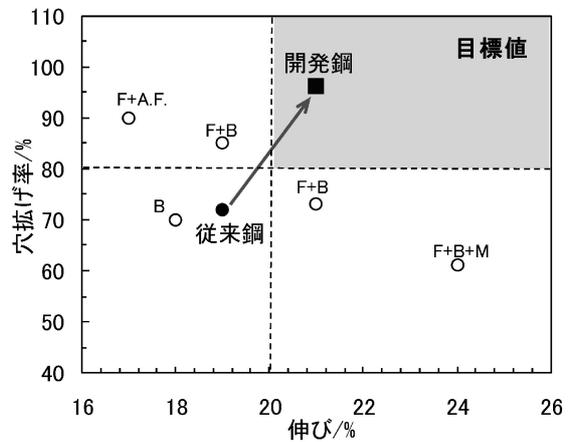


図5 開発鋼の伸び-穴広げ性バランス.

(a) ミクロ組織と成形性

表1に今回開発された高バーリング熱延鋼板の機械的性質を従来鋼と比較して示す。C, Mnの低減により開発鋼ではAr3点⁽¹⁰⁾が53°C上昇しており、成分においてフェライト生成が促進されていることに加え、Mnの低下は casting時のMn偏析を抑制できるため、ミクロ組織の均一性を高める上でも有効に作用する。図4に開発鋼のミクロ組織例を従来鋼と比較して示す。開発鋼はフェライト+ベイナイトの混合組織で、従来鋼に比べフェライト分率も高く、個々の結晶粒の形状がよりポリゴナルになっていることが分かる。また、設計通りの強度が得られていることから、Ti, Nbの炭窒化物が微細に析出し、フェライト相とベイナイト相の硬度差は十分少なくできていると考えられる。その結果、図5に示すように今回の目標値(El>20%, λ >80%)を満たす高い延性と穴広げ性のバランスが確保できた。

(b) 疲労特性

図6に開発鋼と既存の780 MPa 級高バーリング鋼板、440 MPa 級鋼板の疲労特性を比較して示した。応力比-1で実行した平面曲げ疲労試験結果から、10⁷回での疲労寿命と

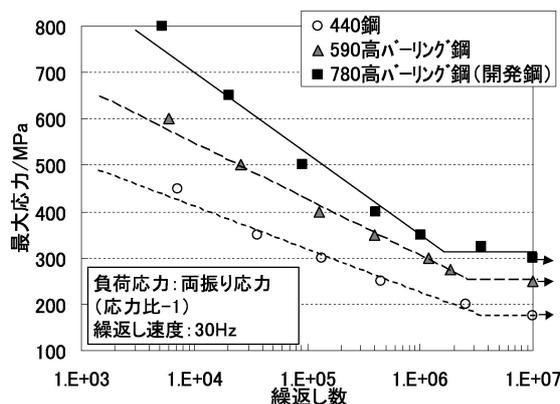


図6 開発鋼の母材平面曲げ疲労特性.

表2 開発鋼の疲労限度比.

鋼種	440 MPa 鋼	590 MPa 級 高パーリング鋼板	780 MPa 級 高パーリング鋼板
疲労限度比	0.38	0.42	0.40

鋼板強度の比である疲労限度比において、表2に示すように高強度化したにも関わらず疲労限度比の明確な減少は認められず、本開発鋼の適用は疲労特性に於いても高強度化のメリットを十分に発揮できることが分かる。

(c) せん断割れの抑制

せん断割れは、打ち抜きなどの工程において、破断面の板厚中央部に発生する亀裂である。一般に、加工条件の影響を強く受けるため、加工条件の調整により低減することは可能である⁽¹¹⁾が、高強度化に伴い、感受性が高くなるため、高パーリング 780 MPa 級熱延鋼板における課題の一つとなっていた。3.2 mm 厚の 780 MPa 級鋼板に対し、せん断割れの発生しやすい穴径 12 mm、クリアランス 20% の条件で打ち抜きを行った。この際に発生したせん断割れの外観を図7に示す。せん断割れは、破断面に板厚に垂直に発生し、1 mm 程度の深さがある。せん断割れ総長さと組織、析出物の相関を調査した結果、ROT 冷却条件を調整し、①棒状組織⁽¹²⁾を抑制すること、②成分管理による TiN の抑制することが有効であることを見出した。上記の対策にて、図8に示すようにせん断加工性を問題ないレベルまで向上できる。

3. 高パーリング 780 MPa 級熱延鋼板の適用例

開発鋼は主に足廻り部品、特に、これまで困難であった穴拡げ性と疲労信頼性、せん断加工性を高いレベルで兼備したことからユーザーから高い評価を受け、ロアアームを中心に多くの適用実績がある。

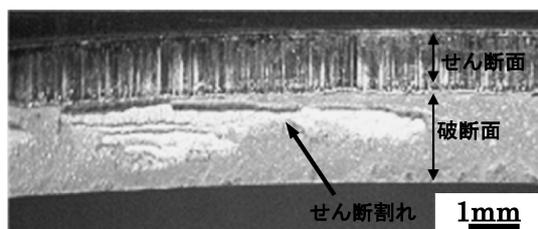


図7 せん断割れの外観.

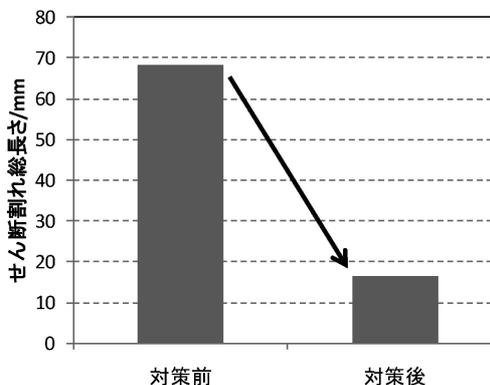


図8 開発鋼におけるせん断割れの抑制.

4. ま と め

今後自動車車体軽量化に於いて重要な役割を演じると期待されるシャシー系部品に適した熱延鋼板の開発において、各相の特性を考慮した新たな組織制御指針により、高パーリング 780 MPa 級熱延鋼板を開発した。今後、本鋼板は幅広く自動車用部品に適用される事で車体軽量化に大きく貢献するものと期待される。

文 献

- (1) 栗山幸久他：自動車技術会春季フォーラム(2011), 11, 7.
- (2) 野中俊樹, 藤田展弘, 谷口裕一, 友清寿雅, 後藤貢一：まてりあ, **46** (2007), 108-110.
- (3) 武智 弘：鉄と鋼, **68**(1982), 1244-1255.
- (4) 林 央：塑性と加工, **40**(1999), 87-92.
- (5) 野中俊樹, 後藤貢一, 谷口裕一, 山崎一正：新日鉄技報, **378** (2003), 12-14.
- (6) 土師純治：CAMP-ISIJ, **6**(1993), 1698.
- (7) 前田大介, 河野 治, 松野 崇：CAMP-ISIJ, **24**(2011), 1053.
- (8) 松野 崇, 前田大介, 首藤洋志, 上西朗弘, 末廣正芳：CAMP-ISIJ, **24**(2011), 1054.
- (9) 高島克利, 田路勇樹, 長谷川浩平：CAMP-ISIJ, **24**(2011), 1052.
- (10) 小指軍夫著：「制御圧延・制御冷却」地人書館, (1997) 26.
- (11) 鈴木隆昌, 佐久間康治, 立木一緑, 手塚 誠：塑性加工連合講演会, (1996), 421-422.
- (12) 岡本 力, 谷口裕一, 福山 弦：CAMP-ISIJ, **18**(2005), 540.