

成形加工性に優れた耐磨耗鋼板 「JFE-EH-EF」の開発

植田 圭治^{*1)} 鈴木 伸一^{*1)}
室田 康宏^{*2)} 渡邊 好紀^{*3)}

1. 緒 言

土木、建設、鉱山用などの各種機械、装置に用いられる鋼板においては、鉱石や土砂などによる磨耗を受けることから、耐磨耗性に優れることが要求される。これに加え、近年の諸産業の急速な技術革新を背景として、鋼材に対する要求性能も多種、多様化している。たとえば、製作負荷やコストの軽減を目的として、成形加工性の向上や、良好な溶接性などが求められる。また、操業時の安全性確保の観点から、高い延性や靱性が要求される場合も多い。

従来、鋼材として優れた耐磨耗性を保有するためには、硬度を高めることが一般的であった⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾。鋼板の硬度は、焼入れ熱処理によりマルテンサイト単相組織とすることにより飛躍的に高めることが可能である。また、マルテンサイト組織自体の硬さを上昇させるためには、固溶C量を増加することが有効である。

通常、マルテンサイト系耐磨耗鋼板の製造に際しては、焼入れ熱処理を施す必要があり⁽²⁾⁽³⁾、工期の長期化を招くだけでなく、マルテンサイトをj得るために必要な焼入れ性を確保するため、多量の合金元素添加が必要であり、靱性や溶接性の確保が困難であった。また、高硬度材では、各種機械、装置の製作段階において、鋼材の高硬度化により曲げ加工の荷重が著しく上昇するだけでなく、延性低下により割れ等の欠陥の問題が生じることもある。

今回、母相組織とともに硬質第2相粒子の分散形態制御により、これらの課題を解決し、優れた成形加工性を有する耐磨耗鋼板を、熱処理工程を必要とせずに実現した。

* JFE スチール株式会社

1) スチール研究所厚板・形鋼研究部主任研究員

2) 東日本製鉄所鋼材商品技術部主任部員

3) 西日本製鉄所企画部主任部員

Development of High Formability Abrasion Resistant Steel Plates 「JFE-EH-EF」: Keiji Ueda, Shinichi Suzuki, Yasuhiro Murota, Yoshinori Watanabe (JFE Steel Corporation)

2009年11月2日受理

本稿では、開発鋼の冶金的特長と、この技術を実用化した耐磨耗鋼板「JFE-EH-EF」の機械的特性について紹介する。

2. 開 発 技 術

(1) 耐磨耗特性に及ぼすマイクロ組織の影響

耐磨耗特性に及ぼすマイクロ組織および硬さの影響を調査した結果を図1に示す。なお、磨耗試験としてラバーホイール試験 (ASTM G-65準拠) を実施し、磨耗減量を測定した。

鋼板と磨耗剤 (100% SiO₂) の硬度比が0.33以上の領域では、マイクロ組織がマルテンサイトであり、磨耗減量は鋼板の硬度に強く依存し、硬度上昇に伴い磨耗量が減少する。一方、鋼板と磨耗剤の硬度比が0.33未満の領域では、フェライト-パーライトやフェライト単相などフェライト主体のマイクロ組織となり、鋼板の硬度が大きく低下するにもかかわらず、磨耗量の増加がほとんど無い。すなわち、マルテンサイト単相組織の鋼板に対して1/3程度の硬度であるフェライト主体組織の鋼板においても、ほぼ同等の耐磨耗特性を有していることが分かる。これは、マルテンサイト単相組織とフェライト主体組織では磨耗機構が異なるためと考えられる。

ラバーホイール試験後の磨耗面の観察結果を図2に示す。

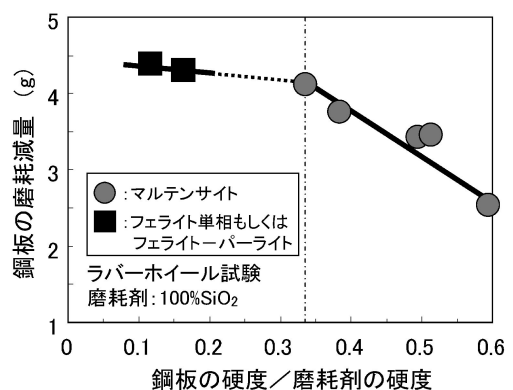


図1 耐磨耗特性に及ぼす母相組織および硬度の影響。

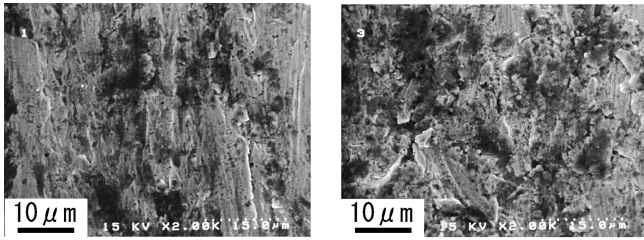


図2 磨耗試験後の磨耗面に及ぼす母相組織の影響。

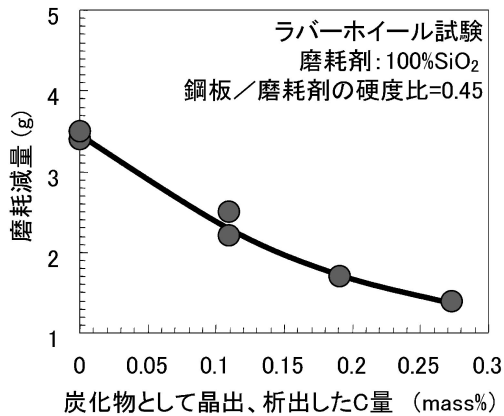


図3 耐磨耗特性に及ぼす炭化物量の影響。

マルテンサイト鋼では、磨耗方向に対して平行に磨耗傷が生じており、比較的平滑な磨耗面が観察される。一方、フェライト主体鋼では、磨耗傷は磨耗方向に依存せず、凹凸が顕著である。すなわち、マルテンサイト鋼では、磨耗剤との接触による亀裂の発生および切削が主たる機構であるのに対し、フェライト主体鋼では、磨耗剤との接触時の塑性変形の繰り返しによる疲労が主たる機構と推察される⁽⁵⁾。

(2) 耐磨耗特性に及ぼす硬質粒子の影響

前節では、低硬度で延性に優れたフェライト主体鋼がマルテンサイト単相鋼(硬度比約0.33)と遜色の無い耐磨耗特性を有することを確認した。しかしながら、従来のマルテンサイト系耐磨耗鋼程度の高硬度材(硬度比約0.35以上)と比較すると、フェライト主体鋼の耐磨耗特性は劣る。そこで、今回、フェライト主体鋼の耐磨耗特性向上のアイデアとして、硬質粒子の分散に着目した。硬質第2相粒子として高硬度の炭化物が有効と考え、鋼板の化学成分を調整することにより、鋼中の炭化物量を変化させた時の耐磨耗特性を調査した結果を図3に示す。ここでは、炭化物量の指標として、抽出残渣により定量した晶出、析出C量を用いた。炭化物量の増加に伴い、磨耗減量は大きく低下することから、炭化物の分散が耐磨耗特性の向上に有効であることを確認した。

(3) 開発鋼のマイクロ組織制御の考え方

以上の結果をもとに、耐磨耗鋼のマイクロ組織制御の考え方を図4に示す。従来の耐磨耗鋼においては、マルテンサイト単相組織とすることにより、硬度を高めることが一般的であ

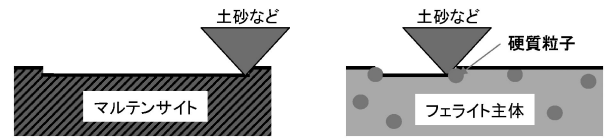


図4 成形加工性に優れた耐磨耗鋼板の組織制御の考え方。

表1 開発鋼の化学組成(mass%)。

C	Si	Mn	P	S	Others	CeqL
0.30	0.35	0.60	0.01	0.002	Cr, Ti, B, etc	0.51

$$CeqL = C + Mn/6 + Cu/15 + Ni/15 + Cr/5 + Mo/5 + V/5$$

ったが、一方で、加工性等に課題があった。これを解決するため、開発鋼では母相を高延性のフェライト主体組織とし、硬質炭化物を制御することで優れた耐磨耗特性を達成したものである。

3. 開発鋼の特性

(1) 母材の特性

母相および硬質炭化物の分散形態制御技術に基づき、成形加工性に優れた耐磨耗鋼板を実機製造した。表1に開発鋼の化学組成を示す。C含有量は0.30%とし、硬質粒子を得るために炭化物形成元素を添加した。鋼板の製造は、TMCP(Thermo-Mechanical Control Process)プロセスを実施した。

図5に、板厚19mm材について、鏡面研磨まのマイクロ組織観察例を示す。母相中に数μm程度の炭化物が多量に分散していることが確認できる。

図6に、鋼板断面硬度分布を示す。板厚表面での硬度上昇などは認められず、板厚方向に170ポイント程度で平坦である。このことから、開発鋼が板厚位置によらず均一な材質であることが分かる。

(2) 耐磨耗特性

図7に、開発鋼および従来鋼について、ラバーホイール試験後の耐磨耗特性を示す。従来のマルテンサイト系耐磨耗鋼では、表面硬さの上昇に伴い磨耗特性が向上するのに対して、開発鋼では母相と硬質炭化物の分散制御の組合せにより、マルテンサイト系耐磨耗鋼に対して表面硬度が半分以下程度であるにもかかわらず、同等以上の耐磨耗特性を達成している。

(3) 成形加工性

図8に、開発鋼および従来鋼の曲げ試験結果を示す。従来のマルテンサイト系耐磨耗鋼では、高硬度化の影響により、曲げ限界半径が大きく、曲げ加工性が低い。一方、開発鋼では、マイクロ組織を低硬度で延性に優れたフェライト-パーライト組織に制御しているため、曲げ限界半径は極めて小さく、一般の高強度鋼板と比較しても、曲げ特性は同等以上である。

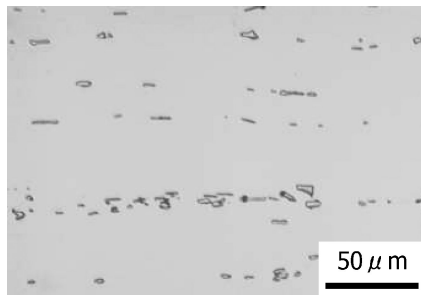


図5 開発鋼のマイクロ組織(19 mmt 材, 1/4 t 部).

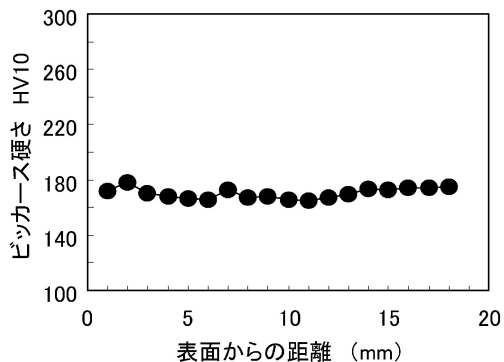


図6 開発鋼の板厚方向硬度分布(19 mmt).

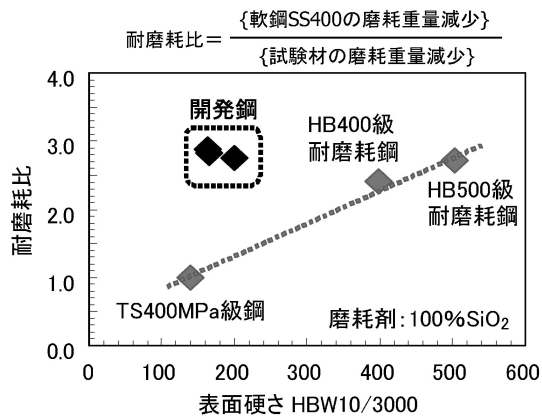


図7 開発鋼および従来鋼の耐磨耗特性の比較.

開発鋼について、曲げ加工後の外観の一例を図9に示す。鋼板サイズによっては、密着曲げ加工後にも割れ等の欠陥は認められず、卓越した曲げ加工性を保有することを確認した。

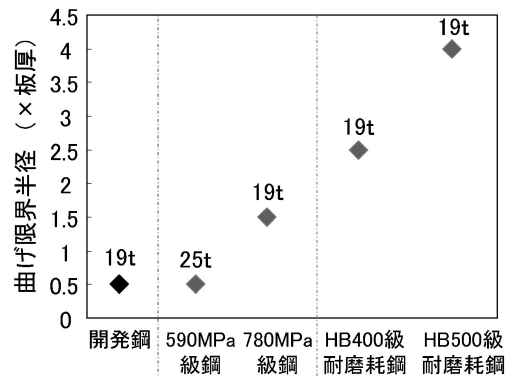


図8 開発鋼および従来鋼の曲げ特性の比較.



図9 開発鋼の曲げ加工後の外観例。(6 mmt, L 方向, 曲げ半径: 0 t)

4. 実用化状況および特許

母相の組織制御と硬質炭化物の分散組織制御を活用し、成形加工性に優れた耐磨耗鋼板「JFE-EH-EF」を開発した。本技術を適用した厚鋼板は2009年に実用化され、今後ますます各分野の耐磨耗鋼材として適用が拡大していくと考えられる。また、本技術に関連した特許も特開2007-262429、特開2007-277590、特開2007-197813など公開済みである。

文 献

- (1) 山本定弘：第161, 162回西山記念技術講座, (1996), 215.
- (2) 室田康宏他：JFE 技報, No. 5(2004), 51.
- (3) 渡辺征一他：住友金属, 37, no. 2(1985), 50.
- (4) H. J. Kaiser *et al.*: Welding Research Abroad, (1998), 26.
- (5) 鋳物のアブレーション摩耗, 財団法人総合鋳物センター, (1980), 14.