

新商品紹介

新日鐵住金(株)の耐摩耗鋼板新ブランド ABREX®シリーズ

ABREX™ Series, Abrasion Resistant Steel Plate of Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation

皆 川 昌 紀* 高 橋 康 哲 都 築 岳 史
Masanori MINAGAWA Yasunori TAKAHASHI Takeshi TSUZUKI

抄 録

建設機械などの摩耗の激しい部材には耐摩耗鋼が用いられる。耐摩耗性能は鋼材の表層硬さと密接な関係があり、合金元素の適正化で焼入れ性を向上させ高硬度化を進めてきた。現在、表面ブリネル硬さ600に相当するABREX600までを実現している。一方、厳しい低温での使用環境に対応するため-40℃でも良好な靱性を有する低温仕様鋼も開発した。さらに、構造体への加工を考慮し、溶接性をはじめとした加工性の向上も進めている。このような幅広い用途に対応したABREX®シリーズを紹介した。

Abstract

Abrasion resistant steel plates are used for abraded member material such as construction machines. The abrasion resistant ability had close relation to the hardness of steel, and we improved the high hardness by the adequacy of the alloy element and control of characteristics. We achieved ABREX600 having about 600 Brinell hardness now. On the other hand, we developed the low temperature specifications steel which has good toughness even -40 degrees Celsius to support usage of machines at severe low temperature environment. Furthermore, in consideration of the processing to a structure body, we produce the ABREX™ series corresponding to a wide use, which have high weldability and workability.

1. 緒 言

ブルドーザーの排土板、ダンプの荷台部分（バッセル）、油圧ショベルやホイールローダーのバケットなど、使用中に土砂や岩石、岩盤などからの衝撃を受け摩耗する建設機械、産業機械の部材には、一般鋼に比べ摩耗量が少ない高硬度の耐摩耗鋼が広く使用される。これにより、機械の軽量化や高性能化とともに、部材の補修、交換などランニングコスト削減も図ることができる。一方で、耐摩耗鋼には

硬度のみならず、寒冷地使用の信頼性を向上させる低温靱性、製造時の施工性改善のための良好な溶接性、曲げ加工性も重要な特性である。

新日鐵住金(株)は、このような要求に応える耐摩耗鋼として、従来製造してきたWEL-HARD、WEL-TEN® AR、SUMIHARDに新たなタイプを加えABREX® (ABrasion Resistance EXcellent) シリーズとして統合した（表1）。ABREXは硬さレベルにより標準タイプ4種類、高靱性タイプ3種類からなり、以下にその特徴を述べる。

表1 ABREXシリーズの種類
Type and designation of ABREX series

Type	Designation	Plate thickness (mm)	Brinell hardness (HBW)		Charpy impact test on L dir. (t>12 mm)	
			Aiming	Range	Test temp. (°C)	Absorbed energy (J)
Standard	ABREX 400	4 ~ 100	400	360 ~ 440	—	—
	ABREX 450	4.5 ~ 50	450	410 ~ 490	—	—
	ABREX 500	4.5 ~ 50	500	450 ~ 550	—	—
	ABREX 600	8 ~ 25	600	550 ~ 650	—	—
Extra tough	ABREX 400LT	4 ~ 60	400	360 ~ 440	-40	≥ 27
	ABREX 450LT	4.5 ~ 25	450	410 ~ 490	-40	≥ 27
	ABREX 500LT	4.5 ~ 25	500	450 ~ 550	-40	≥ 21

* 鉄鋼研究所 厚板・形鋼研究部 主幹研究員 千葉県富津市新富 20-1 〒293-8511

2. ABREXの基本性能 (ABREX 400 ~ 600)

鋼板の耐摩耗性に関しては従来より検討がなされており、実用的には鋼板の表面硬さと強い相関があることが知られている (例えば^{1,2)})。このため、耐摩耗鋼のグレードは表面硬さを基準に決定することが多い。この際、表面硬さの測定には通常ブリネル硬さが適用される。新日鐵住金は、ブリネル硬さレベル HBW400, 450, 500, 600 に対応した ABREX 400, 450, 500, 600 を製造している。

鋼板硬さを高くする簡便かつ経済的な方法は、焼入れ処理によってマルテンサイト組織とすることである。マルテンサイトの硬さは主として炭素量によって決まり、その他の合金元素が強度に与える影響は小さいことが知られている (例えば³⁾)。図1にその一例として、Mn, Ni 添加量をそれぞれ 1 ~ 2.5%, 0 ~ 1% と変化させた3種類の鋼について、マルテンサイト硬さにおよぼす炭素量の影響を示す。各鋼の硬さは炭素量によって決まり、Mn, Ni 添加量によらない。

焼入れ処理によってマルテンサイト組織を得る際、適切な焼入れ性を確保することが必要である。焼入れ性の指標としては、(1) 式 (Grossmann 式) に示すような焼入れ性倍数 (DI)⁴⁾ を用いる。またこれと併せて、(2) ~ (5) 式に示す指標 V_{C-90} ⁵⁾ を用いる。 V_{C-90} は、90%マルテンサイト組織が得られる臨界冷却速度を意味しており、Grossmann 式では定まらない B (ボロン) の焼入れ性効果を考慮すること

が可能な指標となっている。

$$DI = D_{IC} \sqrt{C} (1 + 0.86Si)(1 + 3.3Mn)(1 + 2.3Cr)(1 + 0.36Ni)(1 + 3.2Mo) \quad (1)$$

$$\log V_{C-90} = 2.94 - 0.75\beta \quad (B \text{ 添加}) \quad (2)$$

$$\beta (\%) = 2.7C + 0.4Si + Mn + 0.45Ni + 0.8Cr + 2Mo \quad (3)$$

$$\log V_{C-90} = 2.94 - 0.75(\beta' - 1) \quad (B \text{ 無添加}) \quad (4)$$

$$\beta' (\%) = 2.7C + 0.4Si + Mn + 0.45Ni + 0.8Cr + Mo \quad (5)$$

これらの指標を目安として、さらには後述する溶接性も考慮しつつ、硬さグレードや板厚に応じて、Cr, Mn, Mo, B などの焼入れ性を高める元素を添加する。特に B は、(2) 式と (4) 式との比較からわかるように B 添加によりその他同一成分でも V_{C-90} は大きな値となり、微量で顕著な焼入れ性向上効果が得られることから、ABREX では適切な添加量で有効に活用している。

このようにして設計、製造した ABREX 400 ~ 600 の代表的な機械的性質を表2に、ミクロ組織を図2に示す。焼入れ組織となっており、所定の硬さを有している。

耐摩耗性を評価するために、ガウジング摩耗試験およびスクラッチング摩耗試験を行なった。ガウジング摩耗試験は、試験片を砥石に押し付け、砥石を回転させ試験片の摩耗量を測定するもので、ショベルバケットなどが岩石や鉱石を掘削、破碎する際に大きな荷重と衝撃とが加わる状況

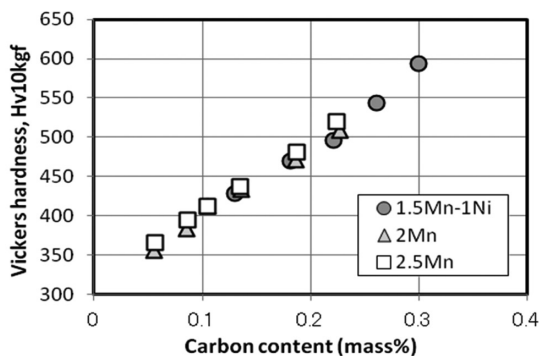


図1 マルテンサイト硬さにおよぼす炭素量の影響
Effect of carbon content on martensite hardness

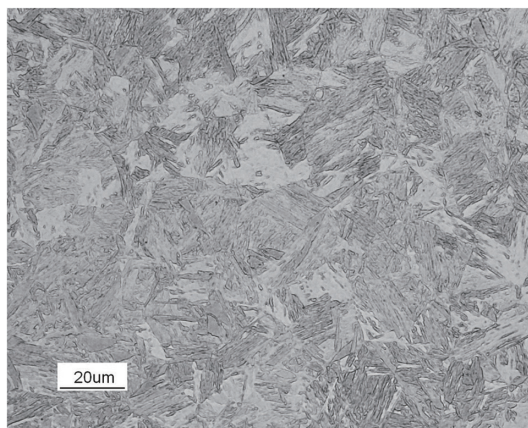


図2 ABREX 400 のミクロ組織
Micro-structure of ABREX 400

表2 ABREX 400 ~ 600 の機械的性質例
Typical mechanical properties of ABREX 400 ~ 600

Designation	Thickness (mm)	Carbon equivalent		Brinell hardness (HBW)	Mechanical properties			
		C _{eq}	CEN		Tensile test		Charpy impact test	
					YS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	Test temp. (°C)	Absorbed energy (J)
ABREX 400	25	0.38	0.38	414, 417, 416	1075	1322	0	73
ABREX 450	25	0.51	0.54	458, 453, 459	1192	1469	0	57
ABREX 500	25	0.54	0.57	513, 509, 520	1373	1552	0	43
ABREX 600	25	0.70	0.71	611, 606, 601	—	—	0	18

$$C_{eq} = C + Mn/6 + (Cu + Ni)/15 + (Cr + Mo + V)/5$$

$$CEN: Eq.(6)(7)$$

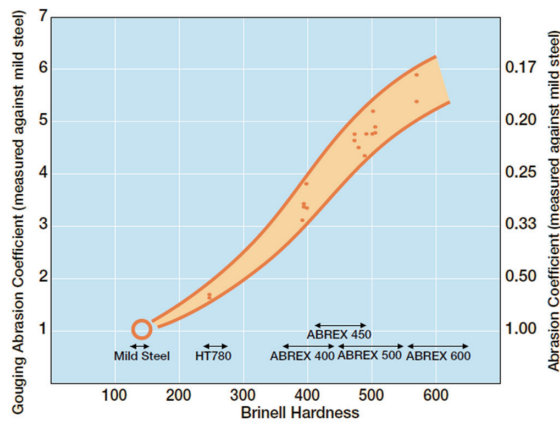


図3 ABREX のガウジング摩耗性能
Gouging abrasion property of ABREX

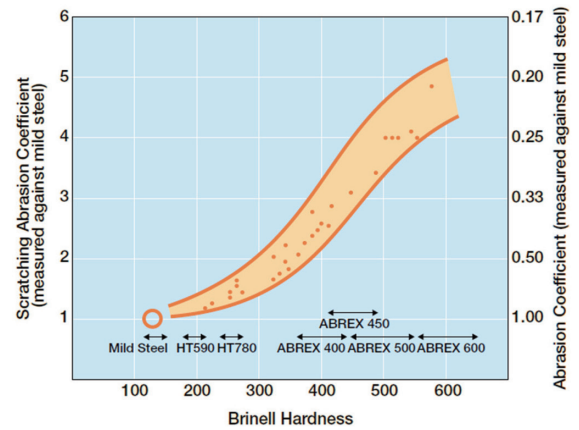


図4 ABREX のスクラッチング摩耗性能
Scratching abrasion property of ABREX

表3 ABREX 400LT ~ 500LT の機械的性質例
Typical mechanical properties of ABREX 400LT~500LT

Designation	Thickness (mm)	Carbon equivalent		Brinell hardness (HBW)	Mechanical properties			
		C _{eq}	CEN		Tensile test		Charpy impact test	
					YS (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	Test temp. (°C)	Absorbed energy (J)
ABREX 400LT	60	0.60	0.55	390, 393, 393	1 162	1 207	-40	63
ABREX 450LT	25	0.50	0.52	469, 469, 469	1 089	1 465	-40	43
ABREX 500LT	25	0.53	0.56	507, 510, 507	1 198	1 680	-40	38

を想定している。回転速度 30rpm, 荷重 29.4kg/cm², 試験時間 20min, 砥石は高温専用砥石を用い, 摩擦発熱を考慮して雰囲気温度を摩耗にとって厳しい 200℃とした。

一方, スクラッチング摩耗試験は, 水を含んだ砂の中で試験片を回転させ, その摩耗量を測定するもので, ダンプベッセルなど比較的小さな土石によって鋼板表面がこすられる状況を想定している。水を含んだ珪砂の中で試験片を 3.7m/s で回転させた。図3はガウジング摩耗試験の結果を, 図4はスクラッチング摩耗試験の結果をそれぞれ示したもので, 軟鋼に比べ, 硬さレベルに応じガウジング摩耗試験では3~5倍, スクラッチング摩耗では2~4倍の耐摩耗性を有している。本結果例は想定される環境を模擬した試験によるものであり, 実摩耗とは必ずしも一致しないことがある。

3. 低温仕様鋼 (LTシリーズ)

建設機械では, 鋼材がかなりの衝撃を受けるような使い方も想定され, 特に寒冷地での使用が想定される場合には, 低温靱性に対する配慮が必要である。これに対応し, 高強度の耐摩耗鋼においても-40℃の靱性を保証する LT シリーズを開発した。

鋼材の靱性は, 一般的に硬さの上昇にともなって低下するが, 有効結晶粒径を小さくすることで硬さを維持したまま靱性の向上が見込まれる。ABREX では, 前組織の細粒化, 適切な添加元素調整によるマルテンサイト変態温度の調整を通じて有効結晶粒径の微細化を図り, 低温靱性の向上を

達成している。

このようにして設計, 製造した ABREX 400LT, 450LT, 500LT の代表的な機械的性質を表3に示す。耐摩耗鋼としての硬度を持ちつつ, -40℃での優れた低温靱性を有している。

4. 加工性能

4.1 溶接性

炭素量や, その他の合金添加量が多い耐摩耗鋼では, 構造物として組み立てる際の溶接施工時の割れ, 中でも低温割れをいかに回避するかが課題の一つである。低温割れは, 溶接部の硬化, 拡散性水素の集積, 拘束応力の3つの要因が重なることで生じるとされている。この内, 鋼材が大きく関与する要因が溶接部の硬化であり, 低温割れ感受性を表す指標として鋼材の合金元素量をもとにした C_{eq} あるいは P_{CM} がよく用いられる。C_{eq}, P_{CM} とも有用な指標であるが, C 量レベルによってその適正に差異があり, 低 C 域 (C ≤ およそ 0.12%) で P_{CM}, 高 C 域で C_{eq} を併用することも提案されている。そこで新日鐵住金では, (6), (7) 式に示す, 広い C 量域で低温割れ感受性を表現できる CEN 炭素等量⁹⁾も指標としている。低温割れを回避するためには予熱が用いられることが多いが, 予熱温度を低減できるよう CEN を極力小さくする鋼材成分の設計をしている。

$$CEN = C + A(C) \left\{ \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu}{15} + \frac{Ni}{20} + \frac{(Cr+Mo+Nb+V)}{5} + 5B \right\} \quad (6)$$

$$A(C) = 0.75 + 0.25 \tanh \{20(C - 0.12)\} \quad (7)$$

表4 重ね継手溶接割れ試験結果
Controlled thermal severity weld cracking test results

Designation	Thickness (mm)	Cracking	
		SMAW	GMAW
ABREX 400	25	No	No
ABREX 450	25	No	No
ABREX 500	25	No	No

SMAW: Shielded metal arc welding
GMAW: Gas metal arc welding

溶接性を評価するために行なった重ね継手溶接割れ試験の結果を表4に示す。いずれの鋼種も良好な溶接性を有している。ただし、一般鋼と比較すると高強度であるために低温割れ感受性が高く、ABREXの溶接にあたっては溶接材料の選定、予熱温度の管理は重要である。予熱ができない、あるいは省略したい場合には、SUS309などのオーステナイト系溶接材料を使用する方法もある。ABREX600にはDP-8などの2相ステンレス系溶接材料を使用した上で、状況に応じて予熱することが必要である。

4.2 曲げ加工性

耐摩耗鋼は普通鋼に比べ硬さ、強度が高いため伸びが低い。そのため曲げ性が低下する傾向にある。表5にABREXの広幅試験片での曲げ試験結果例を示す。広幅曲げ試験は通常の曲げ試験と比較して幅方向の塑性拘束が大きく、より厳しい曲げ条件となる試験方法である。この場合、曲げ半径5t(板厚tの5倍)で割れが発生せず、良好な曲げ性能を有しているが、実際の曲げ加工には割れ防止のための管理が重要である。

5. 結 言

新日鐵住金は、旧新日本製鐵(株)の耐摩耗鋼 WEL-

表5 広幅曲げ試験結果
Wide bend test results

Designation	Thickness (mm)	Width (mm)	Bend direction	Bend angle	Cracking*	
					3t	5t
ABREX 400	25	120	Longitudinal	180°	○	○
ABREX 450	25	120	Longitudinal	180°	○	○
ABREX 500	25	120	Longitudinal	180°	△	○

* ○ : No cracking, △ : Some small, localized cracking

HARD, WEL-TEN AR と旧住友金属工業(株)の耐摩耗鋼 SUMIHARD を統合、新タイプを加えて新しい耐摩耗鋼ブランド ABREX シリーズを立ち上げた。

両社の技術を融合し、普通鋼の5～6倍という世界最高グレードの硬さを有する商品や、寒冷地での使用を可能にする高靱性タイプ、さらに薄手耐摩耗鋼を加え、基本グレードを拡充した。

耐摩耗鋼 ABREX は、土木工事や資源開発に必要な建設機械や鉱山設備、資源リサイクルのための破碎機、産業機械等に適用されており、鋼材摩耗を減らし、設備のメンテナンス周期延長や機械の軽量化等にも寄与している。今後も開発・改善を続け、顧客のニーズに応えていきたい。

参照文献

- 1) 室達朗：建設機械. 19 (4), 36 (1983)
- 2) Tumuluru, M. D.: Metall. Trans. A. 17A (2), 295 (1986)
- 3) Krauss, G.: Hardenability Concepts with Applications to Steel. AIME, 1978, p. 229
- 4) Grossmann, M. A.: Trans. Metall. Soc. AIME. 150, 227 (1942)
- 5) 上野正勝, 伊藤亀太郎：鉄と鋼. 74 (6), 1073 (1988)
- 6) Yurioka, N., Suzuki, H., Ohshita, S., Saito, S.: Welding Journal. 62 (6), 147 (1983)



皆川昌紀 Masanori MINAGAWA
鉄鋼研究所 厚板・形鋼研究部 主幹研究員
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511



高橋康哲 Yasunori TAKAHASHI
名古屋製鉄所 品質管理部 厚板管理室
主幹



都築岳史 Takeshi TSUZUKI
厚板事業部 厚板技術部 厚板商品技術室
主幹