

JFE スチールの棒鋼・線材の製造プロセスと商品の特徴

Manufacturing Processes and Products of Bar and Wire Rod in JFE Steel

佐藤 道夫 SATO Michio JFE スチール 棒線セクター部長
西村 公宏 NISHIMURA Kimihiro JFE スチール スチール研究所 棒鋼・線材研究部長

要旨

JFE スチールの棒鋼・線材製品の製造体制は高炉製造と電気炉製造の両方を持ち、多様な商品群によってお客様のニーズに対応している。西日本製鉄所倉敷地区および JFE 条鋼仙台製造所はそれぞれに特徴のある製造プロセスにより、高品質な製品の製造体制および供給体制を確立している。さらに、高付加価値商品の研究開発に継続して取り組んでおり、各品種分野で優れた特性を有し、環境に調和する鋼材の商品化を進めている。本稿では JFE スチールの製造プロセスの特徴を概説するとともに代表的な開発商品を紹介する。

Abstract:

JFE Steel manufactures bar & wire rod and related products at both blast furnace and electric furnace steel works, and responds to the customers' needs by variety of products. By taking advantage of these respective processes, JFE Steel West Japan Works (Kurashiki) and JFE Bars & Shapes Sendai Works established manufacturing system of high quality products and supply system. Furthermore, JFE Steel has made continual development of value-added products and commercialized eco-friendly products with excellent properties. This paper describes features of these plants and processes and introduces typical examples of newly developed bar & wire rod products in JFE Steel.

1. はじめに

2014年4月に JFE スチールと JFE 条鋼は棒線事業を統合し同製品の販売ブランドを JFE スチールに統合した。2017年4月には、JFE 条鋼仙台製造所を JFE スチールに移管する。特殊鋼棒線事業は JFE スチール西日本製鉄所（倉敷地区）および仙台製造所を拠点とした生産・販売体制を確立する。また、倉敷地区は高炉、仙台製造所は電気炉製造であり、それぞれの特徴を生かし、相互に補完しながら JFE ブランドの棒線製品として幅広い品種に対応している。

以下に、JFE スチールの2拠点の製造プロセスの特徴と棒線商品の技術的特徴について開発商品を中心に紹介する。

2. 製造プロセスの特徴

2.1 西日本製鉄所（倉敷地区）

西日本製鉄所（倉敷地区）の製鋼は226tの大型転炉—二次精錬—連続铸造設備と、造塊設備の両方を有している。これを用いて低炭素鋼から高炭素鋼、合金鋼までの広範囲の鋼種、および広範囲のサイズの製造を可能としている。また、主に高炉溶銑を使用した溶銑予備処理と取鍋精錬、強

攪拌真空脱ガス、電磁攪拌付連铸設備を駆使することで軸受鋼を中心とした高纯净度鋼の製造も可能である¹⁾。

表1に各工場の製造可能範囲を示す。倉敷地区鋼片工場では丸鋼φ450mm、角鋼は□750mmまでの世界最大級の太径製品を圧延により製造可能としている。これは造塊材の使用と、圧延から太径丸鋼専用自動精整設備までの一貫製造工程を確立することで可能となった。倉敷地区線材・棒鋼工場は、工場名のとおり線材と棒鋼の両品種を高品質で圧延できる、1ストランドのコンバインドミルである。ピーリング設備により表面切削されたピレットを用い、疵・脱炭のない優れた品質の製品も製造可能である。線材・棒鋼工

表1 製造可能範囲

Table 1 Manufacturing facilities and available size of bar and wire rod

	Products	West Japan Works (Kurashiki)	Sendai Works
Billet mill	Round bars	φ90-450	—
	Square bars	□250-750	—
Steel bar mill	Straight bars	φ16-90	φ17-120
	Bars in coil	φ16-38	φ16.7-52
Wire Rod mill	Square wire rods	□12.7-27	—
	Round wire rods	φ4.2-19	φ5.5-16.3

(unit: mm)

2016年11月14日受付

場の圧延は、角ビレット・丸ビレットの両方を素材とできるフラットロール圧延技術、4ロールミルによる高寸法精度サイズフリー圧延技術などを特徴としている。また4ロールミルを活用した、直角度や対辺寸法精度良好な四角線材、曲げ加工性に優れた4条リブ鉄筋、最小径4.2mmの極細線材なども製造している²⁾。

2.2 仙台製造所

仙台製造所は2008年リフレッシュ工事により130tの環境調和型高効率電気炉（エコーク炉）の導入や、加熱炉など所内の全燃料をLNG化するなど、CO₂削減に十分配慮した設備の導入を行った。また、棒鋼工場・線材工場の素角を□160mmに統一し、サイズフリー圧延に対応するためKOCKS社製3ロールミルにより効率的な製造を進めている。線材工場では、加熱炉のリフレッシュ、圧延設備の増強により線材の表面疵対応工事を行った。更に、2015年には線材コイルの巻方向変更及び大径化の工事を完了し顧客満足度の向上を図ってきている。また、棒鋼工場では、仕上げ圧延機後に設置している製品水冷装置を使用し、表層部を直接焼入れし、水冷装置通過後に鋼材内部の保有熱で自己焼もどしさせた独自の棒鋼製品を製造している。

3. JFE スチールの棒線商品

倉敷地区と仙台製造所の両工場の特徴を活かした、最適生産体制を構築し、自動車向け、建産機向けを中心とした幅広い製品をお客様にお届けしている。表2に主要な製造品種を示す。さらに、JFE スチールはお客様のニーズに対応した、特徴ある棒線商品を開発している。本章ではその中のいくつかを紹介する。

3.1 肌焼鋼

肌焼鋼は自動車や建機の動力伝達部に使用される歯車、シャフトなどに使用され、表面硬化処理後の疲労強度の他に様々な特性が求められる。JFE スチールは高疲労強度を達成するとともに、多様な機能を付与した肌焼鋼を開発している。

多くの部品は鍛造によって成形されるが、鍛造時の変形抵抗を低減させるために軟化焼鈍が行われる。また、浸炭時のオーステナイト粒粗大化を避けるために、冷間鍛造後は浸炭前に焼準も行われることも多い。これら熱処理は部品製造コストの増大につながるため、熱処理省略が可能な肌焼鋼が求められていた。JFE スチールはこの課題を解決するため、素材ままで低変形抵抗を有し、かつ析出物制御により浸炭時の粒の粗大化抑制能が高い高冷間鍛造性肌焼鋼を開発した³⁾。浸炭後の疲労強度はJIS SCM420と同等以上である。本開発鋼を適用することにより、部品製造での省プロセスが可能となりコスト削減に寄与する。

表2 主要製造品種

Table 2 Type of steels for manufacturing

Carbon steels for machine structural use: S10C-58C, S09CK-20CK
Alloy steels for machine structural use: SMn420-443, SMnC420, 443, SCr415-440, SCM415-822, SNCM220-815, (H)
Spring steels: SUP9, 12, 9A
High carbon chromium bearing steels: SUJ2, SUJ3
Boron steels: 10B21-10B38 KF10T, 15B23-15B41 S35BC, S40BC, S48BC
Free-cutting steels: SUM22-31, 22L, 23L, 24L SAE(AISI) 1117, 1213, 1215, 12L14 1215M, 1215MU, 1215ML
Free-cutting steels for machine structural use: Lead free-cutting steels (symbol ...L1, L2) Lead free free-cutting steels (symbol ...S0, S1, S2)
Microalloyed steels: NH45MV, NH48MV, S45CVS1, etc.
Chrome-vanadium steels: S32CC5V-55CC4V
Wires for high-strength hoops: SD785
Piano wire rods: SWRS 62A, B-87A, B
Low carbon steel wire rods: SWRM 6K-22K
High carbon steel wire rods: SWRH 27-37, 42A, B-82A, B
Carbon steels for cold heading Part 1: Wire rods: SWRCH 6A-22A, 10K-50K
Rolled steel for general structure: SS330-540
Rolled carbon steel for cold-finished steel bars: SGD A, B, 1K-4K, 3KM-4KM

高面圧浸炭二相鋼⁴⁾はSi, V添加によりAc₃変態点を高め、通常浸炭温度での浸炭後の内部組織をフェライト・マルテンサイトの二相組織としている（表層浸炭部はマルテンサイト単相）。これにより、浸炭後の焼入れによる変形量を少なくし、低歪化と同時に高面圧下での耐ピッチング性向上を達成している。図1にJIS鋼と高面圧浸炭二相鋼の浸炭後熱処理歪を比較した結果の一例を示す⁴⁾。図中に示す試験片を用いて浸炭前後の開口部の変化量を調査したものであ

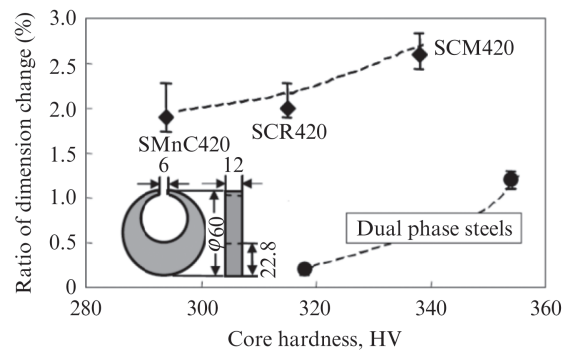


図1 高面圧二相鋼とJIS鋼の浸炭焼入れ時の変形量⁴⁾

Fig. 1 Distortion in carburizing and quenching: Dual phase steel and conventional low-alloyed steels⁴⁾

る。硬度の上昇、すなわち焼入性の上昇にともない、変形量は大きくなる傾向を示すが、二相鋼では従来鋼に比べて変形量が1/2以下に抑えられていることが分かる。

軟窒化プロセスは低温での表面硬化が可能のため、熱処理歪が小さく浸炭に比べて部品の寸法精度に優れる。しかし、軟窒化後の表面硬さと内部強度は浸炭処理材に比較して低く、適用部品に限られていた。高強度軟窒化鋼⁵⁾はユニークな成分設計により析出強化と変態強化を活用し、従来の軟窒化用鋼よりも格段に高い表面硬さと内部強度を得ることができる鋼である。これにより、疲労強度も大幅に向上する。また、鍛造性・切削加工性も従来鋼と同等以上であり、実部品への適用が期待される。

3.2 軸受鋼

倉敷地区では高纯净度軸受鋼の製造に加えて、転動環境下におけるマイクロ組織損傷の発生機構に着目し、新たな設計手法に基づく中炭素軸受鋼、常中温域での転動疲労寿命に優れる軸受鋼などを開発し商品化している。また、先述した4ロールミルとステルモア冷却制御を活用し、φ4.2 mmまでのSUJ3を含む細径軸受線材を製造している。

さらに、高纯净度化に伴って従来の顕微鏡観察法では困難となりつつある非金属介在物について、高速かつ高精度に大体積の計測が可能な高周波超音波探傷を活用した介在物検出法も開発している。

3.3 非調質鋼

機械構造用炭素鋼、あるいは機械構造用合金鋼で必要となる焼入焼戻し処理が省略可能な鋼材として熱間鍛造用非調質鋼と直接切削用非調質鋼がラインナップされている。熱間鍛造用ではTiの適量添加による靱性確保、V添加による強度確保がされている。中炭素ベースのフェライトパーライト組織で析出強化タイプのTHFシリーズと、低炭素化により靱性を向上させ、ベイナイトによる組織強化とV析出強化をバランスさせて冷却速度による強度のばらつきを抑えたTBHシリーズがある。また、TBHをベースとしてお客様の要望にお応えすべく、低歪領域の高耐力化やさらなる高強度高靱性化に対応した鋼も開発している。

一方、直接切削用としては倉敷地区製造設備を活用したNHシリーズがあり、太径丸鋼の非調質鋼を製造している。また、仙台製造所の棒鋼仕上圧延直後の水冷装置で直接焼入れ、自己焼もどしにより表層部を焼もどしマルテンサイト、内部を微細なフェライトパーライト組織としたシャフト用途に好適なTQF鋼も商品化されている。

3.4 快削鋼

仙台製造所は鉛添加可能な製鋼設備を有しており、鉛含有快削鋼を製造してきたが、近年の地球環境問題から快削鋼の非鉛化に取り組み、各種代替鋼を開発してきた。低炭

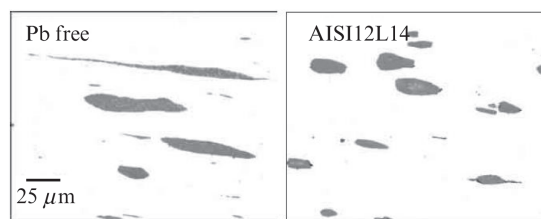


図2 快削鋼の硫化物系介在物の比較⁸⁾

Fig. 2 Comparison of size of sulfide inclusion in free-cutting steels⁸⁾

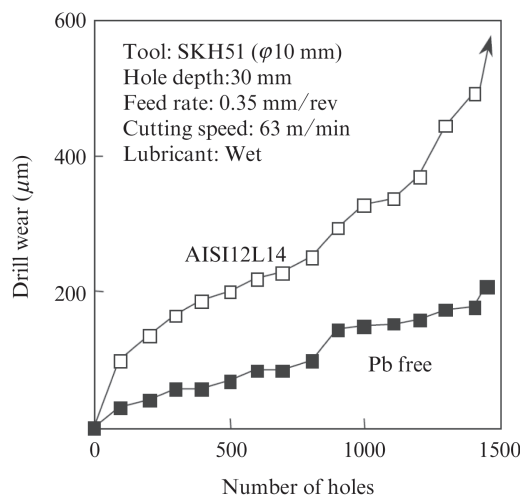


図3 快削鋼のドリル被削性の試験結果⁸⁾

Fig. 3 Drilling machinability of free-cutting steels⁸⁾

素系としては、Cr添加により硫化物系介在物を制御し、被削性を向上させたAISI12L14代替CCC（クリーンカットクロム）鋼^{6,8)}やコストパフォーマンスに優れたAISI1215系非鉛快削鋼があり、プリンターシャフト等のOA機器に多用されている。PbフリーCCC鋼と鉛快削鋼の硫化物系介在物の観察例を図2に示す。CCC鋼では被削性向上に寄与する大型の介在物が分散している。図3にはハイスドリルによる穴あけ加工試験における穴個数とドリル摩耗量の関係を示す。CCC鋼は良好な穴あけ加工性を有することがわかる。

3.5 高強度せん断補強筋

倉敷地区と仙台製造所ではJFEテクノワイヤと連携して、溶接閉鎖後の延性に優れる降伏強さ1275 MPa級せん断補強筋⁹⁾、冷却を制御して省合金化を達成した785 MPa級せん断補強筋¹⁰⁾を商品化している。

4. おわりに

JFEスチールは、2つの製造拠点の特徴を活かした、お客様のニーズに応える商品ラインナップを有しており、その高

品質製造体制および供給体制を確立している。また、各品
種分野で特徴のある開発商品も品揃えしている。今後も、
総合鉄鋼メーカーの技術力を最大限に活用し、環境に優し
く社会に貢献する高付加価値の棒線商品開発を推進してい
く。

参考文献

- 1) JFE 技報, 2009, no. 23, p. 55-56
- 2) 桜井智康, 坂本俊夫, 武田了. 川崎製鉄技報. 2002, vol. 34, no. 1, p. 7-11.
- 3) 今浪. JFE 技報, 2017, no. 39, p. 37-42.
- 4) 福岡和明, 富田邦和, 白神哲夫. JFE 技報, 2009, no. 23, p. 24-29
- 5) JFE 技報. 2017, no. 39, p. 64-65.
- 6) 岩本 隆, 村上俊之. JFE 技報. 2004, no. 4, p. 64-69
- 7) 村上俊之, 白神哲夫, 三瓶哲也, 及川勝成, 石田清仁. までりあ.

2004, vol. 43, no. 2, p. 136-138

- 8) 村上俊之, 富田邦和, 白神哲夫. JFE 技報. 2009, no. 23, p. 17-23
- 9) 岩本 隆, 山内 章, 坂下幹雄. JFE 技報. 2009, no. 23, p. 36-40
- 10) 岩本 隆, 山内 章, 坂下幹雄. JFE 技報. 2009, no. 23, p. 41-46



佐藤 道夫



西村 公宏