

細径線材の製造

Manufacturing of Small Diameter Wire Rods

舟 山 貴 郎*
Takao FUNAYAMA

抄 録

棒鋼、線材は、最終製品となるまでに、熱処理や伸線等の様々な処理を経ることから工程が長いことが特徴である。2次、3次加工分野でのコスト低減を目的に工程の省略・簡略化ニーズは年々高まっている。釜石製鉄所線材工場においては、ユーザーにおける伸線・熱処理工程の省略を可能とする細径線材の製造を実施しており、幅広い用途への適用が期待されている。細径線材の製造技術とその特徴について紹介した。

Abstract

Characteristic of bar and wire rod process is long until the final product, because it undergoes various processes such as heat treatment or wire drawing. Needs of the process omitting or simplifying has been increasing year by year for the purpose of cost reduction in the secondary and tertiary processing sector. In Kamaishi Works, it has been manufacturing small diameter wire that enables the omission of the heat treatment and drawing process by the user. The expectation of small diameter wire adopted wide range of applications. In this paper, we introduce the manufacturing technology and its features of small diameter wire.

1. 緒 言

釜石製鉄所は、日本で最初に洋式高炉による出鉄やコークス銑製造に成功するなど近代製鉄業発祥の地としての数々の偉業を重ね、1886年(明治19年)10月16日に操業を開始している。このような歴史が評価され、2015年7月には、橋野高炉跡が“明治日本の産業革命遺産”として登録された。また、2019年にはラグビーワールドカップが、この地で開催されることが決定し、震災復興も含め地域全体が活気を取り戻している。その中で、釜石製鉄所線材工場は、品質向上、生産性向上を推進し、常に国内トップレベルの品質、生産性を確保してきた。現在では、スチールタイヤコード用線材や冷間圧造用線材を代表とする高級鋼を主体に高効率で製造している多ストランドミルとして稼働している。

一方、棒鋼・線材製品は自動車用部品に代表される各種産業分野で使用されており、2次、3次加工メーカーでの焼鈍、伸線といった熱処理や加工工程を経て最終製品となるのが特徴である。そのためユーザーからは生産性向上、コストダウン、環境負荷低減といった観点より、熱処理、

加工工程の省略、簡略化を求める声が年々高まっている。それらに応えることで、線材製造技術の高度化を図ってきた。この線材製造技術の中で、ユーザーにおける熱処理、加工工程の省略、簡略化に対応した細径線材の製造技術開発について紹介する。

2. 細径線材

ユーザーの声をフィードバックし、多様なニーズに応えるべく新日鐵住金(株)棒線事業部はSteeLinC®という事業ブランドを展開している。その一角高機能商品XSTEELIA®として細径線材をラインナップしている。細径線材の線径として釜石製鉄所では3.6mm径～5.0mm径という圧延断面では世界最小径線材の供給を可能としている。

ユーザーにおいて通常は狙い寸法の最終製品を伸線工程で作り込む。伸線では加工歪みが線材内に蓄積し、この歪みが生引き限界を迎えると断線に至る。この断線を回避するために、通常は中間パテンティングを実施し歪みを解消する必要があるが、初期線径を小さくすることで、その断面までの伸線工程での歪みのインプットが無くなり、伸線工程とともにパテンティング処理の省略が可能となる。

* 釜石製鉄所 製造部 技術室 主幹 岩手県釜石市鈴子町 23-15 ☎ 026-8567

また、線径が小さくなっていることにより線材圧延後の冷却効果が向上し、線材断面内の組織の均一化、 γ 粒微細化を実現し、伸線加工時における時効抑制、セメントイト分断抑制効果が発揮され、これらの効果により伸線工程の生引き限界径を更に伸ばすことが可能となることも、工程省略を可能とする特徴である。工程省略により、2次加工メーカーでのコスト削減ができることに加え、省略工程が生産上のネックであった場合は生産性の向上を図ることができる。

環境面において、細径線材製造段階では生産性低下により線材トン当たりのCO₂排出量は増加するが、伸線工程での粗伸線の加工エネルギーの低減、熱処理省略による熱エネルギーの低減により、トータルCO₂排出量は約40%超(5.5mm径と3.6mm径の比較)の低減が可能である。

このように細径線材はユーザーのコスト、生産性、環境負荷の改善を図ることができ、今後はスチールタイヤコード用線材、冷間鍛造用線材、ばね材といった様々な分野での活用が期待されている。

3. 細径製造技術

釜石製鉄所線材工場では、表1に示すように、500kgコイルを製造するシュレーマン式の4ストランドミルとして1961年に操業開始した。1976年には加熱炉改造による2tコイル化と共にノーツミストミル(以下NTミル)を設置し、圧延速度61m/sの2ストランド化を行った。更に1981年には1ストランドを増設し能力増強を図ってきた。

1995年にNo.3コース、2000年にNo.2コースヘミニブロックミル(以下MBM)導入を図り、圧延速度アップ、圧延系列統合を実施し、ハイエンド材を高効率で生産する高

速2ストランドミルに生まれ変わった。図1に示す通り、MBMはNTミル後段に配置し、圧延速度を61m/sから100m/sに大幅に向上させた。現在は、122mm角のビレットから所定のサイズまで、28台の圧延機で連続圧延し製造する。

3.1 細径製造技術開発

3.1.1 圧延速度と減面率確保

釜石製鉄所線材工場では、ユーザーでの工程省略を可能とする細径線材の製造の検討を行い、まず、課題となったのは圧延速度の確保と適正な減面率の確保であった。線材の連続圧延では仕上ミルの圧延速度が決まると粗圧延機から中間圧延機に至る各圧延機の圧延速度が決まる。細径線材を製造する場合、素材断面サイズを一定とすると、仕上速度が一定なのでNo.1スタンドの圧延速度が従来のサイズと比較すると低下する。一方で、圧延速度は一定以上の速度を確保しないと、熱負荷による圧延ロールの損傷や、圧延時間が延びることによる鋼材温度低下が発生するため、圧延が困難な状況となる。細径線材を製造する場合に、まず最初に解決しなければならない課題は圧延速度の確保である。釜石製鉄所線材工場では、前述の通りMBMの導入による圧延速度向上を実現したことによりこの課題を解決することができた。

また、連続圧延となる線材圧延では、各圧延機毎の減面率は通材性を確保するための適正な範囲が存在する。釜石製鉄所線材工場では、MBM導入により従来26スタンドであった圧延機の台数を、28スタンドとしたことで、圧延機毎の減面率を適正な範囲に保ちつつ、ライン全体での減面率を確保することで、122mm角の鋼片から4.0mm径以下の細径線材を製造することを可能にした(表2)。

表1 釜石製鉄所線材工場改造履歴
History of Kamaishi Wire Rod Mill

	Event	Strands	Speed	Coil weight
1969	Beginning operations (Schloemann type)	4	30 m/s	500 kg
1976	No-twist mill	2	61 m/s	2 000 kg
1989	Walking beam type reheating furnace	3	↓	↓
2000	Mini block mill	2	100 m/s	↓

表2 細径線材圧延時の圧延速度、減面率制約
Rolling speed limit and reduction of area at the small diameter wire rod rolling

	Velocity of No.1 mill		Reduction of area	
Number of rolling mill	26	28	26	28
5.5 mm ϕ	○	○	○	○
5.0 mm ϕ	○	○	○	○
4.0 mm ϕ	×	○	×	○

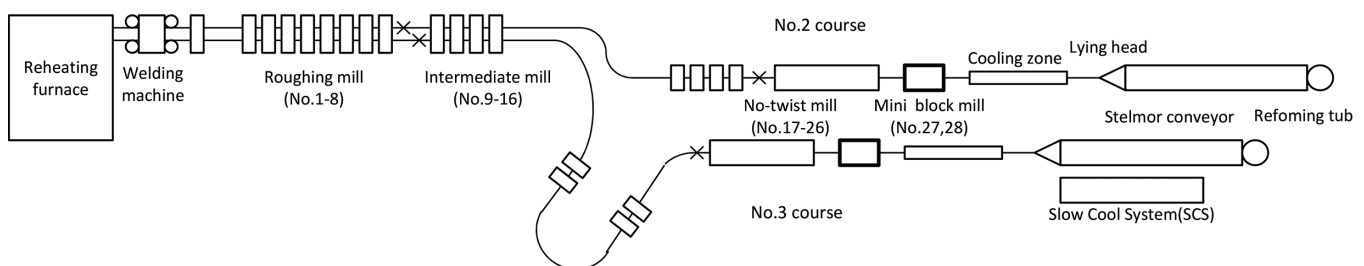


図1 釜石製鉄所線材工場レイアウト
Layout of Kamaishi Wire Rod Mill

3.1.2 通材性の確保

線材圧延ではロールにはカリバーがあり、鋼材寸法確保、表面きず防止の観点から、このカリバーに鋼材を正しく誘導することが必要である。鋼材をカリバーに誘導するため、ロール前にはローラーガイドが配置される。細径線材を製造する場合、仕上スタンドに近づくほど、鋼材が細くなり剛性が無くなる。このことから最終径に近い状態ではできるだけ、鋼材を拘束し圧延方向に座屈することを防止することが重要となる。このためには、ロールとガイドローラーの距離、水冷帯のノズルやパスライン内に、鋼材がフリーな領域の無いようにする必要がある。また、ロールのカリバー形状も深さを確保することができなくなることから、カリバー内での鋼材の拘束力が無くなるため、できるだけ幅広がりの発生しないようにカリバー形状を設計する必要があり、試験を重ね適正なロール、ガイドローラーを設計し細径線材を製造することが可能となった。

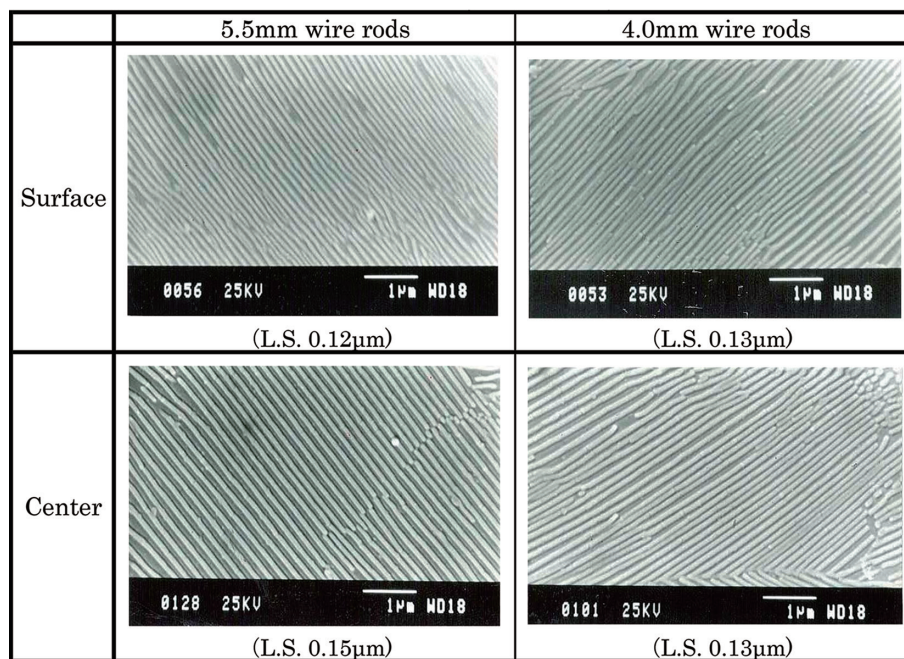
3.1.3 細径線材の材質影響

線材は熱間圧延後、水冷、衝風による冷却を実施し、組

織、強度、スケールなど必要な特性を造り込む。熱間圧延後の冷却においては、表層と中心部で冷却速度差が生じることから、表層と中心部の鋼材組織に差が生じる。このため、線材の冷却は表層と中心部の冷却速度差を無くするように冷却方法を工夫している。一方で、細径線材は、鋼材そのものの径が小さいため、表層と中心部での冷却速度差が小さい。よって、一般的な線材径 5.5mm 径の線材と比較して鋼材内部の冷却速度が速く、断面内の冷却速度が均一化され、鋼材組織の均一化が図れる。そのことを実際の組織写真図 2 で示す。5.5mm 径と比較して 4.0mm 径の線材は表層と中心部の組織に差が無いことが分かる。これは、2 次加工において熱処理を実施せずに伸線した場合の、伸線限界を改善し、ユーザーにおける工程省略、簡略化に寄与するものと考えられる(表 3)。

3.1.4 細径線材の伸線加工性

線材を 2 次加工で伸線する際、炭素量による伸線限界がある。図 3 に示す通り、低炭素量域、高炭素量域で伸線加工限界が低下する。低炭素量域は、粒界フェライト厚みの

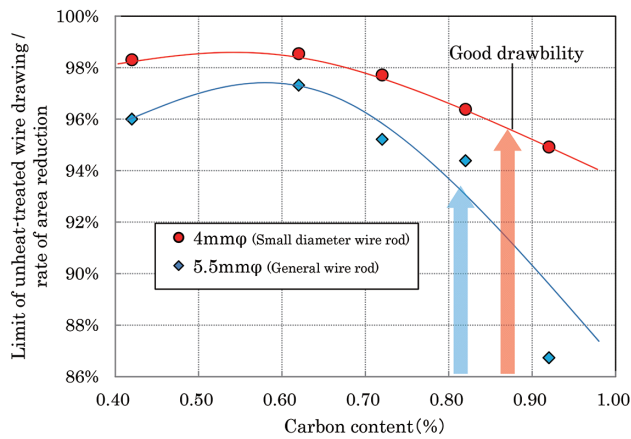


L.S.: Lamellar Space

図 2 5.5mm 径と 4.0mm 径線材の組織
Microstructure of 5.5mm ϕ and 4.0mm ϕ wire rod

表 3 細径線材適用による伸線工程省略事例
Examples of omitted drawing process by small diameter wire

	Wire rod	Drawing process					
Carbon 0.7%	5.5mm ϕ	→	3.0mm ϕ	→	0.9mm ϕ	→	0.175mm ϕ
	4.0mm ϕ	→	[omitted]	→	0.9mm ϕ	→	0.175mm ϕ
Carbon 0.8%	5.5mm ϕ	→	3.0mm ϕ	→	1.1mm ϕ	→	0.20mm ϕ
	4.0mm ϕ	→	[omitted]	→	1.1mm ϕ	→	0.20mm ϕ
Carbon 0.9%	5.5mm ϕ	→	2.3mm ϕ	→	1.0mm ϕ	→	0.40mm ϕ
	4.0mm ϕ	→	[omitted]	→	1.0mm ϕ	→	0.40mm ϕ



Note : Judgment criteria for the drawing limitation
 (1) Reduction of area $\geq 35\%$
 (2) Number of twist ≥ 25 times ($l=100d$)
 (3) Wrapping and unwrapping testes $\geq$ Pass rate : 90%
 (Wrapping around a core with the same diameter as that of the wire tested : 8times)

図3 炭素量と生引き限界（減面率）の関係
 Relationship between limit of unheat-treated wire drawing and carbon content

増加によるもので、高炭素量域ではラメラ間隔微細化、粒界セメンタイト増、セメンタイト厚みの増加によるものといえる。一方、図3には5.5mm径と4.0mm径の伸線限界を示すが、炭素量が高いほど加工限界に大きな差が生じていることが分かる。スチールタイヤコード用線材などでは、高強度化を図るため炭素量0.9wt%以上の材料が実用化されており、この炭素量量域で2次加工での伸線工程省略すなわち加工性改善を実現するためには、細径線材の適用が有効であることが分かる。

4. 結 言

細径線材の製造において、4.0mm径以下の製造技術を確立したことで、ユーザーにおける熱処理、伸線工程省略を可能とし生産性向上に寄与することができた。



舟山貴郎 Takao FUNAYAMA
 釜石製鉄所 製造部 技術室 主幹
 岩手県釜石市鈴子町23-15 〒026-8567