

RSB 圧延の高圧下率を活用した結晶粒微細化技術

Grain Refinement Technology Using High-Reduction Finishing Rolling with RSB (Reducing and Sizing Block Mill)

中崎 盛彦*

NAKASAKI Morihiko

1. はじめに

鉄鋼材料の結晶粒径制御は、強度、じん性などの機械的性質を設計するうえで重要な技術である。結晶微細化によって強度とじん性が向上することは良く知られている。結晶粒径制御のための適切な熱処理や加工条件の管理が、材料性能の向上につながる。

結晶粒制御は熱処理を通じて行われることが多い。この方法は、いったん条件を適正化すれば安定的に特性を確保しやすい。ただし、追加の工程となる場合はコストの上昇や処理に伴うCO₂排出による環境への負荷をもたらす。一方、結晶粒径は熱間加工の工程を通じて造り込むこともできる。そこで、工業的には加工と熱処理を組み合わせながら適切な組織制御が行われている。

本稿では、当社で実施している熱間圧延を活用してミクロ組織を作り込む技術について紹介する。

2. 圧延と結晶粒径との関係

一般に、棒鋼圧延プロセスは粗列・中間列・仕上列より構成される20-30スタンドの連続圧延である^{1), 2)}。2

ロールの圧延ロールは水平、垂直交互に配置され、円-楕円-円というように断面形状を変えながら断面積を減じつつ圧延される。棒鋼圧延プロセスは角ビレットから開始されることが多いが、当社では鑄片（ブルーム）を圧延した中間製品として丸形状のビレットを使用していることから、棒鋼圧延はラウンド-オーバルパスを使用している。

圧延製品で重視される形状精度に関し、それを向上させるにはミル剛性を高めてミル自体の弾性変形を抑制することが重要である。それと同時に、リダクションが小さい方が一般的に有利であることから、最終製品形状に仕上げのサイジング圧延のリダクションは小さくすることが多い^{3), 4)}。一方、特定温度域で熱間加工により軽度のひずみが導入された場合、オーステナイト結晶粒の粗大化が起ることが報告されている^{5), 6)}。棒鋼製品のオーステナイト結晶粒径（結晶粒度）については、顧客と必要な仕様を取り決めておく場合がある。従って、製品の寸法精度と結晶粒径の要求を満足する圧延技術の確立が重要となってくる。

当社は、図1に示すように従来は粗列-中間列-仕上列圧延に加えて4ロールのPFM圧延機ならびに3ロールのPSB圧延機を組合せたサイジング圧延によって棒鋼製品の寸

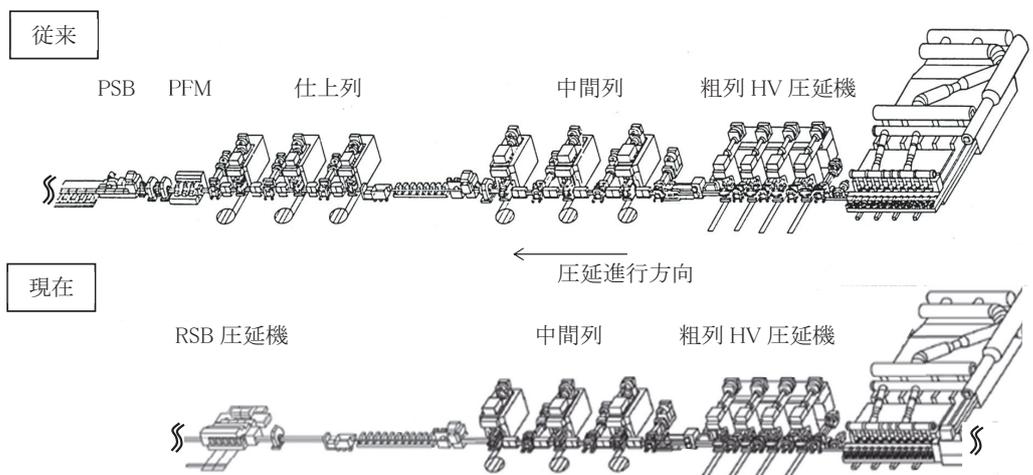


図1 山陽の中小形圧延レイアウト

* 品質保証部 部長 博士 (工学)

法精度を確保していた⁷⁾。その後、主力の中小形圧延工場の圧延のパススケジュールの変更⁸⁾、CAE解析技術の高度化により圧延プロセスの改良を図ってきた。しかし、同プロセスでは前述の結晶粒粗大化の問題の解消が難しいこともあり、2019年にミル剛性の高いRSB圧延機（Reducing and Sizing Block mill：ドイツKOCKS社製）を新規に導入し、高リダクションの仕上圧延を実現した⁹⁾。

以降では、RSB圧延機の特長と、それを活かして製造可能となった高リダクションの圧延棒鋼における結晶粒の特徴について紹介する。

3. 当社で導入したRSB圧延機について

当社のRSB圧延機の外観を図2に、導入前後の当社の棒鋼圧延機の構成比較を表1に示す。従来はPFM（4ロール）-PSB（3ロール）による仕上圧延を行っていた⁵⁾。形状精度を重視するため軽圧下を行っており、肌焼鋼製品のごく一部で混粒が発生しやすいという課題があった。

現在の棒鋼圧延機は、従来の粗列-中間列までと仕上列とサイジング圧延に代わるRSB圧延機からなる構成としている⁸⁾。当社のRSB圧延機は3ロールを120°配置した圧延機を複数台（5スタンド）並べたブロックミルであり、コンパクトにロールを配置することで温度低下を防ぐことができる。またコンパクトでありながらミル剛性が高く、従来の仕上圧延機では不可能であった高リダクションでの圧延を実現している。これにより、鋼材の結晶粒径制御において重要な最終圧延段階でのひずみ制御の自由度を高めている。また、RSB圧延機はサイズフリー圧延（同一ロールのギャップ調整によって異なるサイズの製品を圧延する方法）が可能なることも特長である。主なRSB圧延機の特徴について下記に示す^{10),11)}。

- ① 高精度な寸法制御
- ② フレキシブルなサイズ変更
- ③ 優れた圧延温度の管理性
- ④ 省エネ・省スペース



図2 RSB圧延機の外観⁸⁾

表1 圧延機構成の比較⁸⁾

	従来圧延機	RSB圧延機導入後
粗列	H-V圧延機8スタンド	←
中間列	H-V圧延機6スタンド	←
仕上列	H-V圧延機4スタンド	3ロール×5スタンド *仕上列,PFM,PSB廃止
仕上圧延	PFM 4ロール×2スタンド PSB 3ロール×3スタンド	
寸法	φ16~95	φ16~95

4. 結晶粒径の微細化のための高ひずみ付与の活用

一般的な仕上圧延工程におけるサイジング圧延のリダクションは低く、概ね数%程度にとどまる。この加工における相当塑性ひずみは最大で0.15程度と報告されている⁵⁾。熱間加工温度域で相当塑性ひずみ0.06~0.15を加えると結晶粒が粗大化する懸念があるとされている⁵⁾。

RSB圧延の場合、各圧延スタンドの3ロールの配置をY字、逆Y字型の順に配列して圧延を行う。当社のRSB圧延機は最大で5パスの圧延を行い、リダクションとして30~70%の範囲での圧延が可能である。当社のRSB圧延機で70%のリダクションで圧延後の鋼材の断面ひずみ分布のCAE解析結果を図3に示す。比較的均一なひずみ分布であり、ひずみ量が低めとなる中心でも相当塑性ひずみは0.70と比較的高い。トータルのリダクションによって相当塑性ひずみの値は変化するものの、当社では最もリダクションが低い場合でも0.35を確保し、前述したオーステナイト結晶粒粗大化を誘発しやすいとされる相当塑性ひずみの範囲を超える高いひずみを付与することができる。圧延材における結晶粒の粗大化の起こりやすさは鋼種によって異なり、肌焼鋼で発生しやすいことが経験されている。対して、RSBによる圧延材では図4に示すように肌焼鋼での結晶粒粗大化は生じておらず、微細な結晶粒を保持している。このように高い剛性を持つミルで加工して高ひずみを付与することにより安定的な結晶粒の微細化が期待できる。

加えて、当社では仕上列以降の圧延をサイズフリー圧延が可能なるRSB圧延機にまとめたことにより、操業上の段取り替え時間の削減メリットによる合理化効果も得られている⁸⁾。さらに、コンパクトなミル構成により省スペース内で圧延を完了させることで圧延温度の均一化が可能となっている。これにより圧延棒鋼のミクロ組織の安定制御に寄与している。

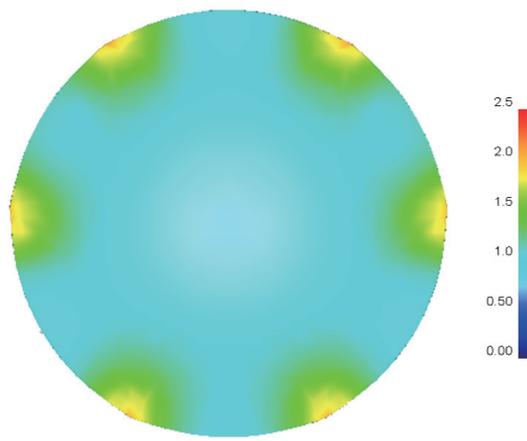
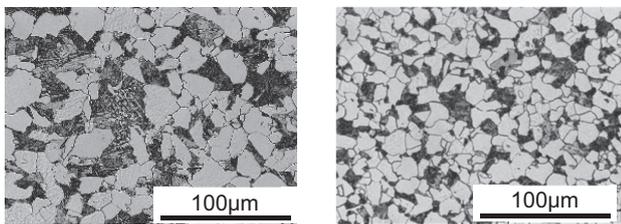


図3 RSB圧延後の断面ひずみ分布
(5パス、Total Reduction=70%)



従来パス

RSB

図4 RSB圧延機の高ひずみ付与で得られる結晶粒の観察例

(2001) 51-58.

- 9) 石橋直弥：山陽特殊製鋼技報, 28 (2021) ,71-73.
- 10) 関隆一, 長谷川光一, 中島健治, 吉村康嗣：新日鉄技報,386 (2007) , 20-27.
- 11) 新日鉄技報,389 (2009) ,85-90.

5. おわりに

RSB圧延機の導入による仕上圧延工程での高ひずみ付与により、結晶粒を微細に制御する技術を実現した。これにより、鋼材の機械的特性の均一化や硬さ制御による冷間鍛造前焼鈍の省略が可能な鋼材の実現に期待ができる。今後も部品製造におけるコストダウンやカーボンニュートラル化への寄与に向けて本技術の活用に取り組んでいく。

参考文献

- 1) 鉄鋼便覧Ⅲ (2) , 862 (1980) , 日本鉄鋼協会
- 2) 野口幸雄：経営情報学会 全国研究発表大会要旨集,2008f (2008) ,A1-3.
- 3) 稲守宏夫：電気製鋼70-1 (1999) 27-34.
- 4) 串田仁, 服部重夫, 森賀幹夫：神戸製鋼技報,50-1 (2000) ,25-28.
- 5) 根石豊, 秋山雅義, 井上欣広：塑性と加工,38-438 (1997) ,637-641.
- 6) 根石豊, 秋山雅義, 黒田浩一：塑性と加工,39-454 (1998) ,1134-1138.
- 7) 桑名隆：山陽特殊製鋼技報, 4 (1997) 92-94.
- 8) 中崎盛彦, 西村信己：山陽特殊製鋼技報, 8