

表面性状に優れた高級特殊鋼製造プロセス

High-Grade Steel Manufacturing Process for Superior Surface Property

1. はじめに

JFE スチール西日本製鉄所（倉敷地区）の鋼片工場では、 $\square 150\text{ mm}$ の角ビレット、 $\phi 175\text{ mm}$ の丸ビレットを次工程の棒線圧延の前素材として製造している。表面品質厳格用途に対しては、 $\phi 175\text{ mm}$ 丸ビレットの表面を全長、全周皮むき（ピーリング）したピーリングビレットを素材として適用している。コイル製品は、熱間かつ圧延時の振れのため圧延後の表面探傷検査が困難である。そこで、前素材のビレットの表面疵検査が非常に重要であるため、ピーリングビレットの表面疵探傷機を更新した。今回、更新に伴い実現した探傷性能向上の技術について紹介する。

2. 鋼片工場設備概要

2.1 ピーリングライン

鋼片工場で圧延した丸ビレットは、**図 1** に示すピーリングラインで表面を全長、全周ピーリングした後、表面疵探傷機で自動検査をする。表面疵が発見された場合は、グラインダーで疵部を研削除去した後再度表面疵探傷を実施し、疵なしと判定されたビレットは次工程の棒線工場に搬送する。従来は、表面疵探傷機として渦流探傷機（EC）を使用していたが、2020 年に探傷性能向上を目的として漏洩磁束探傷機（MLFT）に更新した。

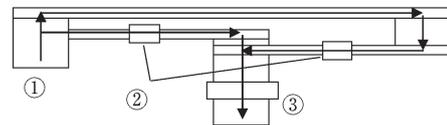
2.2 表面疵探傷設備

丸ビレットの表面検査を行う探傷設備の概要を**図 2** に示す。丸ビレットをターニングローラーで回転させながら励磁コイル、検出プローブを長手方向に動かすことで全周検査を実施する。EC の場合、励磁コイルで丸ビレットに渦電流を発生させると健全部と比較し疵部で渦電流の変化が生じる。MLFT の場合、励磁コイルで丸ビレットを磁化させると健全部と比較し疵部で磁束の変化が生じる。その変化をプローブで検出することで、表面探傷を行う。

3. 探傷性能向上の技術開発

3.1 探傷設備変更による探傷性能向上

表面疵探傷設備の探傷性能の指標として一般的に S/N 比が用いられる。S/N 比とは、出力 (Signal) とノイズ (Noise)



①Material supply bed
②Peeling machine
③Surface flaw detector
(Update Eddy Current Tester (EC) to
Magnetic Leakage Flux Tester (MLFT))

図 1 ピーリングラインレイアウト

Fig. 1 Layout of peeling line

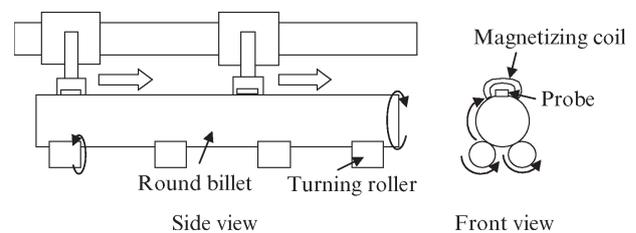


図 2 表面探傷設備の概要

Fig. 2 Schematic of surface flaw detector

の比を表しており、S/N 比が大きい方がノイズに対する疵信号の出力が大きいため、過検出が少なく表面疵探傷性能が優れている。S/N 比を向上させるにはノイズを低減させる必要がある。ノイズの影響因子として、①リフトオフ（検出プローブと検査対象材の間）、②表面粗さ、③被検体の鋼種、④励磁周波数があるが、①～③はコントロールできないため、④に着目した。

表面粗さによって生じるノイズは探傷深さに依存し、探傷深さが深いほど表面粗さの影響を抑制しノイズを低減できる。探傷深さの指標として、電流密度が表面に対して 0.368 倍に減少する深さである浸透深さが挙げられる。浸透深さは励磁周波数の 1/2 乗に反比例する。MLFT の励磁周波数は EC に対して 1/16 であるため、EC を MLFT 化することで浸透深さを約 4 倍にでき、表面性状の影響が少ない状態で探傷が可能となる。

探傷性能を評価するために、人工欠陥を加工したオンラインテストピース（オンライン TP）で探傷テストを実施した。EC、MLFT について、人工欠陥深さに対する S/N 比をプロットしたグラフを**図 3** に示す。MLFT の S/N 比は EC に対して約 3～12 倍と大幅な改善がみられた。

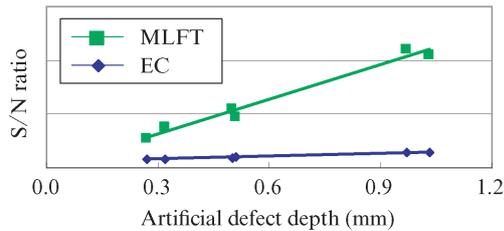


図3 人工欠陥深さとS/N比の相関

Fig. 3 Correlation between artificial defect depth and S/N ratio

3.2 探傷方式変更による探傷性能向上

オンラインTPの人工欠陥は、疵が開口しており深さ方向に傾きがない。一方、自然欠陥は疵が閉口していたり深さ方向に傾きがあったりするため、人工欠陥と同じ疵深さであっても検出感度が低下することがある¹⁾。自然欠陥の検出感度の低下による疵見逃しを防止するため、従来適用していたY方式に加えて θ 方式を導入した。疵位相と探傷方式の説明を図4に示す。灰色が疵による出力である。Y方式の場合は、出力のY切片がMLFTでのチャート出力となる。 θ 方式の場合は、検出範囲に対して出力の絶対値がMLFTのチャート出力となる。自然欠陥出力の位相の傾きが小さい場合、Y方式では出力が小さくなり、疵検出が困難となる。 θ 方式では検出範囲に入っていれば傾きに関係なく絶対値が出力されるので、Y方式に比べ出力が大きくなり、疵検出が容易になる。今回、Y方式と θ 方式の併用により、自然欠陥においても実疵深さ相当の疵出力が得られ、疵検出能力向上を図ることができた。

3.3 ビレット端部の探傷ヘッド追従性改善

探傷する対象であるピーリングビレットは圧延材であり、最先端のロール噛み込み時のインパクトドロップのため、先端曲がりが発生しやすい。MLFTは、ターニングローラーでビレットを回転させながら探傷するため、曲がりが多いと探傷時の探傷ヘッドの振動が大きくなり、ノイズが発生しやすい。また、探傷ヘッド前後にガイドローラーがあるが、端部不感帯を短縮するために片方のガイドローラーがビレットから外れた状態で探傷される。その際は、磁化ヨークを保護する超硬のヨークシュー等が回転するビレットと接触することになり、振動によるノイズが発生しやすい。そこで、ビレット端部を、不感帯を短縮し、かつノイズの影響を抑えて探傷できる設備構成を検討した。

更新したMLFTの概要図を図5に示す。ヨークシューの代わりにヨークローラーを設置することで、探傷ヘッドがビ

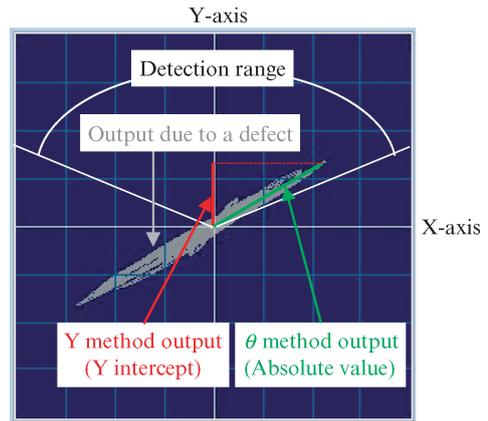


図4 疵位相と探傷方式

Fig. 4 Defect phase and flaw detection method

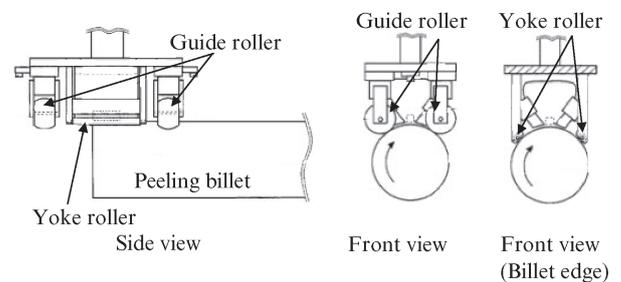


図5 MLFTの概要図

Fig. 5 Schematic of MLFT

レット回転に追従し、振動が防止される仕様となっている。ヨークローラー化したことで、端部探傷時のノイズによるオフライン検査発生率を大幅に低減できた。

4. おわりに

鋼片工場の表面疵探傷において、①ECのMLFT化によるS/N比向上、②Y方式と θ 方式の併用による自然欠陥検出能力向上、③ヨークシューのローラー化による端部追従性向上、等の探傷性能向上を実現できた。今後も、日々レベルアップするお客様の品質ニーズに対応すべく、技術開発に積極的に取り組んでいく所存である。

参考文献

- 1) 丸棒の微小表面欠陥検出技術. JFE 技報. 2017, vol. 39, p. 60-61.

〈問い合わせ先〉

JFE スチール 棒線事業部 倉敷棒線部 棒線技術室
TEL: 086-447-3132 FAX: 086-447-3111