

(技術資料)

鋼片加工工場リフレッシュ工事の概要

Outline of Renewal and Improvement of Billet Conditioning Line



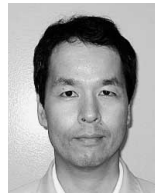
前田 悟*1
Satoru MAEDA



高岡克也*1
Katsuya TAKAOKA



前川祥二*2
Yoji MAEKAWA



和佐泰宏*3
Yasuhiro WASA

March 2009 saw the completion of improvements to surface and internal defect inspection equipment and defect removing machinery at the Kobe Works billet conditioning yard. During this refurbishment program, the shotblast machine, automatic magnetic particle inspection system, ultra-sonic detector, auto milling machine and manual magnetic particle inspection system were all revamped with the aim of improving the quality assurance of the equipment, and raising the level of production. The program was successful and with renewed use production has increased, with a decrease of residual surface defects.

まえがき＝当社神戸製鉄所では特殊鋼線材・棒鋼製品を主として製造している。代表的なものとして冷間圧造用線材や軸受鋼などが挙げられ、主に自動車向け部品の素材に使われている。これらの製品に求められる品質要求は高強度・高寿命化であるが、顧客からの品質要求は近年ますます厳格化する傾向にある。

顧客製品の品質には素材として使用される圧延鋼材の欠陥の有無が大きく左右し、圧延鋼材の品質は圧延段階での表面・内部欠陥の残存状況に大きく依存する。一方で鋼材製造側の観点では、これらの要請への対応に加え、製造コストを低減することが課題となっている。

このような状況のもと、神戸製鉄所鋼片加工工場は鋼片での検査・疵（きず）取工程を担うべく1980年より稼動している。稼動後30有余年を経て、老朽化した設備の更新による安定操業の確保、厳格化する品質要求に対応した鋼片品質保証度の向上、およびさらなる処理能力向上による労働生産性の改善を達成させるべく、リフレッシュ更新工事を行い、2009年3月に完工した。以下に、設備更新概要を述べる。

1. 鋼片加工工場における設備更新概要

鋼片加工工場における自動探傷ラインの工程は以下に示すとおりである。

- ①ショットブラスト：スケール剥離（はくり）除去
- ②自動磁粉探傷：表面疵自動検査
- ③超音波探傷：内部疵自動検査
- ④自動疵取：表面疵自動除去
- ⑤目視磁粉探傷：表面疵再検査

上記検査・疵取工程を経た後、鋼片は圧延工場へ搬送される。

この度のリフレッシュ工事においては、探傷装置、疵取装置の更新を行った。

1.1 ショットブラスト装置

1.1.1 スケール剥離性能の改善

更新前後のショットブラスト装置の設備仕様を表1に、またショットブラスト改善前後のビレット幅方向投射密度を図1に示す。ショットブラストのスケール剥離性能は鋼片搬送速度に依存し、従来では低・中炭素鋼には40m/min、低合金鋼（30C以下）は30m/min、スケール剥離性の低い軸受鋼や高合金鋼（30C以上）、および高炭素鋼は25m/minで搬送していた。今回の更新では、

表1 ショットブラスト装置の設備仕様
Table 1 Specifications of shotblast machines

Item	Specification	
	Old type	New type
Incidence (kg/min)	480	720
Motor capacity (kW)	30	45
Incidence density (kg/m ²)	46	60

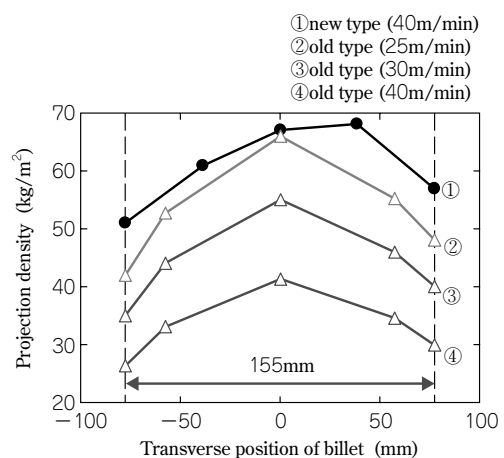


図1 鋼片幅方向位置の投射密度の新旧比較
Fig. 1 Comparison of projection density (a) old type and (b) new type

*1 鉄鋼事業部門 神戸製鉄所 線材条鋼圧延部 *2 鉄鋼事業部門 神戸製鉄所 線材条鋼圧延部 (現 鉄鋼事業部門 技術総括部) *3 技術開発本部 生産システム研究所

ショット球を投射する駆動モータの容量増強を行い、単位時間あたりの投射量を従来比 1.5 倍に向上させた。さらに投射密度の幅方向の分布を変え、中心部分の密度を下げ、幅方向の密度を上げた。本改善により、幅方向の最低投射密度部においても搬送速度 40m/min の条件でも全鋼種に対して旧設備の 1.3 倍の投射密度を確保し、スケール剥離性の確保と同時に搬送速度向上による処理能力増強を実現させた。

1.2 自動磁粉探傷設備¹⁾

自動磁粉探傷設備の更新前後の設備仕様を表 2、設備概要を図 2 に示す。探傷工程ではまず、搬送中の鋼片（ショットブラストによるスケール剥離済）に蛍光磁粉液を散布する。鋼片は極間磁化方式によって走間磁化し、蛍光磁粉が表面疵部に凝集する。これを紫外光源の照明光により可視化させ、ITV カメラにて撮像し疵を検知する仕組みである。

1.2.1 カメラ分解能の改善

更新前後でのカメライメージを図 3、同一欠陥をエリアカメラおよびラインカメラで撮像した画像を図 4 に示す。本更新では、従来のエリアカメラからラインカメラへ変更することによって 200 倍の撮像分解能を可能とした。従来方式では紫外線照度が低いうえにカメラ感度も

表 2 自動磁粉探傷装置の設備仕様

Table 2 Specifications of automatic magnetic particle inspection systems

Item	Specification	
	Old type	New type
Camera type	area camera	line camera
Pixel size (mm)	0.36 × 8	0.11 × 0.11
Number of magnetic coils	2	3
Table rate (m/min)	25	40

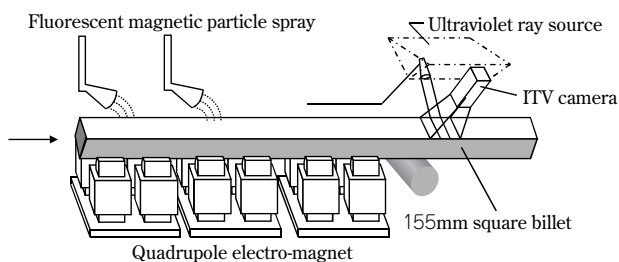


図 2 新自動磁粉探傷装置の設備概要

Fig. 2 New automatic magnetic particle inspection system

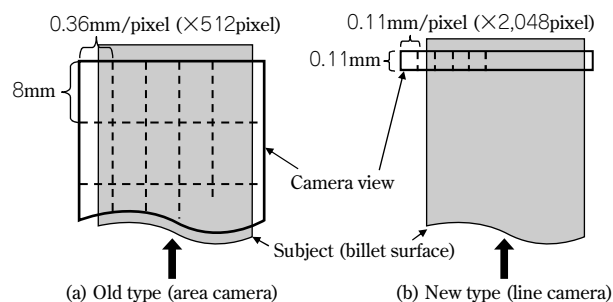
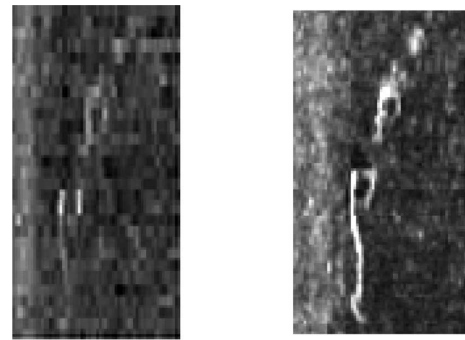


図 3 更新前 (a)、更新後 (b) のカメラ画像イメージの比較

Fig. 3 Comparison of camera view image between (a) old type and (b) new type



(a) Area camera

(b) Line camera

図 4 (a) エリアカメラ、(b) ラインカメラによる欠陥画像

Fig. 4 Defect image of (a) area camera and (b) line camera

低い。このため、シャッタ速度が遅くなって像流れが発生し、鋼片長手方向の分解能が低い。更新後では紫外線照度を高めたうえで高感度カメラを使用することによってシャッタ速度を大幅に上げることが可能となった。その結果、像流れは無視できるレベルとなってカメラ分解能を向上させることができ、従来は長さ 10mm 以上が限界であった疵検知が 5mm でも可能であることを確認した。

1.2.2 疵検出性能の向上

疵をより検出しやすくする方策としては、通材時の磁化方法、磁粉液散布法の最適化、紫外光源照度の向上による指示模様の輝度向上が挙げられる。今回の改善では紫外光源を更新し、従来比で 5 倍の照度が得られる高輝度タイプのものを選定した。

1.2.3 疵判定アルゴリズムの高度化

カメラで捕えた高輝度部の指示模様のなかから有害欠陥を選択的に弁別する必要があることから、以下のアルゴリズムによる疵判定を実現した。

a) 独自の線分抽出フィルタの採用

搬送方向に伸びた割れ欠陥だけでなく、不定形のへげ欠陥も強調可能な多方向線分抽出フィルタを前処理として画像全体に施し、疵検出の SN 比を向上させる。

b) 動的 2 値化しきい値の適用

鋼片地肌輝度の平均値と標準偏差から疵判定 2 値化しきい値を算出して動的に変化させる。これにより、紫外光源の劣化や磁粉濃度変動への対応だけでなく鋼種による輝度変化にも対応可能となる。

c) 指示模様の形状による弁別

高輝度であるが面積の小さい磁粉だまりに対し、面積の大小によって除去するだけでなく、搬送方向に長い欠陥でもスリキズのような無害なものは幅方向サイズによって除去することで誤検出の低減を行っている。

1.2.4 メンテナンス性の向上

更新前におけるカメラ・紫外光源の設備架台機構は鋼片への追従式であったため、追従機構のメンテナンスが必要であった。更新後はカメラ・紫外光源架台を固定式にし、幅方向の位置ズレ補正をレーザ変位計によって行うことにした。これにより、設備の簡素化を図ることができ、追従機構のシリンダ部品などのメンテナンスを不要にすることができた。

1.2.5 疵分類情報の追加

検出した疵情報に対し、従来は位置座標のみの情報しか得ることができなかった。しかしながら更新後は、疵の縦／横長さ比情報から疵の分類（線状疵、へげ疵）情報を得る仕様を構築した。その結果、日々の鋼片の疵探傷結果から得られる疵分類情報から、前工程の品質状況を把握できることを可能とした。

1.3 鋼片自動超音波探傷装置

自動超音波探傷装置の更新前後の設備仕様を表3に示す。1981年に設置したこれまでの超音波探傷装置は稼働後24年が経過しており、老朽化によるトラブルの頻発や電装予備品の枯渇のため更新を行った。

1.3.1 感度校正作業の容易化

従来の感度校正作業では、超音波探傷の標準試験片（STB-V8）を用いてオペレータがプローブ全数の探傷感度を測定・調整していた。この作業には1時間程度要し、その間、探傷装置を休止させる必要があった。今回の更新では、通常操業で探傷する155mm角鋼片と同形状の感度校正用のテストピースを用いたオンライン感度校正を行うことができるようになった。これにより、感度校正時間を約8割短縮した。

1.4 鋼片自動疵取装置

自動疵取装置の外観写真を図5、自動疵取装置の更新前後の仕様比較を表4に示す。自動疵取装置の研削方式は、従来と同様のフライスカッタ方式を採用した。

1.4.1 疵取装置チップ形状の改善

図6に更新前後の自動疵取装置のチップ形状を示す。従来の疵取装置のチップは丸形チップを平行に配置した

表3 自動超音波探傷装置の設備仕様
Table 3 Specifications of automatic ultra sonic detectors

Item	Specification	
	Old type	New type
Frequency (Vertical angle)(MHz)	3	3
Frequency (Oblique angle)(MHz)	2	3
Number of Probes (ch/single-plane)	6	8
Table rate (middle part) (m/min)	30	40
Speed control	Beier cyclo	Inverter

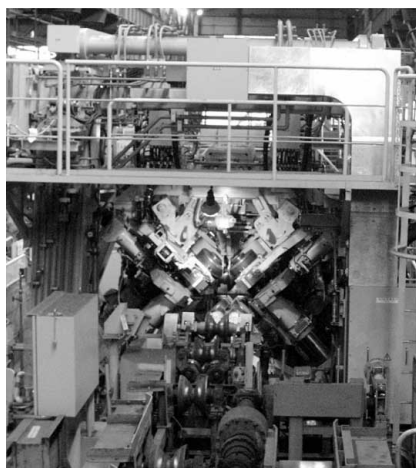


図5 自動疵取装置の外観
Fig. 5 Appearance of automatic milling machine

カッタ形状であった。更新後のチップはだ円形状とし、さらにチップを千鳥配置にすることによって切削幅を大きく取れるようにしている。

1.4.2 切削深さの改善

カッタ駆動モータ容量を従来に比べ1.7倍に増強することにより、従来1.5mmであった研削深さを3.0mmまで可能とした。また、チップ研削部の曲率を緩やかにする（Rを大きくする）ことにより、深く切削しても鋼片に有害な鋭利なくぼみができない形状とした（図6）。

1.5 目視磁粉探傷装置の更新

目視磁粉探傷装置の更新前後の設備仕様を表5に示す。

1.5.1 磁化方式の改善

磁化方式の違いによる磁場形成方向の違い、および人工欠陥試験片での見え方の違いを図7に示す。従来の磁化方式は2極極間方式であり、磁場は鋼片の幅方向に分布する（図7(a)上）。このため、鋼片長手方向の疵に対しては磁粉が凝集して見やすい反面、幅方向に対しては指示模様が形成され難い状況（図7(a)下）であった。

表4 自動疵取装置の設備仕様
Table 4 Specifications of automatic milling machines

Item	Specification	
	Old type	New type
Cutting method	Milling cutter	
Number of cutting units	4	
Arrangement of milling chip	parallel	staggered
Shape of milling chip	round	oval
Number of chips (piece)	24	32
Material properties of chip	ceramic metal	
Capacity of cutter drive motor (kW)	11.0	18.5
Max.milling width (mm)	13.0	43.0
Max.milling depth (mm)	1.5	3.0

表5 目視磁粉探傷装置の設備仕様
Table 5 Specifications of manual magnetic particle inspection systems

Item	Specification	
	Old type	New type
Number of magnetic coils	2	3
Magnetization type	double-pole	quadru-pole
Length of magnetic field (mm)	540	1,800
Magnetization time (s)	1.3	2.7
Table rate (m/min)	25	40

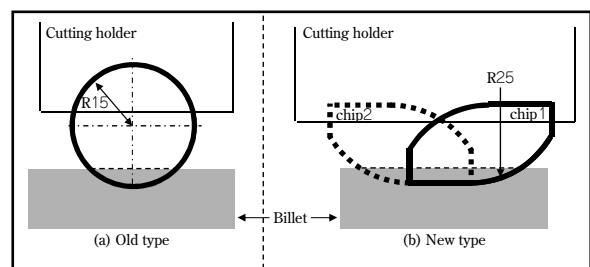


図6 更新前(a)、更新後(b)のカッタチップ形状
Fig. 6 Milling chip shape of (a)old type and (b)new type

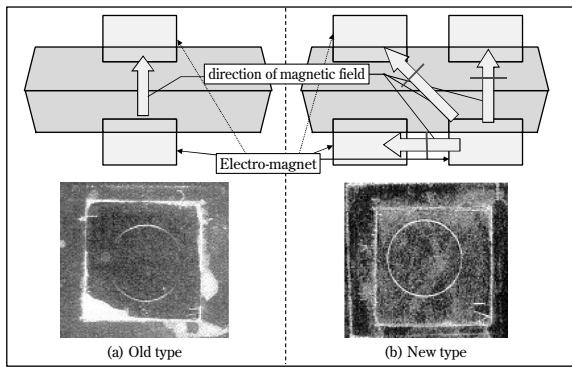


図7 磁場形成方向と人工欠陥の見え方の更新前(a), 更新後(b)での比較

Fig. 7 Comparison of direction of magnetic field (upper) and visibility of artificial defect (lower) between (a)old type and (b)new type

これに対し、4極極間方式とした更新後は、鋼片の幅方向に加え、長手方向にも磁場が形成されるため、長手方向の疵だけでなく幅方向の疵に対しても同等の指示模様を形成することを可能とした(図7(b)下)。

2. 品質改善効果

2.1 表面疵保証度の改善

図8にリフレッシュ工事前後での目視磁粉探傷時における残存表面疵個数指数の比較を示す。更新後は約50%低減しており、残存疵流出リスク低減に寄与していることを確認した。

2.2 処理能力の改善

図9にリフレッシュ工事前後での鋼片加工工場の処理量の比較を示す。更新前後で約10kt/月の処理量増を達成し、処理能力が向上した。

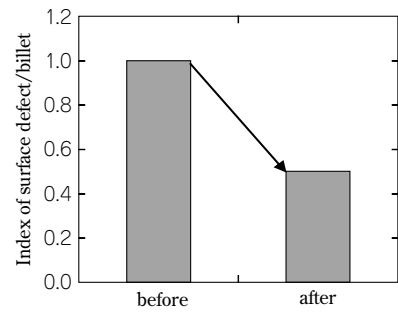


図8 更新前後の目視磁粉探傷後の表面疵個数指数
Fig. 8 Index of surface defect after manual magnetic particle inspection of before and after improving

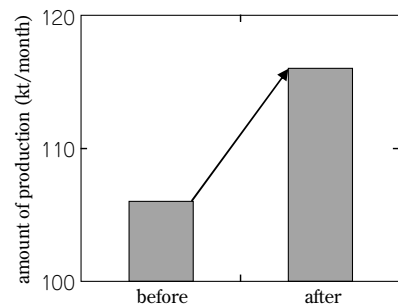


図9 更新前後の鋼片処理量
Fig. 9 Amount of production of before and after improving

むすび＝当社神戸製鉄所鋼片加工工場は、リフレッシュ工事以後順調に稼働している。今後、これらの設備の能力を最大限に発揮させ、コストダウン、品質向上に努めていく所存である。

参考文献

- 1) 小川岳夫ほか：神戸製鋼技報，Vol.50, No.1 (2000), p.69.