

技術報告 ビレット用噴霧冷却設備の開発とその稼動実績

中村 修*・田浦 幹彦*³・三塚 正志*³
森瀬 兵治*⁴・末永 顕二*⁵・君島 潔*⁶

Development of the Billet Cooling Facilities Using Fog-jet Cooling and Its Operational Performances

Osamu NAKAMURA, Mikihiko TAURA, Masashi MITSUTSUKA,
Heiji MORISE, Kenji SUENAGA, and Kiyoshi KIMISHIMA

Synopsis:

New fog cooling facilities for billets have been developed at Kamaishi Works, Nippon Steel Corporation. The facilities have a walking beam type cooling bed, and as-rolled hot billets are arranged on their corners and rotated on the bed in walking.

The billets are natural-cooled from the initial temperature to about 550°C (core temperature) at the front part of bed and then fog-jet-cooled to about 100 °C at the later part.

In this report the following items are described: the new techniques developed, the basic design and main specifications of the facilities, the passages of constructions and operational performances, improved points and unsettled problems, and others.

Main techniques developed are the billet straightening mechanism using billet pusher, the system of on-corner arrangement and rotation of billets on the cooling bed, and the fog jet cooling device of billets having the crossflow type nozzles.

This instalation has been smoothly operated since June 1975 with a sufficient cooling capacity using the fog-cooling method for all billets containing carbon lower than 0.75 wt%. This has given no cracking and less deformation, very small reject level of billets (about 0.05%), and no nozzle clogging for about eight years.

1. 緒 言

新日本製鉄(株)釜石製鉄所では、線材コイルの大単重化のため、ビレット(以下 BT と略記)を大形化(2t)することが計画された。この計画に際し、鋼片工場の精整工程を単純化する目的で、BT 冷却床の1面化が検討された(従来は3面)。既存工場の建屋制約から長さ約33mの冷却床で最大320t/hのBT(121mmφ、冷間状態の値、以下同じ)を処理するには、すべてのBTを強制冷却することが必要である。このような理由から、新冷却床の設計に際し、前報¹⁾に記述した「ビレット噴霧冷却技術」を全面的に新冷却床に導入することにした。

本報告では、「ビレット転回搬送式冷却床」およびこの冷却床に設置された「ビレット噴霧冷却設備」につい

ての開発経過とその稼動状況について記述する。なお、これらの設備は、釜石製鉄所鋼片工場において昭和50年6月から順調に稼動している。

2. 冷却床および噴霧冷却設備の設計

2.1 冷却床および強制冷却設備の具備条件

冷却床および強制冷却設備の具備条件およびそれに対応する対策は下記のとおりである。

- i) 冷却後のBT曲がりの防止→プッシャ矯正、たわみ防止、水冷曲がり防止。
- ii) 冷却床で発生するBTの割れや疵の防止→ウォーキングビーム方式の採用、均一冷却、弱冷却。
- iii) 強制冷却によつて発生するBTの望ましくない組織の防止→均一冷却、弱冷却。
- iv) 冷却床1面で最大320t/hのBTの確実な冷却

昭和57年9月本会講演大会にて発表 昭和58年2月21日受付 (Received Feb. 21, 1983)

* 新日本製鉄(株)釜石製鉄所 (Kamaishi Works, Nippon Steel Corp.)

*² 新日本製鉄(株)釜石製鉄所 (現: 君津製鉄所) (Kamaishi Works, Now Kimitsu Works, Nippon Steel Corp.)

*³ 新日本製鉄(株)第三技術研究所 工博 (R & D Laboratories-III, Nippon Steel Corp., 1-1-1 Edamitsu Yawatahigashi-ku Kitakyushu 805)

*⁴ 新日本製鉄(株)第三技術研究所 (R & D Laboratories-III, Nippon Steel Corp.)

*⁵ 新日本製鉄(株)設備技術本部 (Plant Engineering & Technology Bureau, Nippon Steel Corp.)

*⁶ 新日本製鉄(株)工作事業部 (Plant & Machinery Divisions, Nippon Steel Corp.)

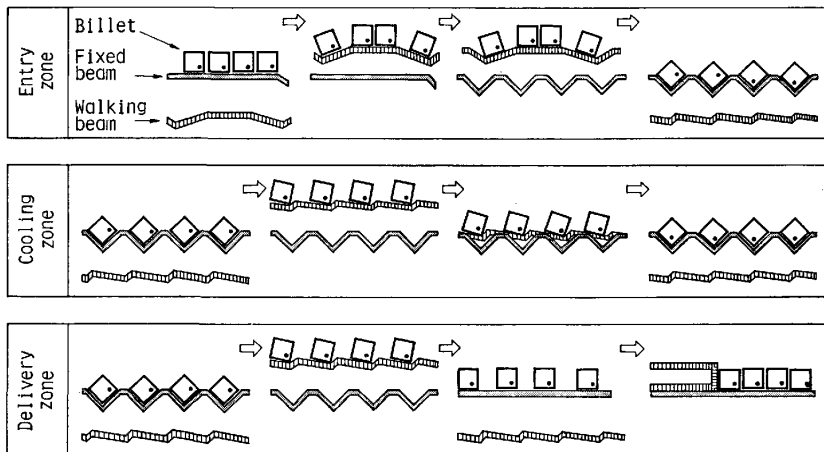


Fig. 1. Schematic illustration of billets rotation process on the walking beam type billet cooling bed.

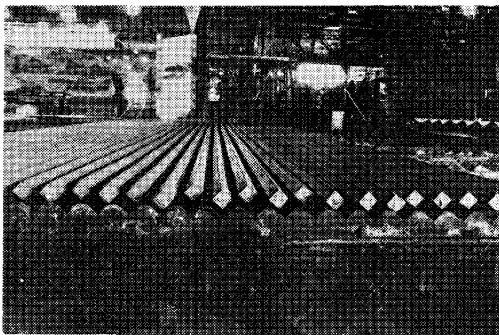


Photo. 1. A view of billets arrangement on the billet cooling bed.

→強制水冷（噴霧冷却）の採用。

v) 冷却床および冷却設備が前後工程へ及ぼす制約の除去→設備故障の防止，BT の曲がり・疵の防止。

vi) 設備費・運転費の低減→設備の単純化。

vii) 良好な作業環境の確保→排蒸設備，消音設備の設置。

前報¹⁾の研究結果や従来の操業経験を参考にし，上記条件を満たす設備を設計した。

2.2 冷却床の設計

BT のすり疵防止のため，冷却床にはウォーキングビーム方式を採用した。そして高温ゾーンにおけるBT のたわみ軽減のため，定常部のビーム間隔（固定-固定）を約 2500 mm とし，圧延機側のそれは短尺材の端部曲がり対策のため，それより狭くした。

熱間圧延後スキューラ上に集積された BT（2～4 本）を，プッシャでストップ（17 個）に押し付けて大曲がりを矯正した後，密着配置のまま冷却床へ移す。BT は，1 回目の搬送によつて菱形配置にされ，2 回目以後の搬送に際しては各搬送ごとに 90 度転回され，払出しゾーンに移される時再び密着配置にされる（Fig. 1 と Photo. 1 参照）。

BT の対角線長さは 163 mm であるが，プッシャで矯正できない端曲がり最大 50 mm 程度残るため，BT 間隔を 220 mm にした。自然冷却ゾーンの長さは，平均生産量の時 BT が約 550°C（中心）まで降下する時間（44.5 min）に対応する約 22m，噴霧冷却ゾーンのそれは，5 回搬送分（平均 8.5 min）に対応する 4.4m，そして払い出しゾーンのそれは，残りの約 6.6 m である（前報¹⁾の Fig. 10 参照）。

2.3 噴霧冷却設備の設計

(1) 水量および空気量

噴霧冷却ゾーン内 BT 滞在時間は，平均生産量で 8.5 min，最大生産量で 7.5 min である。実験結果（前報¹⁾ Fig. 4）によると，123 mm φ BT を約 550°C から上面 10，下面 20 l/m²・min の水量で噴霧冷却する場合，7.5 min 後には試料 B 以外の BT は 180°C 以下になり，8.5 min 後には全試料が 160°C 以下になる（温度は BT 中心，以下同じ）。本設備の仕様によると，BT 温度は，噴霧冷却ゾーン入口 560°C 以下，出口 180°C 以下だから，噴射水量を上面 10，下面 20 l/m²・min にすれば，平均生産量の場合，仕様は十分に満足される。本設備は実機 1 号機であること，および将来の操業変更に対処するため，水量を上記の 2 倍に設計した（上下合計 60 l/m²・min × 83 m² = 5000 l/min）。

一方，空気の吐出速度が 40 m/s であれば，上記水量を粗い噴霧流に微粒化することが可能なので²⁾，必要空気量を 2800 m³/min にした。最大水量の場合，水量と空気量の比（空気/水）は，容積比 0.56 m³/l，質量比 0.68 kg/kg である。

(2) ノズル配置

Fig. 2 に示すように，ノズルを BT の上下面のほぼ対称位置に配置し，ノズル間隔は，BT 長手方向約 300 BT 進行方向 220 mm（BT 間隔と同じ）である。ノズ

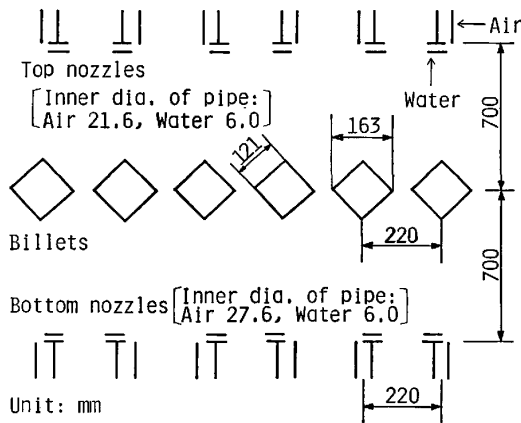
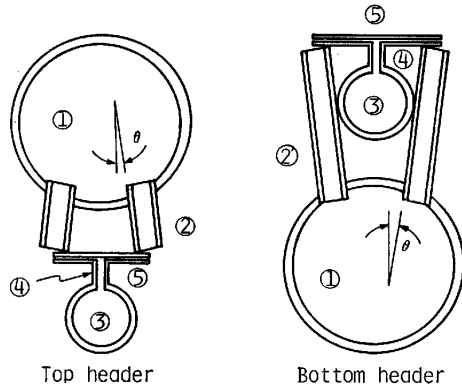


Fig. 2. Billets and fog nozzles arrangements on the billet fog cooling facilities.



①②②': Air pipe, ③④⑤: Water pipe Inner dia. of pipes(mm): ①204.7, ②21.6, ②'27.6, ③78.1, ④10.0, ⑤21.6, $\theta: 6^{\circ}50'$

Fig. 3. Header constructions of the billet fog cooling facilities.

ル数は、上面 1 280、下面 1 100 個であり、ノズル密度は、上面 15.4、下面 13.3 個/m² である。下面のノズル数が少ないのは、ノズルの配置がビームに制約されるためである。直交型気水ノズルから噴出する噴霧流の実効的広がり角度は約 15 度であるから²⁾、BT レベルにおける噴霧流の広がり考慮し、ノズル-BT 間隔を約 700 mm にした。

(3) ヘッダおよびノズルの構造

ノズルおよびヘッダの構造を Fig. 3 に示す。上下ヘッダとも水管⑤を給水管③より上部に取り付けたのは、冷却水をヘッダ(長さ: 約 4 400 mm)の長手方向に均一に噴出させるため、および冷却水中の浮遊物質を給水管内に沈澱させるためである。給水管に沈澱・堆積した物質を一定期間ごとに高圧水で除去するようにした。

ノズル閉塞防止のため、上下面ノズルとも、水管⑤の内径を 6 mm にした。さらに水管の清掃が容易にかつ確実にできるために、水管を両端開放の直管にした。下ヘッダの空気管②が上ヘッダのそれより太いのは、下面の

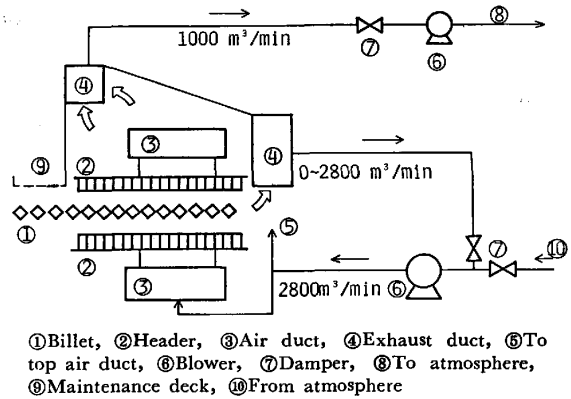


Fig. 4. Cross section view of the billet fog cooling facilities.

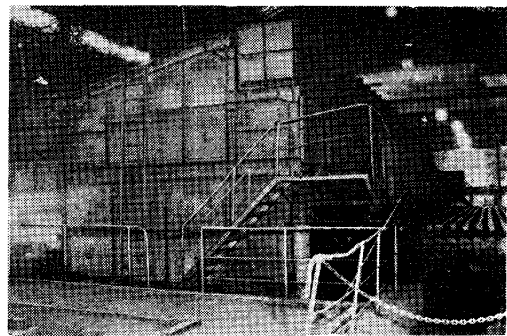


Photo. 2. A general view of the billet fog cooling facilities.

空気量が上面のそれより多いためである。

(4) 空気の流れ

Fig. 4 に示すように、送風ブロワ⑥で 2 800 m³/min の空気(蒸気、水滴を含む)が噴霧冷却ゾーンに供給され、吸引ブロワ⑥で最大 1 000 m³/min の空気が系外へ排出される。上記 2 800 m³/min の空気は 2 380 個のノズルから噴出されるが、その上下面の比(下/上)は約 1.4 である。

噴霧冷却設備では、ノズルから噴出された空気や BT から発生する蒸気の流れが冷却の均一性に影響するため、これらの制御は重要である。噴霧冷却ゾーン内の空気の流れや系外への流出量は、吸引ダクト④の吸引口の開度によつて制御される。なお、下部にも吸引ダクトを設置すべきと考えたが、スペース制約のため設置できなかった。噴霧冷却設備の外観を Photo. 2 に示す。

(5) 冷却水の流れ

Fig. 5 に示すように、冷却水はヘッドタンク①から上下給水管⑤⑥へ供給され、さらに各ヘッダ⑧⑨へ分配される。各ヘッダへの流量は流量計⑦と手動弁⑩で調整されており、操業中は電動弁③で上下面への供給量が制御される。弁⑩を開けば、圧力水(約 3 kg/cm²-G)が直接各ヘッダに供給され、この水によつてヘッダ管やノ

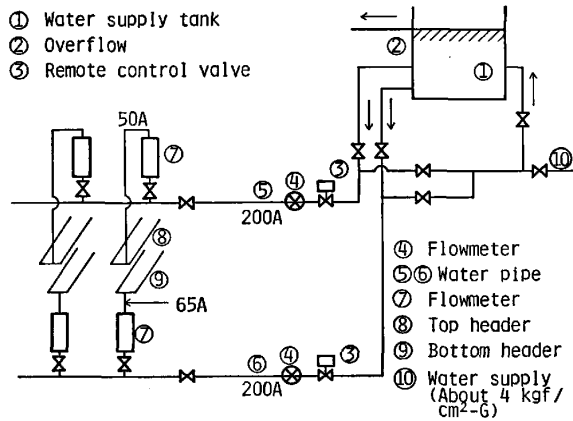


Fig. 5. Cooling water supply system the billet fog cooling facilities.

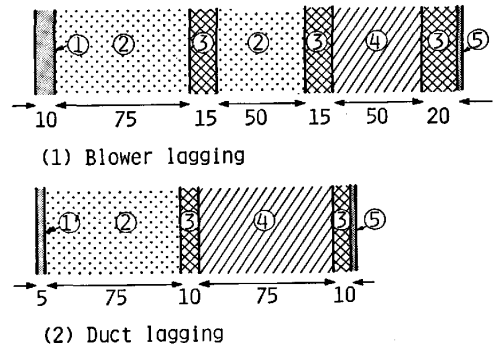


Fig. 6. Constructions of laggings for sound absorption of the billet fog cooling facilities.
 ①Blower casing, ①'Duct casing, ②Rock wool, ③Hard cement and hexagonal wire-netting, ④Gunned rock wool, ⑤Steel plate, Unit : mm

Table 1. Main specification of the billet cooling bed and the billet fog cooling facilities.

| Item | Specification (Initial spec.) |
|--------------------|--|
| Billet | Size (at room temp.): 121 mm square ×18 850 mm long (Max.) Production capacity : 320 t/h (Max.) Steel grade : Low to high carbon steels and low alloy steels |
| Billet temperature | Entrance of NC zone : 1 000°C (Core) Entrance of FC zone : Below 560°C (Core) Delivery end : Below 150°C (Average) |
| Cooling bed | Area : 20 250 mm wide×33 020 mm long Length of NC zone : 22 027 mm long (104 billets) Length of FC zone : 4 400 mm long (20 billets) Length of delivery zone : 6 593 mm long |
| Number of beam | Fixed beam Walking beam NC zone 10 9 FC zone 9 8 Delivery zone 10 0 |
| Header and nozzle | Header length : 4, 400 mm Number of headers : Top 32, Bottom 27 Number of nozzles : Top 1 280, Bottom 1 100 Construction : See Fig. 3 Material of header and nozzle : 18Cr-8Ni steel |
| Cooling water | Capacity of water : About 5 000 l/min (Max.) Water flux : Top 20, Bottom 40 l/m ² ·min (Max.) Water supply system : See Fig. 5 |
| Air and steam | Blower : 750 mm H ₂ O×2 800 m ³ /min×500 kW Exhaust blower : 210 mm H ₂ O×1 000 m ³ /min×75 kW Air flow system : See Fig. 4 Exit air speed at nozzle : About 40 m/s |

NC : Natural cooling, FC : Fog cooling

ズルが清掃される。この清掃のため、各ヘッダ管の端部は開放可能な構造になっている。

片側給水かつ 4 400 mm l の水ヘッダから冷却水を均一に噴出させるため、ヘッダの水平度管理は非常に重要である。

2.4 冷却床および噴霧冷却設備の仕様

冷却床および噴霧冷却設備の主な仕様を Table 1 に示す。

冷却後の BT 曲がりの目標値は 100 mm/18 m 以内であり、BT のプレス矯正率 (リジェクト率) の目標値は 0.5% (従来の実績値) 以下である。

送風機やダクトから発生する騒音を軽減するため、送

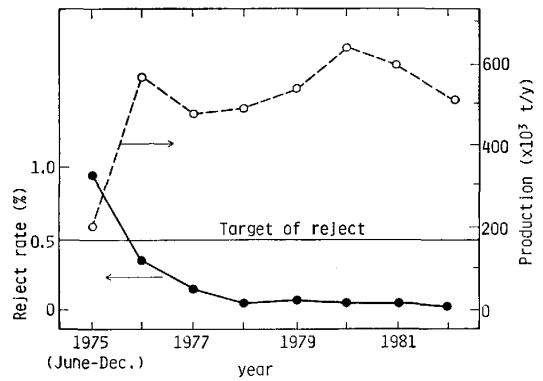


Fig. 7. The amount of billets cooled on the cooling bed and reject rate of billets suffered from deformation.

風機にサイレンサを設置し、その上送風機および送風ダクトの外側に吸音用ラギングを取り付けた。ラギングは、吸音効果の大きいロックウールで構成されている (Fig. 6 参照)。

3. 操業実績

3.1 操業経過

冷却床および噴霧冷却設備は昭和 50 年 6 月から現在 (昭和 58 年 2 月) まで順調に稼働している。稼働開始時には、後述するように種々のトラブルが発生したが、これらは稼働を続けながら解決された。

この冷却床で処理された BT 量 (空気噴射冷却材を含む) は、Fig. 7 に示すように、50~60 万 t/年、BT に換算すると 25~30 万本/年であり、この計画の第一目標である冷却床の 1 面化は十分に達成された。現在まで C 量 0.75 wt% 以下の BT は全量噴霧冷却されているが、BT および最終成品である線材に水冷による欠陥は発生していない。

3.2 ビレット温度

BT 温度の設計値と実績値は、

| | 設計値 (°C) (BT 中心) | 実績値 (°C) (BT 表面) |
|-------|---------------------|-----------------------|
| 冷却床入口 | 1 000 | 1 052 |
| 水冷帯入口 | 560 以下 | 499 |
| 水冷帯出口 | 180 以下 | { 160 (弱冷) 60 (強冷) |

である。したがって、本設備は BT 冷却の目標値を達成している。なお、噴射水量の設計値と実績値は、

| | 設計値 (l/m ² ·min) | | 実績値 (l/m ² ·min) | |
|----|-----------------------------|----|-----------------------------|----|
| | 常用 | 最大 | 弱冷 | 強冷 |
| 上面 | 10 | 20 | 3.2 | 18 |
| 下面 | 20 | 40 | 8.7 | 38 |

である。

BT 温度の設計値と実績値の差の原因としては、冷却床滞在時間 (設計<実績)、噴射水量、測温位置 (設計：中心、実績：表面)、BT 寸法 (設計：123 mm φ、実績：121 mm φ)、BT 表面性状 (設計：再加熱材、実績：圧延材) などの違いが考えられる。冷却床入口温度の差は、鋼片工場の操業条件の変更に起因している。

3.3 ピレットの曲がり

本設備の稼動開始直後には、冷却床、噴霧冷却設備、操業技術などに起因する BT の曲がりが多発した。曲がりの主原因は、可動ビームのストローク不整、自然冷却ゾーンと水冷ゾーンの仕切り不備、ヘッダの水平度不良、各ヘッダへの給水分布不良、排気ダンプの開度調整不良などである。しかし、これらの原因を順次解決することによつて、BT 曲がりは減少し、稼動開始 6 か月後には、曲がりの目標値 (リジェクト率：0.5%) が達成された。その後も曲がりは減少を続け、現在のリジェクト率は、目標値の約 1/10 のレベルである (Fig. 7 参照)。

3.4 被水冷材の範囲

当初計画では、本冷却床を通過する全 BT が噴霧冷却されることになつていた。しかし、本冷却床での処理量が設計値より少ないため、および高 C 材の生産比率が数%と低いと、最終成品 (線材) の安全性確保の観点から、C ≥ 0.75 wt% の BT を、噴霧冷却ではなく空気噴射冷却している。なお、噴霧冷却の水流を停止した状態を空気噴射冷却と呼ぶことにする。

本設備の約 8 年間の稼動実績によると、噴霧冷却または空気噴射冷却された BT から製造された成品 (主に線材) に強制冷却に起因する欠陥は発生していない。

3.5 ノズル閉塞

本設備の稼動開始後約 8 年間ノズル閉塞は発生していない。この理由は、水管内径を 6 mm と太くしたこと、および水管をヘッダより高い位置に設置したこと、ヘッ

ダ管内の流速が小さいため冷却水に混入している懸濁物質がヘッダ管内に沈澱・堆積すること、によるものと考えられる。なお、上記堆積物を、約 3 か月ごとに高圧水で除去している。

3.6 冷却水の抜熱効率

3.3 節に記述したように、弱冷時の噴射水量の実績値は設計値より少ない。BT の水冷開始温度の実績値が設計値より低いから、この分を補正しても、噴射水量の実績値は設計値より少ない。実験装置の場合 (前報¹⁾ Fig. 2 参照)、水冷ゾーンの幅が約 1 m と狭いため、BT に噴射された噴霧流は、BT に衝突後両側にスムーズに流出した。これに対し、本設備の場合、水冷ゾーン幅が約 4 m と広いため、噴霧流は BT に衝突した後も BT 近傍に滞在している。この現象が冷却水の抜熱効率を増大させているものと考えられる。

4. 設備の改造および課題

本設備の稼動後に発生した設備上のトラブルとその対策、および残された課題について記述する。

4.1 冷却床関連の改造

(1) ビームのき裂

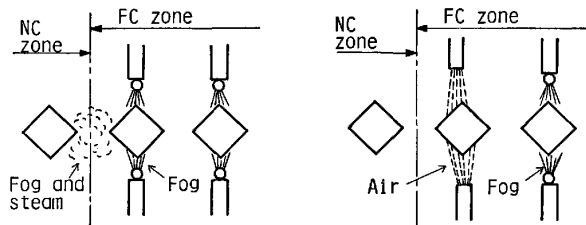
冷却床の高温域の固定ビームの谷部に、谷部を起点とするき裂が発生した (Fig. 8(1))。ビームの歯の部分分割構造にすることによつてこの問題を解決した。

(2) 固定ビームの増設

当初の生産計画に含まれていない短尺 BT (最短値：約 9m) の生産に際し、BT の端部曲がりが発生した。これを防止するため、自然冷却ゾーンに固定ビームを増設した。



(a) Initial (trouble) (b) Improved
(1) Cracks occurred in a fixed beam



(a) Initial (trouble) (b) Improved
NC: Natural cooling, FC: Fog cooling

(2) One side cooling of a billet at the boundary zone between NC and FC

Fig. 8. Examples of troubles occurred in the bed and the fog cooling facilities.

4.2 噴霧冷却設備関連の改造・改良

(1) 簡易エアカーテンの設置

水冷ゾーンから自然冷却ゾーン側へ流出する噴霧流によつて、水冷ゾーンに入る直前のBTの片側が強冷されると、このBTは大きく曲がる(Fig. 8(2)参照)。自然冷却ゾーン側のノズル(2~3個/ヘッダ)の給水を停止し、ノズルから空気のみを噴出すること、すなわち簡易エアカーテンを形成することによつてこの問題を解決した。

(2) ヘッダの水平度調整

3.6節に記述したように、本設備では冷却水の抜熱効率が非常に高いから、本設備は、稼働開始後数年間は設計値の約40%の水量で操業されていた(3.2節の弱冷条件参照)。この場合、上面ノズルからの平均噴出水量は約0.21 l/min 個である。この少ない水量を各ノズルから均一に噴出させるため、ヘッダの水平度を厳しく調整・管理した。

(3) 排気ダクト吸い込み口の位置・面積の調整

噴霧冷却ゾーン内における排気流の挙動は、BT冷却の均一性、換言すればBTの曲りに強く影響する。したがって、排気ダクトの吸引量分布は非常に重要であり、本設備の稼働後に排気ダクト吸い込み口の位置および面積を試行錯誤的に調整した。

4.3 残された課題

(1) 高C鋼・低合金鋼ビレットの噴霧冷却化

3.4節に記述した理由から、C量 ≥ 0.75 wt%のBTは、噴霧冷却ではなく、空気噴射冷却されている。しかし、当工場の将来計画によると、高C鋼や低合金鋼の生産比率が漸増することになっている。したがって、今後これらのBTを噴霧冷却処理することが必要になる。

(2) 水ヘッダ内堆積物除去法の改良

現在、水ヘッダ管内の堆積物を約3か月ごとに高圧水で除去している。この作業に際しては、人力でヘッダの栓を開閉しているが、この開閉作業を省略または単純化することが必要である。

(3) 噴霧冷却設備からの蒸気流出の防止

水冷ゾーンの出側すなわち払出しゾーンでは、クレーンを用いてBTの処理作業が行われている。ところが、気象条件(気温、湿度、風向)によつては、蒸気が払出しゾーンへ流出し、この蒸気がクレーン作業を阻害する。4.2節(3)に記述したように、本設備においては排気方法はBTの均一冷却にとつても重要だから、排気ブロワの能力増強および排気ダクトへの吸引法を考慮して、この問題を解決することが必要である。

(4) 専用エアカーテンの設置

4.2節(1)に記述したように、自然冷却ゾーンと水冷ゾーンを仕切るため、自然冷却ゾーン側の噴霧ノズルからは空気のみが噴出されている。この結果、水冷ゾーンの面積は、上記エアカーテン分だけ狭くなっている。この状態を本来の姿に戻すため、幅が狭くかつ効率の良いエアカーテンの設置が必要である。

5. 結 言

熱間圧延された高温ビレット(BT, 121 mm ϕ \times Max. 18 850 mm)を菱形に配置し、転回搬送しながら約550°Cまで自然冷却し、引き続いて100°C以下まで噴霧冷却するウォーキングビーム式冷却床および噴霧冷却設備を開発した。この設備は、新日本製鉄(株)釜石製鉄所において、昭和50年6月から順調に稼働している。この設備の特徴および稼働実績は、次のとおりである。

(1) 本設備の特徴

本設備の主な特徴は、下記のとおりである。

i) BTを所定温度まで効率良く冷却するため、所与のスペースを自然冷却、噴霧冷却および払出しの3ゾーンに分割した。

ii) BTの表面疵防止およびBTの転回搬送のため、冷却床にウォーキングビーム方式を採用した。

iii) BTの曲がり防止のため、プッシャ矯正、転回搬送および噴霧冷却を採用した。

iv) BT全面を均一に冷却するため、BTの菱形配置および狭幅ビームを採用した。

v) 噴霧ノズルの閉塞防止および噴出水量範囲の拡大のため、直交型気水ノズルを採用した。

(2) 本設備の稼働実績

本設備の稼働実績は、下記のとおりである。

i) 本設備は、昭和50年6月から現在まで約8年間順調に稼働している。

ii) 約1000°CのBTを、所定時間内に100°C以下まで確実に冷却できる。

iii) 冷却後のBTの曲がり量は少なく、BTのリジェクト率は目標値(0.5%)の約1/10である。

iv) ノズル閉塞は、本設備の稼働開始以来発生していない。

最後に、本設備の開発、設計および建設を担当していただいた新日本製鉄(株)本社、釜石製鉄所、第三技術研究所、設備技術本部、工作事業部の関係者、および本設備の運転を担当していただいた釜石製鉄所の関係者に厚く感謝いたします。

文 献

- 1) 三塚正志, 森瀬兵治, 小椋徹也, 中村 修: 鉄と鋼, 69 (1983) 16, p. 2002
- 2) 三塚正志, 福田敬爾: 鉄と鋼, 65 (1979), p. 674