

西日本製鉄所（倉敷地区）鋼片工場 能力増強

Capacity Increase of West Japan Works (Kurashiki) Steel Billet Plant

高木 啓次 TAKAGI Keiji JFE スチール 棒線事業部 倉敷棒線部 棒線技術室長
原田 直樹 HARADA Naoki JFE スチール 棒線事業部 倉敷棒線部 鋼片工場長兼棒線工場長
猪木 英明 IGI Hideaki JFE スチール 棒線事業部 倉敷棒線部 棒線技術室 主任部員

要旨

ブルーム、スラブを素材としてビレット圧延する鋼片圧延において、能力向上のためには加熱炉の昇熱待ち時間や圧延後の冷却床での冷却時間を短縮していくことが重要である。しかし、西日本製鉄所（倉敷地区）鋼片工場では、加熱炉は加熱設備の能力に律速され、冷却床でのビレット冷却は割れ感受性の高い高合金素材では水冷が使用できない等の課題があった。そこで、鋼片圧延の能力増強のために、加熱炉へのリジェネバーナ増設、割れ感受性の高い高合金素材も水冷できる水冷制御および水冷設備の増強を実施し、鋼片工場の能力増強を実現した。

Abstract:

In a steel billet rolling process using blooms and slabs as materials, it is important to reduce the waiting time for heating in the reheating furnace and the cooling time on the cooling bed after rolling. However, in West Japan Works (Kurashiki) steel billet plant, problems are: limited capacity of the heating equipment in the reheating furnace, and the inability to use water cooling for high-alloy materials with high susceptibility to cracking on the cooling bed. Therefore, to enhance the capacity of steel billet rolling, regenerative burners were installed in the reheating furnace and water cooling control and equipment enhancement that can also water cool high-alloy steel materials with high susceptibility to cracking were implemented. By solving these problems, an increase in the capacity of Kurashiki steel billet plant has been achieved in JFE Steel.

1. はじめに

西日本製鉄所（倉敷地区）（以下、倉敷地区）鋼片工場のレイアウトを図 1 に示す。倉敷地区の鋼片工場では製鋼工場で鋳込まれたブルーム、スラブを加熱炉および均熱炉で加熱後に BD ミル（粗ミル）、VH ミル（仕上ミル）で圧延しビレットを製造している。ビレットは倉敷地区の棒線工場、知多製造所の中径シームレス工場、小径シームレス工場に運搬して圧延することで棒線製品および鋼管製品とし、お客様へ出荷している。知多製造所の中径シームレス工場、小径シームレス工場へのビレット素材は東日本製鉄所（京浜地区）（以下、京浜地区）のビレット連铸機と倉敷地区の鋼片工場から供給していた。京浜構造改革により京浜地区の上工程が停止し、知多製造所向けのビレット素材が倉敷地区の鋼片工場からの供給となるため、倉敷地区鋼片工場の能力増強が必要となっていた（図 2）。

そこで、鋼片工場の能力増強のため、加熱炉の能力増強と冷却床の冷却待ち削減に取り組んだ。懸念材料は、知多製造所向けのビレットが増産となることでスラブ素材からのビレット圧延が増えることであった。スラブはブルームより

も 1 枚当たりの幅が広いので、加熱炉内に装入できる枚数が少なくなり、加熱能力が低下するためである。この素材構成の変動により、加熱炉の昇熱待ち時間が発生することが能力向上への課題となっていた。また、スラブは高合金素

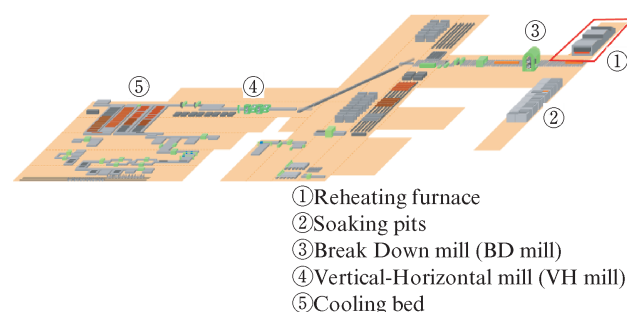


図 1 鋼片工場レイアウト

Fig. 1 Layout of steel billet plant

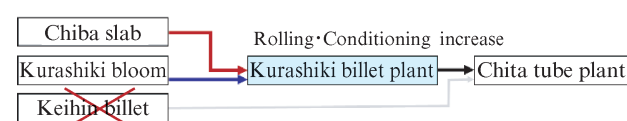


図 2 知多製造所向けビレットの倉敷地区移管

Fig. 2 Transfer of billet making for Chita Works to Kurashiki

2024 年 9 月 2 日受付



写真1 水冷による冷却割れビレット写真
Photo 1 Cracked billet by water-cooling

材であり、高合金素材は冷却割れ抑止のために冷却床での水冷は不可であった（写真1）。そのため、冷却床で長時間の空冷が必要となり、この制約も能力向上の課題となっていた。

加熱炉の昇熱待ち時間削減のため加熱炉へリジェネバーナを増設し、冷却床の冷却待ち時間削減のため、風冷ファンを配置し水冷設備も増強した。本稿では、これらの技術および能力増強の成果について述べる。

2. 加熱炉増強

2.1 鋼片加熱設備の概要

倉敷地区鋼片工場の加熱炉設備の概要を図3に示す。加熱炉設備は、予熱帯、加熱帯、均熱帯の3帯に分かれており、加熱帯と均熱帯は上部と下部に軸流バーナを配置している。予熱帯は上部と下部の軸流バーナに加え、サイドバーナとしてリジェネバーナを上部と下部に1対ずつ配置している。鋼片工場では、倉敷地区のブルーム・スラブ以外にも仙台製造所のブルーム、東日本製鉄所（千葉地区）および西日本製鉄所（福山地区）のスラブなど、さまざまな形状の素材を加熱炉へ装入して圧延できる。スラブは幅が広く加熱炉に装入できる枚数が少ないため、圧延に要する時間よりも加熱時間が長くなり、昇熱待ちが発生する。スラブ素材の圧延が増えることで、昇熱待ち時間が増大し、能力が低下することが予想される。昇熱時間を短縮するためには、①加熱帯バーナ数の増加、②加熱帯バーナの燃焼容量の向上、③加熱炉炉幅の拡張などの対策が考えられる。②または③の対策案は加熱炉設備およびその周辺設備の大規模な改造が必要となることから、大規模改造なしで加熱能力の向上を図れる①のバーナ増設案を選択した。

2.2 リジェネバーナ増設による加熱炉増強

バーナ増設案を検討するに当たり、燃焼効率の良い省エネ設備であるリジェネバーナを採用した。リジェネバーナは面対している2基のバーナを交互に燃焼させ、燃焼していないバーナは排ガス排出口の役割を果たしている。吸引された排ガスはバーナに連結された蓄熱器を通過する際に、

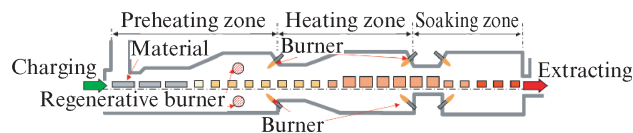


図3 加熱炉設備概要

Fig. 3 Schematic of reheating furnace equipment

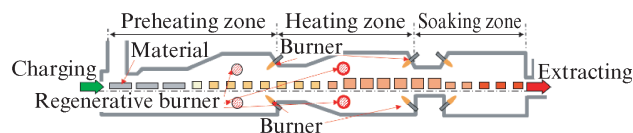


図4 リジェネバーナ増設後の加熱炉設備

Fig. 4 Reheating furnace equipment after installation of regenerative burners

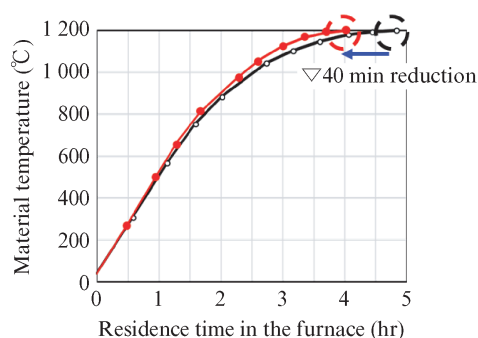


図5 リジェネバーナ増設による材料昇熱変化

Fig. 5 Improvement of heat curve by installation of regenerative burners

蓄熱器内部に充填された蓄熱体と熱交換して排熱回収の役割をはたしている。リジェネバーナは温められた蓄熱体により燃焼空気と熱交換することで、高温の燃焼空気を用いることができる高効率のバーナである^{1,2)}。図4に示すとおり、リジェネバーナを加熱帯へ増設した。リジェネバーナ増設により加熱帯の燃焼容量が20%増加し、短時間で加熱できるようになった。図5に示すように、室温から1200℃までの昇熱に要する時間は、バーナ増設前に対し40分短縮した。

3. 冷却床の冷却能力増強

3.1 鋼片冷却床設備の概要

鋼片工場の冷却床設備の概要を図6に示す。仕上圧延後のビレットをNo.1冷却床とNo.2冷却床に交互に搬入し、空冷しながらビレットを搬送する構造である。No.1冷却床とNo.2冷却床それぞれに水冷設備を有しており、短時間冷却が必要な場合は、上部から水冷して冷却時間を短縮できる。水冷適用の可否は、鋼種の割れ感受性、機械特性への影響を考慮して決定しており、知多製造所向けの高合金鋼種は割れ感受性が高く水冷不可としていた。そのため、降温中のビレットが冷却床に滞留し、圧延停止を招いていた。

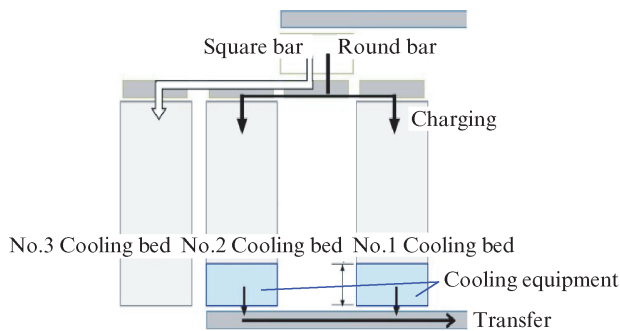


図6 No.1, No.2 冷却床設備概要

Fig. 6 Schematic of No.1 and No.2 cooling bed equipment

3.2 冷却割れメカニズム

写真1で示したように高合金銅種を冷却床で水冷すると冷却割れが発生しやすい。この割れは丸ビレット断面の円周方向に発生する引張応力が原因と考えられている。冷却中に相変態を伴わない場合、表面は温度低下に伴い周方向に熱収縮する。表面と内部での温度差による歪差が生じることで表面には引張応力が働き、銅種特性により表面に引張塑性歪が発生する。材料が常温まで冷却されると表面には引張塑性歪が残存し、表面は内部に変形を拘束されるため、円周方向の残留応力は表面で圧縮、内部で引張となる（図7 (a)）。冷却中に相変態を伴う場合、表面側は変態が進行するため、ビレット表面には円周方向の膨張で圧縮応力が働き、銅種特性により表面には圧縮塑性歪が発生する。材料が常温まで冷却されると表面には圧縮塑性歪が残存し、円周方向の残留応力は表面で引張、内部で圧縮となり、これが冷却割れ発生原因と考えられる（図7 (b)）^{3,4)}。実際の冷却では熱収縮と変態膨張が重畳するため、どちらが支配的となるかで最終的な残留応力分布が決まる。水冷による割れを抑止するには残留応力発生メカニズムに基づき、変態膨張時に発生する表面と内部の歪差を軽減して圧縮塑性歪の発生を抑制すれば良い。そのためには、相変態が進行したマルテンサイト変態 (M_s) 点以下から水冷することで冷却割れを抑止できると考えられる。冷却割れを抑止しつつ冷却時間を短縮するためには、①水冷開始までの冷却速度の向上、②同一円周内の歪差を軽減するための円周方向を均一に冷却可能な冷却設備、が必要となる。水冷開始までの時間短縮には空冷速度の向上が必要となる。空冷速度の向上には空気を低温化する、あるいは冷却空気を材料進行方向と対流させる方法が考えられる。均一に冷却するためにはビレット上部だけでなく、ビレット下部にも冷却設備を配置することが必要である。これにより、ビレット上下の温度差を低減した水冷が可能と考えられる。そこで冷却床の水冷設備前に風冷ファンを新設し空冷速度を向上させるとともに、ビレット下部からの水冷設備を新設し、均一に水冷できるようにした。

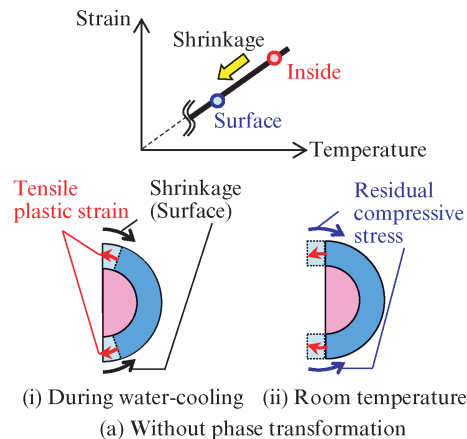


図7 冷却による残留応力の概略図

Fig. 7 Schematic illustration of residual stress due to cooling

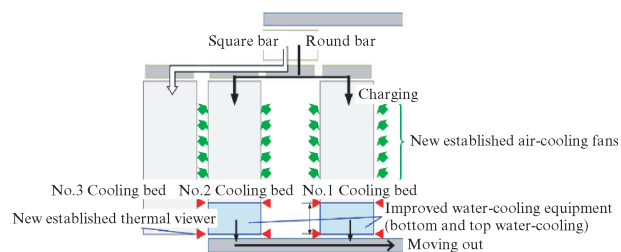


図8 改造後のNo.1 冷却床設備概要

Fig. 8 Schematic of improved cooling bed equipment

3.3 風冷および水冷設備増強

図8に冷却床設備の改造後の概略図を示す。風冷ファンはビレットの両端側に配置し、材料搬送方向に対し対向した風向きを加えるように斜めに配置している。水冷設備の前後にはビレット全長を測定できるサーモビューアを配置し、温度管理制御を行っている。改造前後の水冷設備による冷却状況の比較を図9に示す。従来は上部からの水冷であったためビレットの上面と下面での温度差が発生していた。改造後は上部と下部からの水冷を可能としたことで、ビレットを円周方向で均一に冷却できるようになった。改造前後での高合金銅種の冷却時間の比較を図10に示す。新設された空

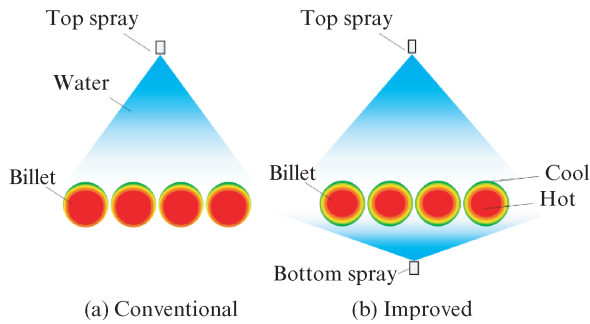


図9 設備改造前後の水冷状況の比較

Fig. 9 Comparison of water-cooling schematic

冷ファンの効果で水冷可能な温度（T1）への到達時間が従来よりも約40%短縮された。また、水冷可能な温度領域は変態発熱を伴うため、従来は冷却に長時間を要していたが、水冷適用により冷却完了温度（T2）到達までの時間は大幅に短縮され、冷却時間を8時間短縮できた。

4. おわりに

2章および3章で述べた加熱炉増強、冷却床の冷却能力増強を実行し、倉敷地区鋼片工場の能力増強を図った。これらの設備改造により倉敷地区鋼片工場の生産能力は20%向上し、京浜地区より倉敷地区鋼片工場へのビレット製造移

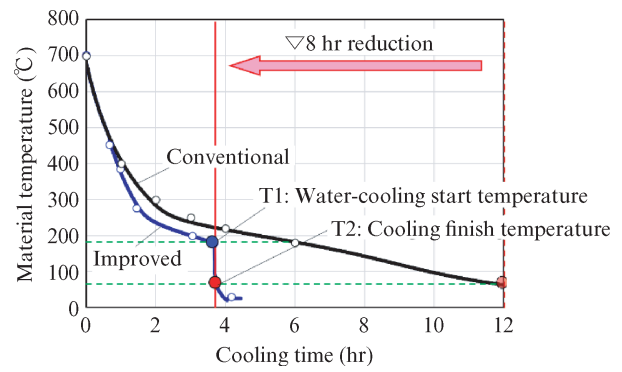


図10 冷却床設備改造前後の冷却の効果

Fig. 10 Effects of improvement of cooling bed equipment

管を円滑に実現した。

参考文献

- 1) 河本祐作. リジネバーナシステム 25 年のあゆみ. ふえらむ. 2020, vol. 25, no. 1, p. 13-19.
- 2) 上山恭平, 鳥越祥宏, 泉山拓也. 西日本製鉄所（倉敷地区）形鋼工場 能力増強工事. JFE 技報. 2021, no. 48, p. 63-68.
- 3) 柳沢祐介, 岸恭弘, 南谷昌弘, 齋藤数馬. 変態塑性及びクリープ変形を考慮した大型鍛鋼品の熱処理解析. 日本製鋼所技報. 2018, no. 69, p. 1-8.
- 4) 柳沢祐介, 細矢隆史, 南谷昌弘, 齋藤数馬. 変態塑性及びクリープ変形を考慮した大型鍛鋼品の熱処理解析. 日本製鋼所技報. 2019, no. 70, p. 32-38.