

住友金属 鹿島製鉄所

野 峯 徳 彦 常 慶 直 久

松 森 保 雄 ○ 川 崎 守 夫

中央技術研究所

白 石 博 章 沖 正 海

I 緒 言

最近の均熱炉における最大の課題として省エネルギーの意味から燃料原単位の低減対策及び、鋼塊保有熱の有効利用の観点からトラックタイムの短縮、昇熱方法の改善等が進められており、これは最終的にはリムド鋼の未凝固圧延まで発展するものである。

従来リムド鋼の製造においては凝固率 = 50~60%で型抜、70~80%で均熱炉に装入し完全凝固させ、鋼塊の内外温度を圧延可能温度まで充分均熱した後に炉より抽出し分塊圧延を行なっている。ここでトラックタイムを短縮すると鋼塊内部の未凝固部が多いので在炉時間が長く凝固が遅れるために偏析が助長され、極端な場合にはふくれ、2枚割れが発生する。また均熱度が不十分であれば圧延能率、歩留の低下、表面割れが発生し易くなる傾向になるといわれている。特に軸芯部の成分偏析は大型鋼塊において顕著になり品質上重要な問題となる。

そこでリムド鋼を未凝固状態で圧延することにより鋼塊保有熱を最大限に有効利用し大幅な燃料原単位の低減を図り、さらに濃厚偏析部は厚み、幅、圧延方向に分散されるので成分偏析は軽減される。

また、内部温度の高い温度差圧延であるためメタルフローの改善により歩留は向上すると考えられる。表面割れについても圧延時の凝固率を適正にすれば解決できると考えられる。

本報ではミニチュア鋼塊および当社各製鉄所において安全性の問題を含めて偏析軽減、昇熱パターンふくれの発生を防止する操業条件を検討し大型リムド鋼塊(単重 = 18~32T)の未凝固圧延法を実用化したので、以下にその経過を報告する。

II 未凝固圧延法の検討

1. 未凝固圧延における問題点の抽出

未凝固圧延の実施にあたり圧延時の凝固率、成分偏析、ふくれの発生に注目して、20Kg砂型鋼塊の未凝固圧延、現場実鋼塊による未凝固圧延実験等を行なって問題点の抽出を図った。

1.1 成分偏析状況

20Kg砂型鋼塊による未凝固圧延(100^F × 250^H → t = 30,38mm)における成分偏析は図1に示すように、凝固率の高い場合と低い場合とでかなり様相が異なっている。即ち凝固率の低い場合はスラブ厚中心部に負偏析帯、その外側は正偏析帯さらに負偏析帯となっている。凝固率が高くなると未凝固溶鋼の絞り出し量が少ないために境界近傍は溶鋼流動により負偏析部、内部はほとんど一様な正偏析帯を形成している。

以上のように凝固率の低い場合は分散効果は大きい、凝固前面に濃化溶鋼がトラップされ幅は狭いが正偏析度はそれ程小さくならない可能性があり、安全性においても問題がある。これに対して凝固率が高くなると正偏析帯の幅が広く、圧延により加速凝固され、濃厚偏析部は分散し偏析度も軽減されるが、これは凝固率が小さい程有利となる。

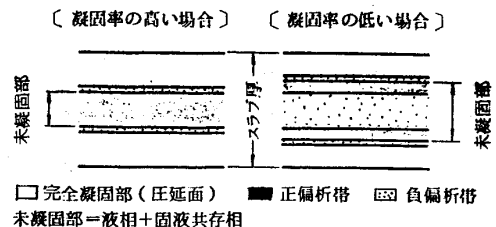
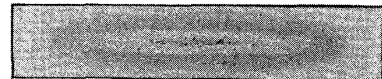


図1 未凝固圧延による成分偏析状況(模式図)

写真1は凝固率 = 70, 85%におけるスラブ横断面のサルファープリントを示す。ミニチュア鋼塊の未凝固圧延結果と比較すると、70%では凝固率の低い場合と、また85%では高い場合の偏析状況と類似している。



凝固率 = 70%

1.2 ふくれ発生状況

次に実鋼塊 (880t×1400^W→250t×1400^W) においてトラックタイム、在炉時間を調整して凝固率 = 70~100%の範囲で未凝固圧延を実施してふくれの発生状況を調査した結果を図2に示す。



凝固率 = 85%

写真1 スラブ横断面のサルファープリント

未凝固圧延において発生するふくれはスラブ厚み方向のものが主体で、断面をみると中心部には空洞があり、この部分には水素が高圧で封じ込められている。ふくれの中心部は偏析のピークを示しておりこれよりふくれの原因は次のように考えられる。即ち凝固過程においてHが固相から凝固前面の濃化溶鋼中に拡散し、これが凝固すると液相に比べて固相の水素溶解度が小さいためにH→H₂なる反応により水素ガスが濃厚偏析部に集積し、凝固シエルのこの内圧に抗し切れずふくれが発生すると考えられる。さらに圧延時に未凝固溶鋼の絞り出し、集積が起ることもふくれの発生を助長することになる。

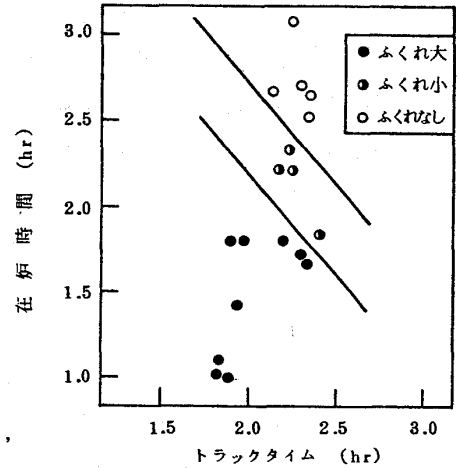


図2 未凝固圧延におけるふくれ発生状況

図2より未凝固圧延において発生するふくれはトラックタイム、在炉時間と密接な関係がありこれらを調整すること、即ち凝固率を高くすることにより防止することができる。したがって未凝固圧延を実操業化するにあたっては分塊圧延時の凝固率を正確に把握することが重要になってくる。

2. 凝固式の算出

実鋼塊による未凝固圧延実験により、凝固率の小さい状態で圧延するとスラブにふくれが発生することが確認され、これを実操業化するには分塊圧延時の凝固率を精度よく求める必要がある。

従来の凝固計算においては凝固末期の溶質濃化による凝固温度の低下については考慮されていないが、この影響はかなり大きいと考えられるので、今回これを考慮に入れた凝固計算を検討した。

2.1 計算方法

2.1.1 計算モデル

鋼塊頭部より30%位置の横断面を計算の対象とし2次元差分法により計算を行なった。計算に際しては鋼塊中心部の濃化状況を正確にシミュレートするために分割間隔を小さくした。

(中心部間隔 = 10mm その他の部分 = 50mm)

2.1.2 濃化モデル

凝固の進行に伴う溶質成分の濃化を実績データ(鋼塊縦断)に基づき図3のようにモデル化した。各段階での液相線、固相線温度は計算により求めた。

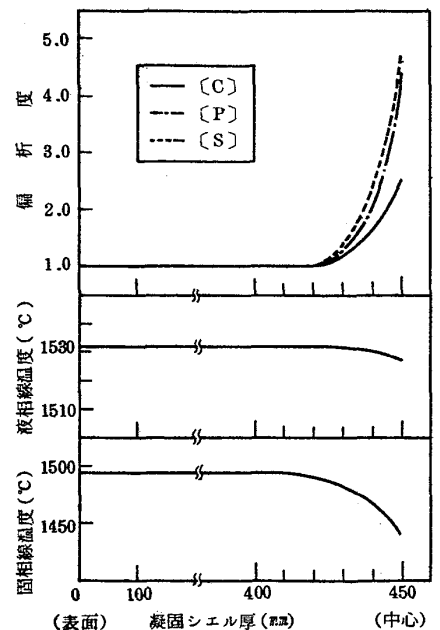


図3 溶質成分の濃化状況および凝固温度の変化

2.1.3 計算条件

- (1) 鋼塊寸法 : $900^t \times 1,400^W \times 2,600^H$ (mm), 鑄型厚さ = 250mm
- (2) 昇熱パターン : 2種類

2.2 計算結果

図4に本計算方法により求めた凝固率と実鋼塊の凝固率との関係を示しているが、両者はよく一致しており本計算法の妥当性が確認された。図5には鋼塊中心部温度の計算結果を示す。濃化を考慮することにより凝固完了時間は60分程長くなることわかった。さらに図6にトラックタイム、在炉時間の変化による凝固率の計算結果を示し、実操業においてはこのデータにより未凝固圧延時の凝固率を決定する。

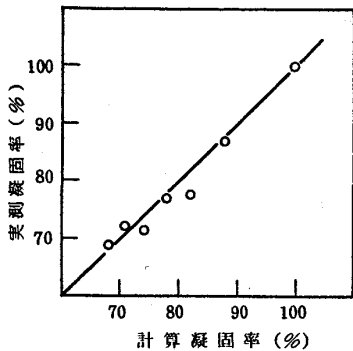


図4 凝固率の比較検討

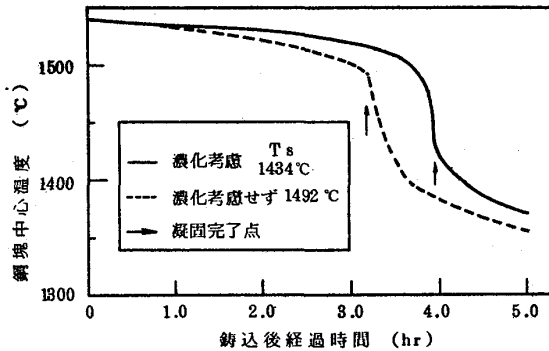


図5 濃化有無による鋼塊中心部温度の変化

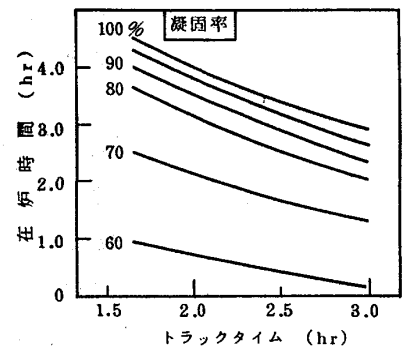


図6 トラックタイム在炉時間と凝固率

3 操業条件の検討

3.1 昇熱パターンの検討

未凝固圧延においては鋼塊の保有熱を有効利用する昇熱パターンを採用する必要がある、そこでまず伝熱計算により型抜後の鋼塊を完全断熱状態として鋼塊表面の復熱曲線を求めたのが図7である。

したがって、未凝固圧延においてはこの復熱曲線に沿った昇熱パターンをベースとして燃料投入パターンを実操業下で種々検討して未凝固圧延用の加熱法を開発した。図8に従来法と比較して未凝固圧延用の昇熱パターンを示す。

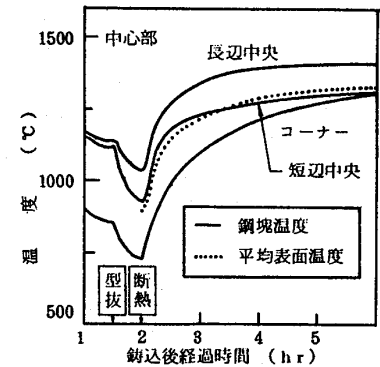


図7 完全断熱状態での鋼塊温度

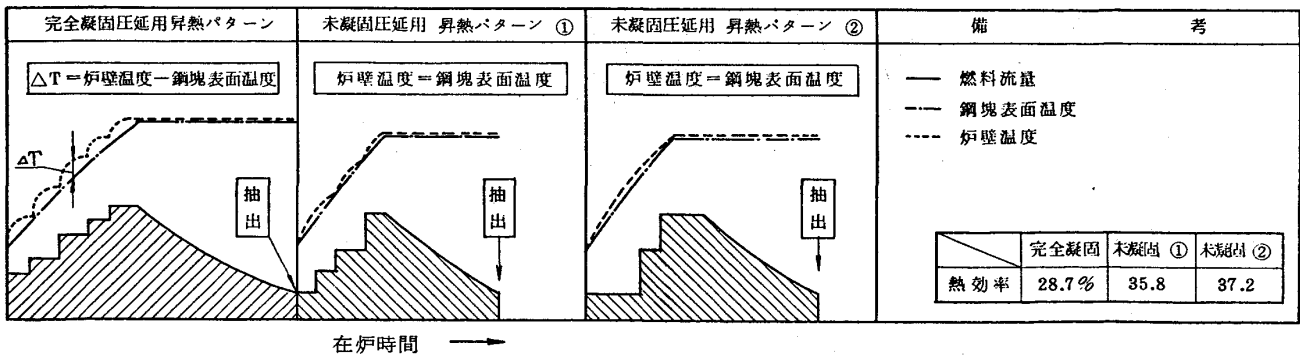


図8 完全凝固圧延、未凝固圧延における昇熱パターンの比較

3.2 ふくれにおよぼす凝固率の影響

次に凝固率を種々変えて未凝固圧延を実施して前述の凝固計算式により凝固率を算出してふくれ発生率の関係を示したのが図9である。この結果によるとふくれを防止するためには圧延時の凝固率を94%以上の状態で分塊圧延を実施する必要がある。実操業においてはトラックタイム、昇熱パタ

ーン、在炉時間により凝固率を算出してふくれの発生を防止する凝固率の範囲で未凝固圧延を実施しなければならない。

III 未凝固圧延結果

以上述べたような操業条件で未凝固圧延を実操業化して燃料原単位成分偏析、冷延板での機械的性質、ふくれ発生状況等を調査し従来の完全凝固圧延材と比較した。

1. 燃料原単位

リムド鋼の燃料原単位の推移を図10に示す。未凝固圧延の実施により燃料原単位は40%前後低減し、その他スラブ表面疵も良好でスケールロス減少により歩留を向上しさらに復熱現象により仕上温度も充分確保され均熱温度を50℃前後低くすることができ、これによる燃料原単位低減効果も大きい。

2. 成分偏析 (図11)

スラブのC,S最大偏析度は完全凝固材の3.5~4.5に対して未凝固圧延材では2.0~2.4と低い偏析度を示しており、最大偏析位置も15~25%に対し30~40%と内部寄りになり未凝固圧延により濃厚偏析部が分散、軽減されていることがわかる。

3. 冷延板における成品成績 (図12)

未凝固圧延材における引張強さ(TS)のバラツキ、レベルは通常材との差はほとんど認められないがTSと降伏点(YP)、伸び(E1)の関係をみるとYPが低く、E1が高い傾向が認められ、加工性は向上しているものと推定される。

4. ふくれの発生状況 (図9)

ふくれの発生状況を図9に追加プロットしているが、圧延時の凝固率を94%以上にすることによりほとんど完全に防止することができる。今後さらに低凝固率でのふくれ防止対策が必要となる。

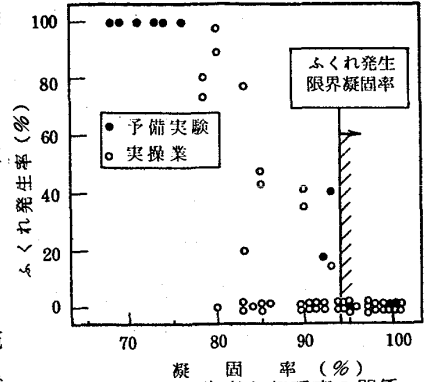


図9 ふくれ発生率と凝固率の関係

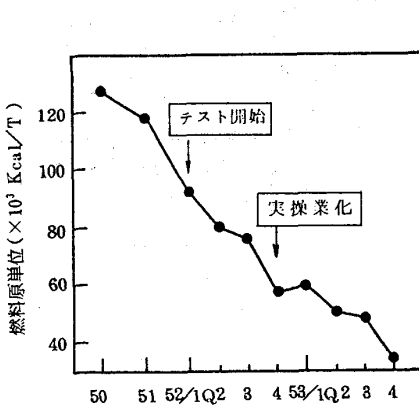


図10 燃料原単位の推移

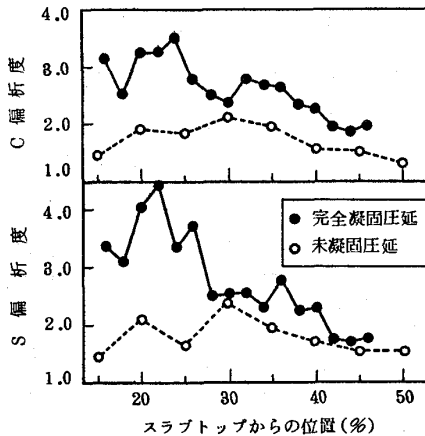


図11 スラブ軸芯部のC,S偏析度

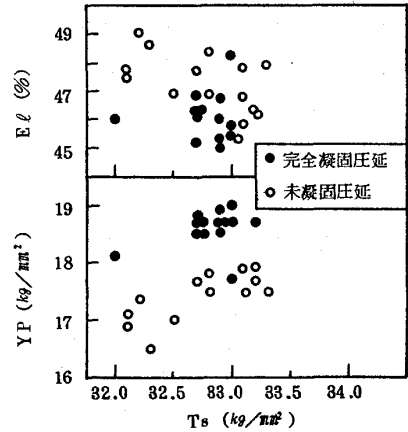


図12 冷延材におけるTsとYP, Elの関係

IV 結 言 : 燃料原単位の低減、成分偏析軽減による品質向上を目的として大型リムド鋼の未凝固圧延法を実操業化し、次のような結果を得た。

- (1) 鋼塊保有熱を有効利用する凝固率、昇熱方法を把握し大幅な燃料原単位の低減が可能となった。
- (2) 凝固率が低い場合にはふくれが発生し、これを防止するために正確な凝固計算方法を確立しふくれ発生の限界凝固率を把握することができた。
- (3) 未凝固圧延により成分偏析は分散され、これにより圧延材の品質、加工性が改善される。