

技 術 資 料

ウォーキングビーム型加熱炉について*

河野耕二**・藤浦正巳**・後藤莞爾**・山崎二郎**

Walking Beam Slab Reheating Furnace

Koji KONO, Masami FUJIURA, Kanji GOTO, and Jiro YAMASAKI

ま え が き

1967年6月以降、当名古屋製鉄所に4基の大容量ウォーキングビーム型加熱炉（以下WB炉と略称）が建設され、稼動を開始した。以下においてその建設と操業の経験についての今後の参考になれば幸いと思うしだいである。

つい数年前まで大型鋼の熱間圧延のための加熱炉は若干の例外を除いては多帯式のプッシャー型加熱炉（以下プッシャー炉と略称）であり、被熱物の寸法、形状に応じバッチ式の炉を用いるのが普通であった。

一般に連続式加熱炉といえばプッシャー炉を指したのは、この型式が大型炉では最も安定した方式であり、かつよく研究されていたことによる。そしてこれにかわるといえばウォーキングハースなどの方式は、特別な保熱炉あるいは小型用加熱炉として設置されていたが、一般の大型炉として採用されるにはまだ研究中の段階であったといえる。

1. 最近の加熱炉への要求

最近の加熱炉に課せられる要求は、大容量化（t/hrの増加）と同時に被熱物の寸法、単重の増大であり、成品後の品質については、均一性はもちろんのことスリ疵、ヘゲ疵などの成品疵の減少が要求されるようになっていく。しかしこれらの要求はプッシャー炉の本質的な問題につながるものである。

大容量のプッシャー炉では、スキッドと摺動面の高い面圧に対抗する大きい押込力を有する押込機構が必要となる。また被熱物の寸法や形状によつては、炉内における「重なり」、「挫屈」のため炉長に制限を受け、ある能力以上の炉が設置できない状態である。

成品疵についてはより深刻となる。プッシャー炉では、必然的にスキッド、均熱帯炉床、シュートなどの摺動面でスラブ裏面にスリ疵が生ずる。

スラブ再熱材の裏面をみると、かなり深い喰込疵がついており、テストの結果これらの大きいものは後工程で成品疵（ヘゲ疵など）として残ることも確認されている。その他スキッドマークに相当する部分は、成品厚みの均一性を乱すほか表面欠陥の原因にもなりうる。

スキッドマークの減少については、これまでも、均熱帯での局所加熱方式、スキッドのずらしなどが試みられているが本質的な解決ではない。以上のごとき観点から最近開発されたWB炉がプッシャー炉にかわつて連続式加熱炉として注目されたのである。

2. ウォーキングビーム炉の特徴

2.1 動作原理

WB炉の動作はFig. 1に示すごときサイクルのくり返しである。すなわち固定ビーム上にあるスラブは、移動ビームの上昇運動により固定ビームから離れてもち上げられ、次いで前進運動で1ストローク分だけ前進する。そこで移動ビームは下降運動に移り、前進したスラブは固定ビーム上に残る。（最初①の部分部にあつたスラブは、これで②の位置に移つた）移動ビームは更に下降を続け下限に達するとともにその位置に後退する。このサイクルの繰返しにより、スラブはスキッド上を摺動することなく炉内を前進する。摺動は装入時にスラブを固定ビームにのせるときにだけあるが、このときはスラブは冷たい状態にあり疵に影響することはない。また炉の最先端に達したスラブはウォーク状の抽出機を挿入してテーブル上に取り出す。

移動ビームは常に（圧延待ちなどで抽出が行なわれなくとも）一定時間々隔で昇降動作のみも可能なので、スキッドに接する時間は従来のプッシャー炉の $1/2$ になり

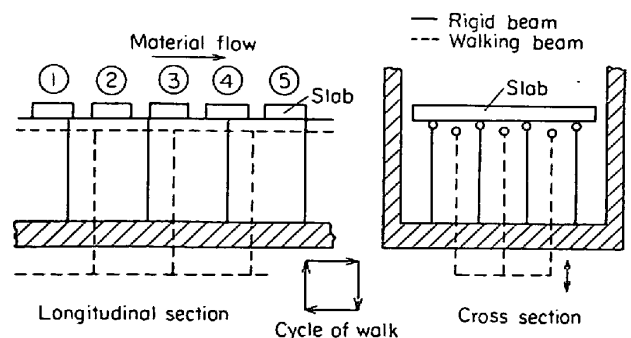


Fig. 1. Section of walking beam furnace.

* 昭和44年4月25日受付（依頼技術資料）

** 富士製鉄(株)名古屋製鉄所

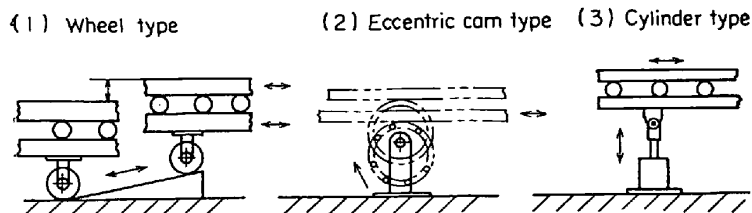


Fig. 2. The mechanism for lifting and moving.

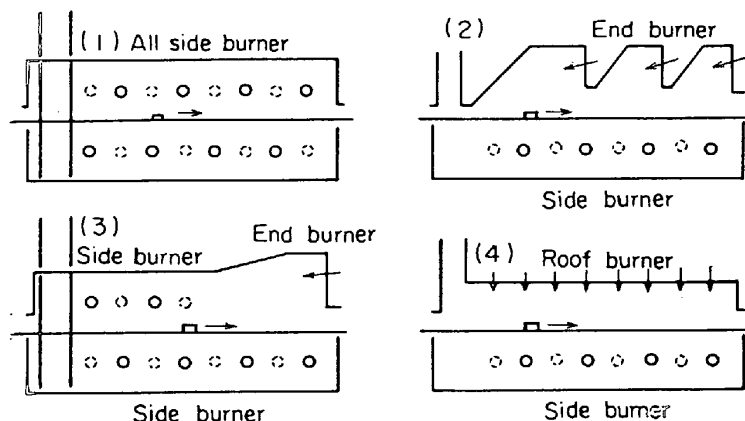


Fig. 3. General arrangement of burner and furnaces profile.

スキッドマークの軽減が期待される。このように任意に昇降前後進できることは、操業時や修理時に炉内を空にする場合などにも非常に好都合である。このようにウォーキングビームの動作原理を実用化することは、従来のプッシャー炉の難点を大幅に改善できる効果を持っている。

2.2 駆動機構

Fig. 1 に示したごとくスラブの搬送運動は昇降と前後進運動にわけられる。実際の設備では、この2つの運動がおのおの独立した機構で駆動される。前後進はローラーに乗ったウォーキングフレームを油圧シリンダーで駆動するのが普通であるが、昇降装置は種々試みられている。代表的な例について Fig. 2 に示す。

図示したごとく昇降の駆動々力源としては油圧と電動がある。油圧か電動かはおのおの得失があり、設備容量、経験、量用などを勘案して決めるべきである。一般的な問題点は油圧の場合は各シリンダーのバランス、油圧系統の洩れなどであり、電動の場合はカム機構（ベアリングの強度、摩耗）、電磁ブレーキ容量、費用高などがあげられる。しかし最もたいせつなことは装置が地下に設置されるので点検、修理が容易に実施できることと、炉床からの熱に十分耐えられる構造であることである。

2.3 炉型およびバーナ

WB 炉では炉床の下部に駆動装置を有しているので必然的に炉床はクラットとなる。

上部燃焼帯については自由な炉型をとりうる。最も単純なサイドバーナ方式から従来の軸流バーナ方式、温度分布の制御性に着目したルーフバーナ方式などであるが選択にあたっては被熱物の形状、炉寸法、所要温度分布、

各バーナの使用経験などを勘案すべきである。とりわけバーナの特性は重要である。バーナ方式と炉型について Fig. 3 に例示する。

2.4 加熱能力

WB 炉ではいわゆる均熱帯炉床を必要とせず、スラブは装入から抽出まで全面加熱を受けるため均熱性がよくなるばかりでなく炉床負荷（加熱能力）が増大できる。

G. CONE²⁾ によれば上下両面から完全に加熱される WB 炉に相当する場合と均熱帯炉床が炉長の 30% を占めるプッシャー炉に相当する場合などの炉床負荷は Fig. 4 のごとくである。条件は炉温 1315°C 一定、加熱温度 1260°C、スラブ内温度差は 60°C である。

もちろんこの計算結果をそのまま現実の炉床負荷として採用することは問題があるが相対的な関係は把握できよう。通常 WB 炉は、同一能力ならプッシャー炉の $\frac{3}{4}$ の炉長で間に合うといわれる。稼動中のものの設計値の数例について同じく Fig. 4 に○印で示した。理論的には 250~300mm のスラブ厚みで 1000kg/m²・hr と いわれるのに対し若干低すぎる傾向があるがこれは将来の研究課題の一つである。

2.5 その他

以上述べたほかに WB 炉の特徴と目されている点についてまとめてみる。

2.5.1 煙道およびレキュペレーター

WB 炉とレキュペレーターの間に本質的な関係はないが、煙道は炉下に駆動機構があるためダウンテーク方式とはとれずサイドまたはアップテーク方式となる。

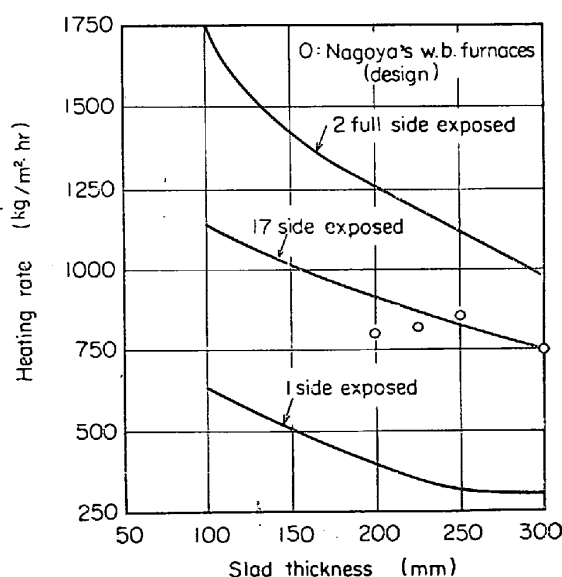


Fig. 4. Maximum heating rates for uniform furnace temperature.

2.5.2 有効炉長

プッシャー炉では抽出の際に傾斜面が必要であるが、WB 炉では抽出機が垂直におろすので斜面が不要で抽出テーブルのすぐ近くまで有効炉長とすることができる。この部分は通常プッシャー炉では2 m以上あり、均熱帯下部加熱と共に限定された長さの中で WB 炉の t/hr の高められる要因の一つとなる。

2.5.3 スケールロス

プッシャー炉では、抽出扉の位置がスキッドラインより低いので、侵入空気が多くかつ侵入空気が炉内でスラブ表面を流れるしまた操業停止時にはスラブは炉中にあるままなのでスケールロスは多くなる。

一方 WB 炉では、抽出扉の位置は高くなるので出口からの侵入空気は少なく、また炉休止時にはスラブの逆送あるいは空炉も可能でありスケールロスは軽減できる。

2.5.4 保守費用

プッシャー炉の弱点の均熱帯炉床がなく、またスキッドパイプに推力が働かず断熱材が落ちにくいなどで修理周期が延長でき炉材費用などが軽減される。修理時の炉体冷却期間も炉内が空にできるので早くなり冷却日数が短縮されるなどでプッシャー炉より費用の減少が期待できる。

2.6 問題点

2.6.1 バーナについて

WB 炉では少なくとも下部燃焼帯はサイドバーナによらなければならないが、炉幅が 10m もの大型炉になつてくると炉幅方向の温度分布の均一性が問題となる。特にオイル焚でかつターナードダウン時においても温度分布の均一性を失なわない様にするには相当困難である。

2.6.2 ウォーキングビーム装置について

移動、固定スキッドおよびその支柱(ライザー)の強度は非常に大切である。

これらの強度に対する配慮面からスキッドの構造を類別すると Fig. 5 のようなものがある。

Fig. 5 の①はスキッドパイプの本数が少なく建設費、水量、熱量の節約が可能である。②の場合は①、③の間でスキッドの長さ方向の熱膨張の影響の転減をねらつ

ている。③については炉幅方向のラーメン構造は偏熱によるポストの曲り、横荷重による倒れを防止する。また長手方向の分割は熱膨張を考慮したものであるが一般的に構造複雑、水量、熱量消費は大となる。

また抽出温度に達したスラブを一定間隔で支持して、ある時間保持すると、支持点間で垂れ下がりが生じスラブが長さ方向にわたり波打つ形状になることがある。同様の現象がスラブがスキッドからはみ出す(オーバーハング)点でも起こる。このことはスキッド間隔を決めるのに重要なファクターである。

2.6.3 燃料消費量

燃料消費量は総合的にはバーナ型式および配列、炉壁構成、レキュペレーター性能、炉長などによつて決定されるのであるが、WB 炉は燃料消費量増加の要素をもっている。すなわちスキッドパイプに相当するものの本数が必然的に増加することや移動スキッド支柱用の炉床開口部からの熱放散があることである。その量の多少は Fig. 5 のどのスキッド構造を選択するかで異なってくる。

2.6.4 スケール除去

炉床に落ちたスケールは移動スキッド用の開口部から落下させる。この開口部は水封となつており水中でスケールを移動除去する方法が多い。開口部以外の炉床に推積したスケールは炉休時にかき出す。

2.6.5 その他

(1) 抽出機の運転とスラブ位置制御

プッシャー炉では装入=抽出であり、一人運転が普通であるに対し WB 炉では装入と抽出は独立しておりこの点で両動作を結びつける機構または運転要員の問題が生ずる。また抽出機とスラブ位置とが完全に連動されていないと抽出ミスによるスラブの脱落や送りすぎによる設備の損傷の危険もある。スラブ位置検出には水冷構造の機械的方法光学的ないしは放射線的方法テレビによる視覚上の監視などがあるが一長一短がある。

(2) スキッド

スキッドの寿命(損耗状況)とスキッドマークはスキッドの冷却状況によって決まり両者は相反する性質のものでウェイトの置き方により耐熱鋼耐火物、の材質の選

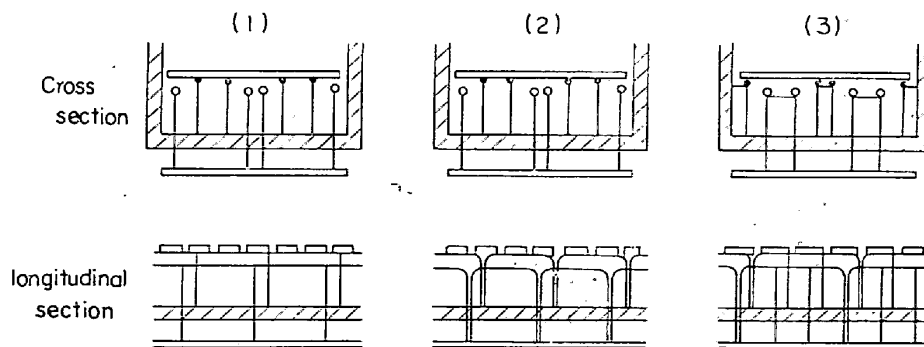


Fig. 5. Arrangement of skid pipe.

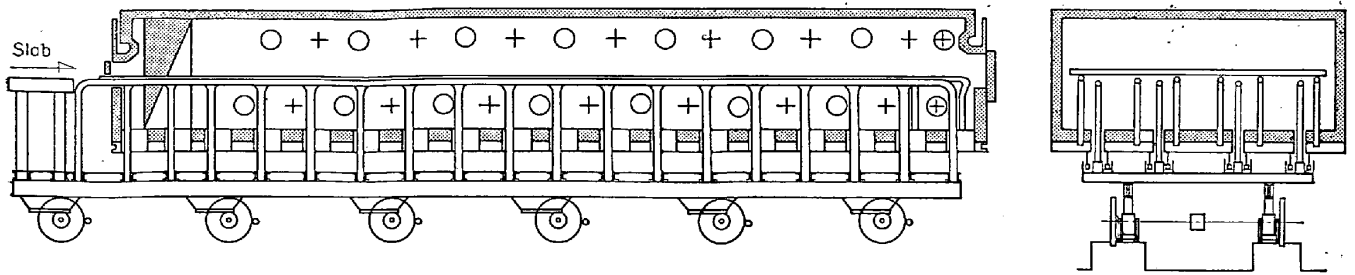


Fig. 6. Walking beam furnace for hot strip mill.

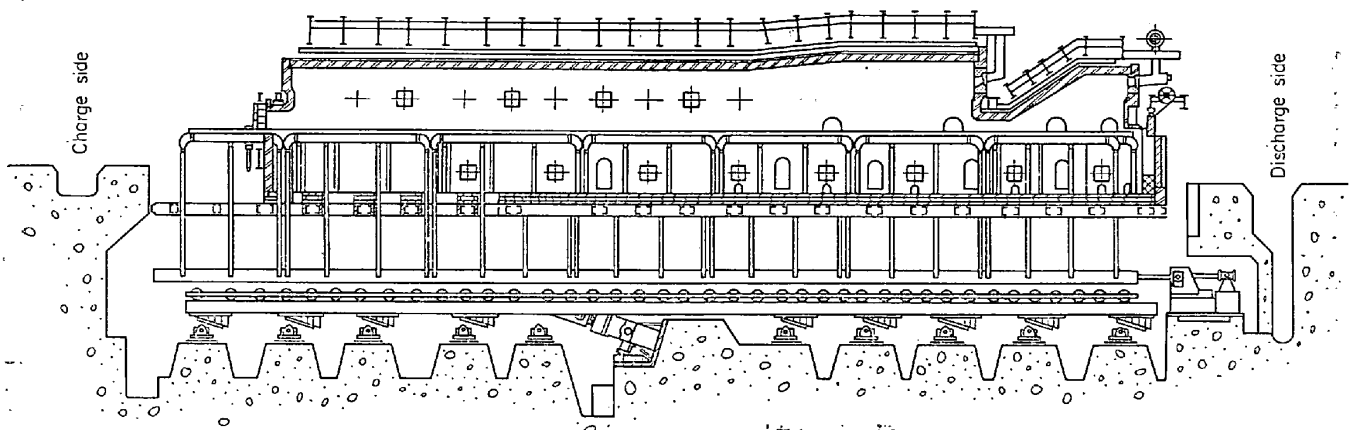


Fig. 7. Walking beam furnace for plate mill.

定が異なってくる形状についてはボタン型、レール型などが実用化されているがスキッドの面圧もスキッドマークと疵の両面から検討する必要がある。

3. 名古屋製鉄所のウォーキングビーム炉

当所にはホットストリップ工場に2基、厚板工場に2基と計4基のWB炉が稼動中である、これらは主としてプッシャー炉の欠陥とされてきたスキッドマーク、スラブの裏疵などを少なくして成品の品質向上をはかるために採用されたものである。

3.1 配置および構造

3.1.1 ホットストリップ工場

配置は1, 2号が5帯式のプッシャー炉, 3, 4号がWB炉であり同時に4基が稼動している。炉型はFig. 6に示すが特徴は従来のプッシャー炉の天井ノーズ部における温度降下を考慮して全部サイドバーナを採用したこと, またWB装置の駆動機構は電動機と偏心カム方式を採用, スキッドについてはFig. 5の①で, スキッドはボタン型を採用したことであり炉壁および炉内, 地下室などが非常に簡単な構造となり保守点検も容易となっている。

3.1.2 厚板工場

工場の建設と合わせ炉の配置も考慮され2基が稼動している。炉型はFig. 7に示す。この炉の特徴は炉幅方向の温度分布を改善するために上部均熱帯, 加熱帯相当部に軸流バーナを使用したことおよびWB装置にコロタイプを使用, またスキッドパイプの配置はFig. 5③の方式を, スキッドはレールおよびレンガの組み合わせを採用したことなどである。

3.2 設備容量

Table 1. に一覧表としてまとめた。

3.3 計 装

プッシャー炉に比較してサイドバーナの制御とスラブ送り機構の制御が新に設置されたことが大きな特徴である。

3.3.1 サイドバーナの制御

ターンダウン時はバーナの燃焼量の変化が火炎の長さの変化を生じ炉幅方向の温度分布を不安定なものとする。

これを防止するためには炉尻に近いバーナから1本あるいは数本ごとに消火し間引く, これを手動, 自動で行なう。自動の場合は炉温調節計の出力信号(燃料流量の設定値)を検出し, バーナ流量がある一定値以下になった状態が一定時間以上継続した場合に自動的に間引く, 逆の場合は点火する。

3.3.2 スラブ送り機構

スラブが炉に送り込まれ抽出するまでにプッシャー, 装入ドアー, WB装置, 抽出ドアー, 抽出機などの操作が必要であるがこの内抽出ドアー, 抽出機のみ連動で他は個々に押ボタンで操作される。スラブの抽出位置の検出は光変調式光電スイッチを使用, 他にテレビでの監視をも併用している。

3.4 操業結果 (WB 炉の効果)

この項ではホットストリップ工場におけるプッシャー炉とWB炉の比較調査により得られた結果について記す。

3.4.1 加熱能力

加熱能力がプッシャー炉に比較して何%上昇するかは解析していないが, スラブ内温度差, 炉温分布, 燃料消費量などより比較すれば当然ながらいく分WB炉のほうが高い。

3.4.2 温度分布

(1) 炉長方向の温度上昇は天井にノーズ部分がないため滑らかな曲線が得られるがプッシャー炉ではノーズ部

Tabel 1. Specifications of walking beam furnaces.

Item	Work		Hot strip	Plate
Heating capacity	t/hr		250	200
Effective length	mm		30 700	31 700
Width	mm		9 800	9 000
Slab size	mm		(90~250) × (500~1 570) × (3 200~4 425) ~ (6 500~9 150)	(80×300) × (1 200~2 400) × (1 900~4 000)
Burner capacity	Kcal/hr		13 280 × 10 ⁴	11 550 × 10 ⁴
Fuel consumption	Kcal/t		44 × 10 ⁴	47 × 10 ⁴

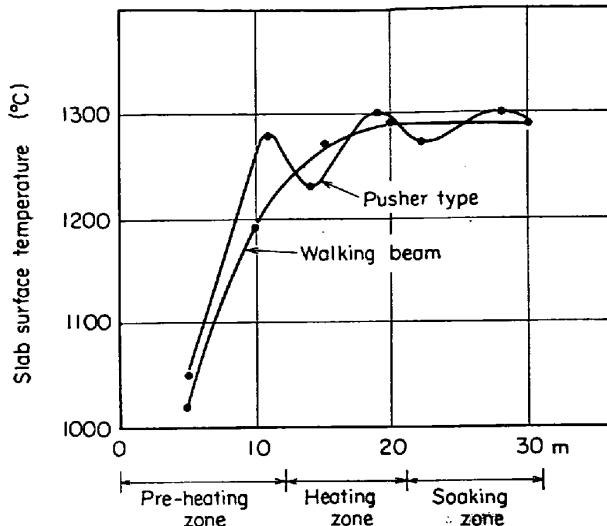


Fig. 8. Slab surface temperature in furnace.

分での温度低下が著しくその前後のバーナで補正してやる必要があるため Fig. 8 のような形の曲線となる。したがって WB 炉のいわば加熱部、均熱部における局部加熱の危険性は少なく安定した操業が可能となる。

(2) スキッドマークの有無は圧延機でのトラブルや成品の厚みへ影響が大きく、プッシャー炉の場合問題として提起されていたのであるが WB 炉の場合この影響はほとんど無視できる。ただしスキッドの構造は明らかにボタン型のほうが良好である。(Fig. 9)

(3) 炉幅方向の温度分布はサイドバーナを使用しているため中央部の温度が側壁付近に比較して高くなり圧延時の板の頭尾部が厚くなったり、頭部の圧延機への嚙込み不良などの問題が発生した。Fig. 9 に実績値を示す。

(4) スラブ表裏の温度差は熱電対をスラブに埋め込み、装入から抽出まで追跡調査した。その結果を Fig. 10 に示すが表裏の温度差はない。

3.4.3 疵

プッシャー炉で加熱されたスラブの裏にはスキッドや抽出口付近の金物との接触部で深いスリ疵が発生して圧延後の成品にも疵として残るがこれらは WB 炉においてほとんど発生していない。

6 カ月間の平均を Table 2. に示すが、スケール疵も

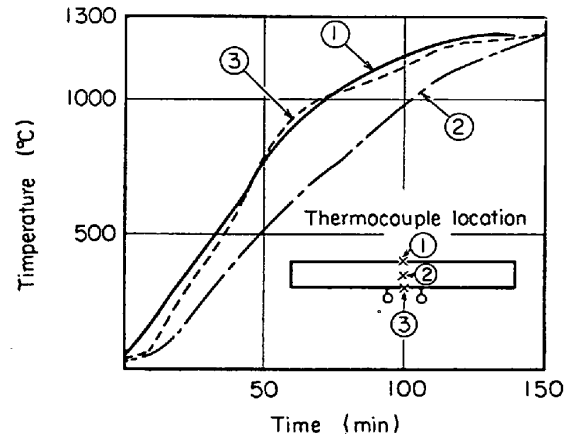


Fig. 10. Heating rate data of 240mm thickness slab.

Table 2. Scale defect of product.

Inspected surface	Furnace	Scale defect	Lamination	Total
Top surface	Pusher	1.6%	0.6%	2.2%
	W.B.	1.5	0.5	2.0
Bottom surface	Pusher	2.1	0.9	3.0
	W.B.	1.7	0.5	2.2

へゲ疵も WB 炉の表裏面間の差はなく、プッシャー炉の裏面に比較して約 30% 減少した。

3.4.4 スケール発生量

通常操業中のスケール生成量も Fig. 11 のように若干の減少がみられる。これは Fig. 8 および Fig. 12 のような温度、ふんい気の差と考えられる。また週休時も空炉を原則としておりスケール生成量は減少した。

これら一連の疵の減少は WB 方式の効果、温度分布の均一性あるいはスラブ全面にわたる均一なスケールの生成、抽出口からの侵入空気の減少などから総合的に得られたものである。炉内のふんい気中の O_2 測定結果の 1 例を Fig. 12 に示す。

3.4.5 修理

ウォーキングビーム炉の場合にはスキッドのボタンの摩耗が一番の問題となるところであるが、稼動以来 15

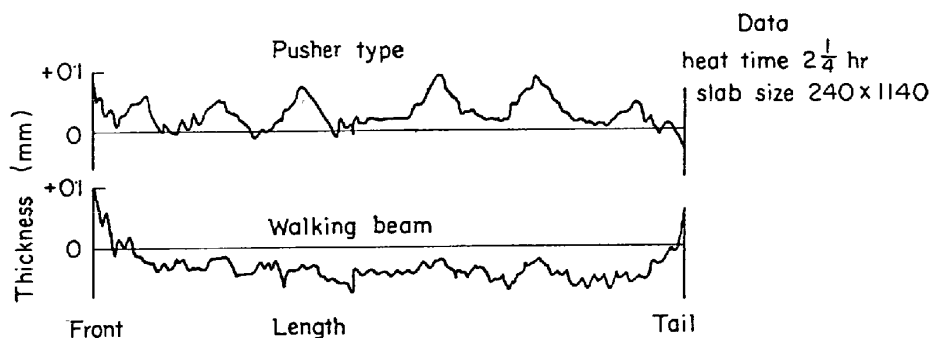


Fig. 9. Thickness of hot strip (from X-ray chart).

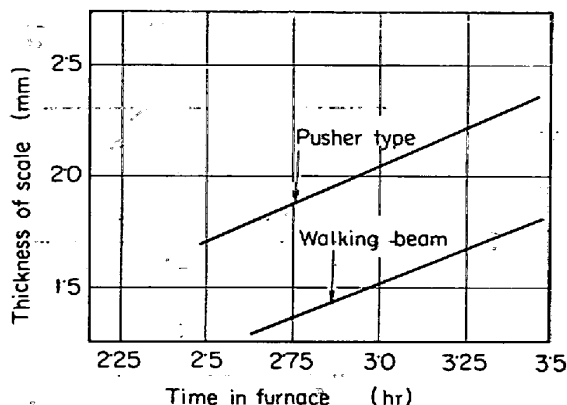
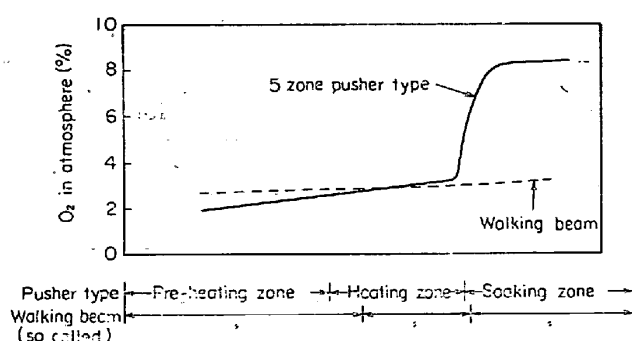


Fig. 11. Scale loss of slab.

Fig. 12. O₂ distribution in furnace.

カ月を経過して第1回目の修理をしたが、ボタンの高さも70から50mmにまもうしたがスキッドマークの発生もなく他にも特別なトラブルはないので、あと1年以上の寿命延長は可能であると判断し、プッシャー炉に比較して数倍の修理周期延長は可能である。

3.5 問題点

建設、操業中に発生した問題点をここに拾い上げる。

3.5.1 スラブを炉内搬送中の片寄り

設計、据付けの不良によるスラブの横振れもあるが装入口付近の冷片の反りによつても若干ずれが生ずる。実際にはスラブ送り以外のWB装置の昇降動作は中止している。スキッドマークとの関係においてかなり本質的な問題ともなりうる。

3.5.2 加熱中のスラブの垂れ

経験的にはオーバハング量 l mm とスラブ厚大 t mm, 垂れ下り量 δ mm との間には $\delta = K l^4 / t^2$ ($K = 20 \times 10^{-7}$) の関係が見いだされた。その結果装入スラブに対し厚みの制約が生じた。

3.5.3 炉内のスケールトラブル

実績では炉床に推積したスケールの排出にプッシャー炉の4~5倍の人手を要している。これは操炉中最もや炉かいなことであり簡便な方法の開発が待たれる。

3.5.4 スケールトラフの破損

移動ビーム開口部からのスケール脱落および炉内からの輻射熱により水封装置の故障が発生したが現在は一部設備を補強して問題は解消している。

3.5.5 抽出ドアの損傷

ドアの位置がスキッドラインより上方になるため開閉時に炎の吹き出しにより金枠が焼損歪断熱材の脱落などがある。

3.5.6 炉幅方向の温度分布

前述のごとくサイドバーナによる均一性はむずかしい。

3.5.7 燃料消費量

高めとなる可能性はある。しかしバーナ間引きを適正に実施することによりプッシャー炉に遜色のない成績を得ている。

4. あとがき

名古屋製鉄所で稼動しているWB炉の紹介および操業状況を報告したが、その効果も大きい反面まだ未解決の問題もある。しかし稼動以来の状況をここに整理報告できたことは今後のWB炉の方向および新設炉の参考資料とする大きな意味がありこれらの一助となれば幸いである。

文 献

- 1) R. CHAURAND: Metallurgia, December (1967), p. 241
- 2) C. CONE: Iron Steel Engr., September (1967), p. 119
- 3) J. D. WILDE: Iron Steel Engr, November (1967). p. 79
- 4) P. DESSARTS: Metallurgia, January (1968), p. 17
- 5) R. G. BROOKS and S. D. PROBERT: J. Iron Steel Inst., June (1967), p. 647
- 6) C. CONE: Iron Steel Engr., October (1965), p. 99
- 7) C. CONE: Iron Steel Engr, October (1964), p. 137
- 8) G. H. FLUX: J. Iron Steer Inst., October (1968) p. 757