

大型バッチタイプ加熱炉の熱効率について*

越谷 粕 蔵**・清水 浩**

ON THE HEAT EFFICIENCY OF LARGE BATCH TYPE REHEATING FURNACES

Kasuzo Koshiya and Hiroshi Shimizu

Synopsis:

The authors made a study of the heat efficiency of large batch type reheating furnaces that were possible to heat 6t~120t ingots, and then comprehended following matters.

1. When the weight of charged ingots per unit volume of heating chamber increased, the heat efficiency increased, but it stopped at some point.

2. When the ratio of areas of the heated ingots surface and the inside wall of the furnace increased, the heat efficiency increased. But there was a limit, because the ingots must have been heated uniformly.

3. The total quantity of heat that was stored in the furnace wall and was radiated from the outside of the wall, was by more than 50% less in the case insulated than the case not insulated.

4. The weight of charged ingots per unit hearth area and combustion heat per unit volume were determined by the ingots size, because ingots must have been heated uniformly.

5. It was desired that the many ports should be set in the low position, and at the same time checkers should be large and deep.

I. 緒 言

加熱炉に関する調査研究は最近においても多数発表されているが、その殆んどは連続式加熱炉について研究されたもので、5t以上の大型鋼塊用の加熱炉に関するものは殆んど見当たらない。

筆者等が調査した炉は Fig. 1 に示すような、Siemens 式加熱炉で、被加熱鋼塊は 6t 以上 120t 程度迄の大型のものである。従つて炉内容積も $20\text{m}^3 \sim 200\text{m}^3$ となり、1回の装入には 1~10本装入する。これらの炉は 2,000t および 10,000t プレス、並びに極厚板圧延機に附属するもので、燃料は発生炉ガス或いは重油を使用している。この報告は数年間の経験を生かし、炉の改造を行つた結果、種々気附いた点を炉の熱効率を中心に取纏めたものであるが、多くの点において経験より得た独断を下した所もある。理論的な検討はなお今後の研究を要するが、ここでは一応実際データのみを検討を取纏めて報告する。

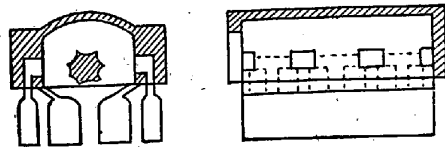


Fig. 1. Outline of shape of the furnace.

II. 熱効率に及ぼす主なる因子

1. 加熱室と装入鋼材との関係

(a) 鋼塊表面積と熱効率との関係: 加熱炉で鋼塊を加熱する際、鋼塊の表面積の大小が、熱効率を大きく左右する事は当然である。ここにおいて実際操業結果より鋼塊の表面積が炉の熱効率におよぼす影響を求めて見た。その結果を Fig. 2 に示す。この場合鋼塊の受熱面積は次のものとした。(鋼塊断面の周囲)×(鋼塊長さ)

鋼塊は炉内において支持合に載せられて加熱されるので側面および下面も一応火焰に曝される。勿論その受熱量は上面よりは少いが、この際は区別をつけずに計算した。両端部は計算から除外した。

この図では加熱炉の大きさも考慮に入れるため、鋼塊受熱面積と炉内壁面積との比と熱効率との関係を示した。この結果鋼塊の受熱面積と炉内壁面積の比率が大きくなると、炉の熱効率が上昇する事が明らかになった。故に炉の熱効率を上昇させるためには、できる限り鋼塊の受熱面積を増すようにしなければならない。

(b) 装入鋼塊重量と熱効率との関係: 前項の通り、鋼塊の受熱面積が増大すると、熱効率は向上するが、効率よく操業するには、炉の容積に適した量を装入しな

* 昭和 29 年 10 月本会講演大会にて発表

** 日本製鋼所室蘭製作所

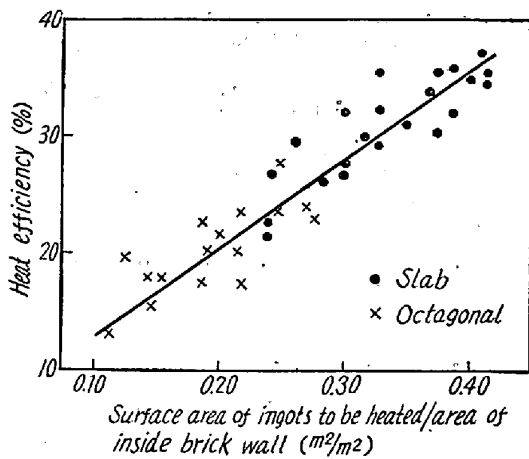


Fig. 2. Relation between surface area of ingots to be heated and heat-efficiency.

ればならない。今鋼塊を2つに分類して、{鋼塊重量(t)} / {鋼塊受熱面積 (m²)} を 1.5t/m² (主として八角鋼塊) と <1.4t/m² (主として扁平鋼塊) として、炉内単位容積当りの装入重量と熱効率との関係を求めると Fig. 3 に示したものとなった。

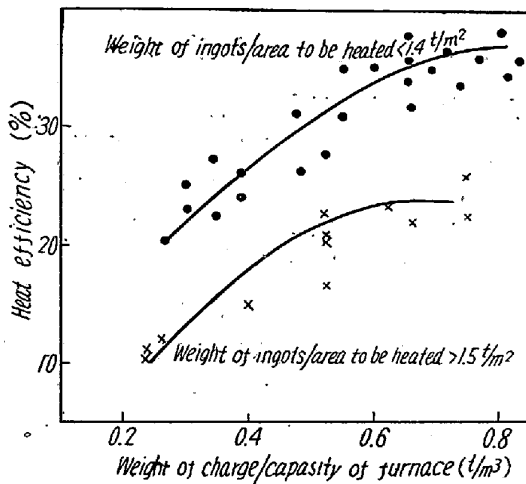


Fig. 3. Relation between weight of charge and heat-efficiency.

即ち熱効率は装入重量が増加すると、或る限度迄は向上するが、限度以上では向上しなくなる。これは鋼塊が大きくなつても、受熱面積がこれに比例して大きくならないこと、また径或いは厚さが大きくなるので、加熱時間が延長されたりするためである。

2. 炉床面積と加熱重量

連続式加熱炉、均熱炉等における単位炉床面積当りの加熱能力に関しては種々報告されているが、ここに扱う加熱炉は、大型鋼塊を加熱しかつ特種鋼の場合が多いので、均一加熱が特に問題となる。例えばポート或いはパ

ーナーに鋼塊が近すぎると局部過熱を起して事故の原因となり、反対に遠すぎると炉の容積が大きすぎて熱効率を低下する。また鋼塊を2本以上装入する場合、鋼塊の間隙の大小も熱効率に影響する。この問題は非常に解決は困難であるが、これは装入鋼塊のサイズ、或いは供給熱量また前述の加熱室の容積等の問題もからみ合つてくるが、現在迄の経験的なものより Table 1 に示した程度の数値の場合が、比較的好結果を得ている。

Table 1. Weight of the ingots per unit area of hearth desired.

Shape of ingots	Weight of ingots /area of hearth	Weight of one ingot
Slab	2.0~2.5 t/m ²	6~19 t
Octagonal	1.3~1.6 "	6~20 "
Octagonal	2.5~3.0 "	30~120 "

3. 燃焼熱量

前述の通り局部加熱を防止し、また鋼塊の加熱時間を調節して効率を向上させるため、炉内容積当りの熱負荷は、一般の加熱炉に比較して相当小さくするのがよいようである。これも種々の条件によつて左右されるが、経験上 Table 2 に示した程度の基準で加熱すればよい結果を得ている。

Table 2. Relation between the ingots and operating condition.

Weight of the ingot/area of the ingots surface	Weight of the ingots/area of the hearth-heat-ing time	Intensity of combustion desired
>1.5t/m ²	100~150 kg /m ² h	30,000~35,000 Kcal/m ² h
1.0~1.4 "	180~220 "	40,000~45,000 "

4. ポートおよび蓄熱室

ポートは均一加熱方式より、数の多い方がよく、また火焰が鋼の下部まで包む様に、位置は低い方がよい。ポートの総面積は、相当余裕をとつて設計する方がよく大略 10×10⁵~15×10⁵ Kcal/m² h 程度とする。

蓄熱室は熱回収面より見て、当然容積の大きい方がよいが、同一容積であれば、背の高い方がよい、一例として重油焚加熱炉の実績を示せば Table 3 の通りである。

即ちA炉とB炉とを比較すると、b/a はAの方が大きく、かつ蓄熱室の高さもAの方が 0.9m 高い。この点において熱回収率に差ができ、従つて熱効率にも大きい差が生じたものと考えられる。

Table 3. Comparison of size and efficiency at two furnaces.

Furnace	Size of the heating chamber				Size of the checker				b/a × 100	Efficiency of the furnace	Efficiency of the checker
	Height	Width	Length	Volume (a)	Height	Width	Length	Volume (b)			
A	3.0 m	5.8 m	8.5 m	140m ³	2.9 m	3.3 m	8.5 m	80m ³	57%	33%	25%
B	3.6 m	5.5 m	8.5 m	160m ³	2.0 m	3.3 m	12.0 m	80m ³	50%	28%	22%

5. 炉壁の蓄積熱量と放散熱量

この種の加熱炉は冷鋼塊を装入する際炉の温度を 500~700°C 迄下げるので、炉壁が定常状態で操業される時間は比較的少い。熱精算を行つた場合、詳細不明の熱損失が相当大きい、これは大部分表面よりの放散熱量と炉壁の蓄積熱量とである。炉壁の蓄積熱量について計算された結果の発表されたものもあるが、ここでは大型炉に関しての実測結果を示す。実験方法は Fig. 4 に示す如く炉体煉瓦に種々の深さに孔を穿ち熱電対を挿入して温度分布を求め、それより炉壁の蓄積熱量を求めてみた。熱電対は 0.6mmφ の Pt-PtRh 線で穴にはモルタルを充填した。計算の際の煉瓦の常数は次のものを用いた。

- 密度 1900 kg / m³
- 比熱 1.1Kcal / m h °C
- 熱伝導度 0.28Kcal / kg °C

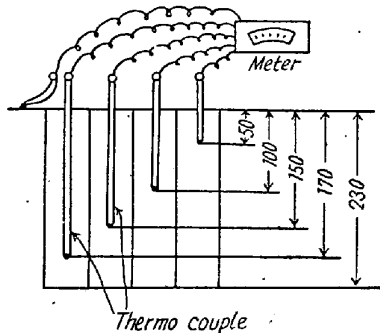


Fig. 4. Measuring arrangement of temperature distribution.

この結果は Fig. 5, Fig. 6 の通りである。Fig. 5 は滅火した後の炉壁の温度分布で、耐火煉瓦のみと、断熱煉瓦で保温した場合とを示した。煉瓦の温度分布は、炉の冷却される前後の条件によつて一様ではないが、ここに2つの場合を示す。また図中に比較の意味でSchmidtの方法による計算結果を示す。これより見て、実測結果は温度が少しく高く出ている。これは実験による誤差もあるし、また計算の際の常数の採り方にもよるが、何れにしても大差はなく、実際の炉の計算の場合、常数の

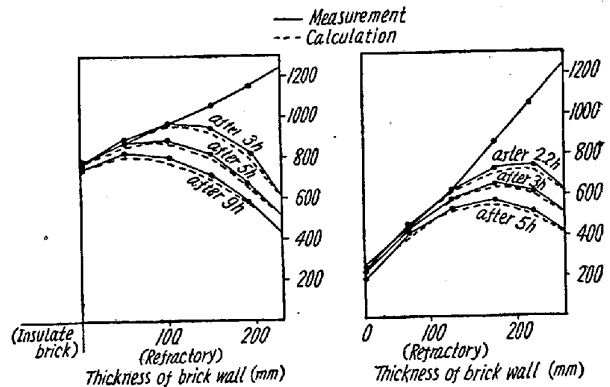


Fig. 5. Distribution of temperature in brick wall.

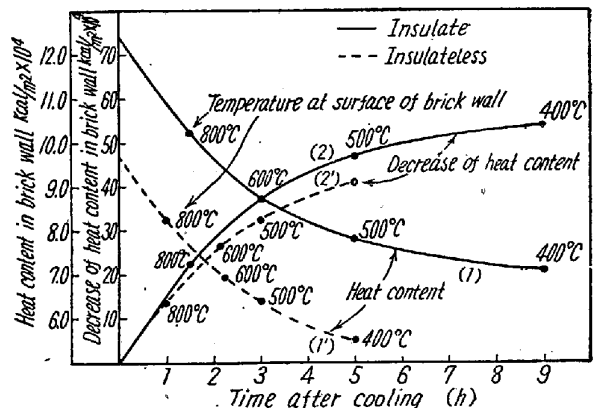


Fig. 6. Change of heat content in brick wall after sudden cooling of furnace side.

採り方に違いがなければ、Schmidtの方法による計算は相当信頼できるものと考えられる。Fig. 6 は Fig. 5 の温度分布より炉壁の含有熱量を求めて、滅火後の時間および炉内面温度と炉壁含有熱量との関係を示したものである。図中曲線 (1) (1)' は炉壁の含有熱量を示し、(2) (2)' は炉壁の含有熱量の減少した値を示したものである。炉壁の含有熱量が炉の冷却の際に大量に減少するという事は、加熱の際はこの減少した熱量だけ蓄積される事になる。Fig. 6 において炉の内壁が同温度である時、保温した場合の方が含有熱量の減少量が大きいかから、加熱の際に蓄積される熱量は保温した場合の方が大きい事になる。しかし炉の外壁からの放散熱量は Fig. 7

に示した通りで、保温した場合の方が遙かに少い。これらの結果を総合したものを Fig. 8 に示す。この場合の加熱時間は 12h で炉の冷却温度は 600°C である。

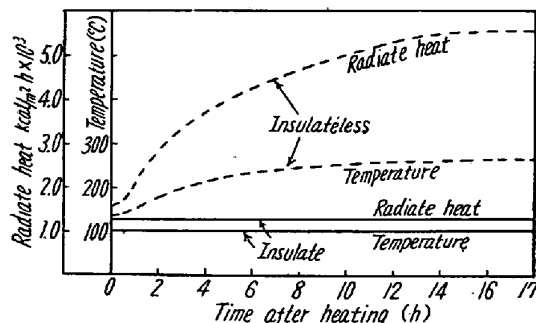


Fig. 7. Temperature and radiate heat at outside of the wall.

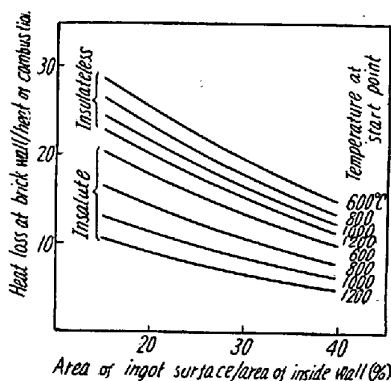


Fig. 8. Heat loss at brick wall.

以上の結果よりこのような大型鋼塊の加熱炉においては、炉壁の全熱損失は保温した場合は、保温しない場合より遙かに少い事が判る。なお Fig. 8 は前記の実験より計算したものであるが、実際の操業では、炉の間隙よりの損失等もあつて、この結果より 30% 以上多くなる事が普通である。

III. 炉の改造とその操業の実例

加熱炉の熱効率におよぼす因子は以上の他にも多くあるが、これ迄記した数値によつても、炉の改造、或いは新設の際の有力な参考資料となしうる。ここにおいて厚板工場の加熱炉の改造の例を示して見る。

この工場の炉は従来発生炉ガス焚であつたが、これを重油焚にし、それと同時に炉体を最小限の経費で改造して、炉の熱効率を向上させようとしたものである。

1. 与えられた条件

鋼塊 単重 12t (slab) 1, 200×2, 120×560mm + 押湯
 1 回の装入量 12t × 8 本 = 96t
 加熱時間 10h 加熱温度 1250°C

燃料 C重油

現在の炉の寸法 4・3(高)×5・8(巾)×8・5m(長)
 car type

改造費を最小限とし、熱効率を向上させる事。

2. 基礎数値の決定

(1) 炉床面積

現在の炉床面積 5・8×8・5=49m²

従つて炉床負荷は 96t/49m²=1・96=2t/m²

前記の Table 1 より扁平鋼塊の場合は 2・0~2・5t/m² が良好であるから、この場合炉床面積やや大であるが、費用の関係上そのままとする。

(2) 炉容積

鋼塊重量/受熱面積=1・25t/m² (鋼塊は押湯を含む)

装入重量/炉床面積×加熱時間=196 kg/m²h.

Table 2 より燃焼熱量は 40,000~45,000Kcal, m³h, また Fig. 3 より装入重量/炉内容積=0・6~0・8t/m³ が熱効率の良好な割合であるから、平均値 0・7t/m³ をとれば、炉内容積は 96/x=0・7, x=137m³ となる。炉床面積が 49m² であるのでこの時高さは 3・0m となる。それではこの 3・0m が炉として適しているかどうかであるが、それは次の実績より推して適当なものと考えられる。

鋼塊は下部も加熱できるように合に載せ、二段積とするが、その合は高さが 600mm あり鋼塊の厚さが 500~600mm であるので二段積として、鋼塊上面より天井迄 1・2~1・4m ある事となる。前に筆者等は鍛錬工場の加熱炉において、大型鋼塊の加熱の際に鋼塊上面より天井迄の高さを約 1m にして熱効率を上昇させた事がある。その根拠は、既設の炉の効率より、よいものを求めたもので、その実例は Fig. 9 に示した通りのものである。

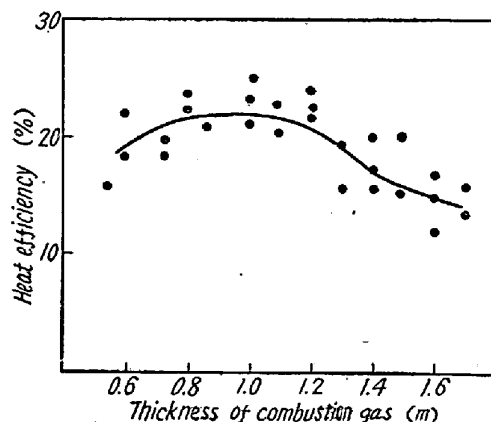


Fig. 9. Relation between thickness of combustion gas layer and heat-efficiency.

これより見ると燃焼ガス層の厚さが 0・8~1・1m の時

Table 4. Some examples of operation.

Example	Charge	Heat-efficiency	Remarks
Good	12t×8=96t	38%	Standard charge of design.
Common	9t×6+7t×2=68t	32%	This example is many.
Poor	6t×5+4t×4=46t	22%	Light charge.

が一番効率がよくなっているが、この場合、更に大型鋼塊を加熱する事も考慮して、一応燃焼ガス層の厚さを1.2m 前後即ち、炉高を3.0m を採用した。

(3) バーナーおよび送風機

単位容積当りの燃料使用量は 40,000~45,000 Kcal/m³hであるから、1h 当り45,000×135=610×10⁴ Kcal/h で、重油の発熱量を 10,000Kcal/l とすれば、重油の使用量 610l/h となる。バーナーの数は、従来の炉の構造から片側6本が妥当と考えられるので、1本当り 100 l/h となる。バーナー最高 150l/h を採用する。送風機は 9,000m³/h が必要である。

3. 熱効率の予想と実績

1) 予想: 鋼塊受熱面積/炉内壁面積=0.39 となるから Fig. 2 より約 35% となる。

2) 実績

実際操業においては、種々の条件に左右されて、常時最高の効率を維持する事は困難であるが、多くの操業の平均は Table 4 の如きものであつた。

IV. 結 論

以上大型バッチタイプ加熱炉の熱効率におよぼす主な

る因子について述べたが、これを要約すれば次の通りである。

1. 単位炉内容積当りの装入重量が増加すると、熱効率は向上する。しかし或る限度に達すると上昇しない。

2. (鋼塊受熱面積/炉内容積)が大きくなると、熱効率は向上する。

3. 単位炉床面積当りの加熱重量および燃焼熱量 (KCal/m³h) は均一加熱の面より鋼塊サイズによつて略々決められる。

4. ポート、バーナーは数多く、かつ位置を低くするのがよく、蓄熱室は大きく深いのがよい。

5. 炉壁の蓄積熱量と放散熱量との和は、断熱煉瓦で保温した場合は、保温しない場合より 50% 以上少い。

現在までに得た測定値を用いれば、この種の加熱炉の改造、新設の基礎、或いは能率的な操業の有力な参考資料となる。この事を炉の改造例で示した。

終りに本報告の発表を許可された当所々長常務取締役柳武氏、副所長取締役皆川孝光氏、および御指導を賜つた鍛冶課長鍵和田暢夫氏に深く感謝する次第である。

(昭和 30 年 3 月寄稿)