

重装入, 能率増加で生産量も 8 万 t/M を越えている。しかしさらに増産するためには造塊能力 (注入, 鑄型設備) が隘路となり, 増強が必要となつている。

3. 結 言

昭和40年4月稼動以来順調に操業を続けているが, 溶銑不足により不安定な操業を行なつてきた。しかし41年3月より 1300 t 高炉の完成とともに生産量は急速に増加しており, さらに高溶銑操業では多少障害があつたが目下 9 万 t/M を目標に増産体制を急いでいる。

(135) 平炉における熱量原単位の算定  
に関する一考察

八幡製鉄, 八幡製造所

中川 一・鈴木康夫・○吉井 等

Some Studies of the Fuel Consumption in the O.H.F.

Hajime NAKAGAWA, Yasuo SUZUKI and Hitoshi YOSHI

1. 結 言

平炉の燃料原単位は作業条件によつて変化するので熱

エネルギー使用水準を評価するには変動要因の効果を明確には握る必要がある。当所の平炉作業は比較的限定された領域で行なわれてきたが最近に至り原料需給の調整のためかなり広範囲の領域で行なわれるようになり広範囲にわたつて適用できる標準値が必要となつたのでこれの再検討を行なつた。

熱量換算係数については各社において検討が行なわれ多くの報告が提出されており酸素の熱量換算率についてはすでに製鋼部会が熱経済技術部会と共同で検討を行ない第 22 回製鋼部会に報告している<sup>2)</sup>がこの種の解析は従来より理論的検討が不十分であつたと思われたので今回若干の理論的検討を加え比較的満足すべき結果を得たので概要を報告する。

2. 熱量換算係数の理論的検討

2.1 酸素換算係数

door lance より鋼浴に吹き込まれた酸素は素通りがないと仮定すれば CO 反応に 87%, ダスト生成に 13% の割で消費されると考えられる<sup>3)</sup>ので吹き込まれた酸素による熱量の変化は Table 1 のごとく分解される。したがつて酸素の燃料に置換すべき値である酸素換算係数 ( $K_{O_2}$ ) は鋼浴内の伝熱効率を 100% とすれば (1) 式で表示される。熱効率を (2) 式で表わせば酸素吹精中の熱効率は 30~35% と考えられるので<sup>4)</sup> Table 4 のごとく

Table 1. Calculation data for the coefficient of the oxygen.

Reaction	Calculation (kcal/Nm <sup>3</sup> O <sub>2</sub> )
(a) CO-reaction	$29300 \times 2/22.4 \times 0.87 = 2280$
(b) dust formation	$198500 \times 1/22.4 \times 2/3 \times 0.13 = 770$
(c) combustion heat of exit CO-gas to CO <sub>2</sub>	$67700 \times 2/22.4 \times 0.87 = 5260$
(d) heat content of exit CO-gas at 1600°C	$0.35 \times 1600 \times 2 \times 0.87 = 980$
(e) heat content of exit dust at 1600°C	$0.24 \times 1600 \times 4.8 \times 0.13 = 240$

Table 2. Calculation data of the coefficient for the hot metal.

Reaction	Calculation (kcal/% HM)
(a) heat content of hot metal	$10.2 \times 0.22 \times 1240 = 2780$
(b) reaction heat of hot metal	
$Fe_2O_3 + 3C = 3CO + 2Fe$	$\frac{160}{36} \times 0.46 = 2.04$ $\frac{-110600}{36} \times 0.46 = -1410$
$2Fe_2O_3 + 3Si = 3SiO_2 + 4Fe$	$\frac{320}{84} \times 0.06 = 0.23$ $\frac{226400}{84} \times 0.06 = 160$
$Fe_2O_3 + 3Mn = 3MnO + 2Fe$	$\frac{160}{165} \times 0.08 = 0.08$ $\frac{91000}{165} \times 0.08 = 40$
$2Fe_2O_3 + 6P = 3P_2O_5 + 10 Fe$	$\frac{800}{186} \times 0.03 = 1.13$ $\frac{82700}{186} \times 0.03 = 10$
(c) heat absorption of iron ore	$2.5 \times 0.2 \times 1400 = 700$ $0.5(1600 - 1400) \times 2.5 \times \frac{56}{72} = 190$ <hr/> $890$
(d) combustion heat of CO to CO <sub>2</sub>	$\frac{28}{12} \times 0.46 \times \frac{67700}{28} = 2600$
(e) heat content of exit CO-gas	$\frac{22.4}{12} \times 0.46 \times 0.35(1600 - 1400) = 60$

Table 3. Calculation data for the oxidizing materials.

Reaction	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (kcal/kg)	FeO (kcal/kg)
(a) heat absorption	0.20 × 1400 = 280	0.20 × 1400 = 280
	0.5 × (1600 - 1400) × $\frac{112}{160}$ = 70	0.5 × (1600 - 1400) × $\frac{56}{72}$ = 80
(b) decomposition heat	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 2C → 3CO + 2Fe $\frac{110600}{160}$ = 690	FeO + C → Co + Fe $\frac{35000}{72}$ = 490
(c) heat content of exit CO-gas at 1600°C	$\frac{3}{160}$ × 22.4 × 0.35 × 1600 = 240	$\frac{72}{1}$ × 22.4 × 0.35 × 1600 = 170
(d) combustion heat of exit CO-gas to CO <sub>2</sub>	$\frac{3}{160}$ × 67700 = 1270	$\frac{72}{1}$ + 67700 = 940

Table 4. Correction coefficients of the fuel consumption.

Heat efficiency (%)		25	30	35	Estimated value
Coefficient					
K <sub>O<sub>2</sub></sub>	(10 <sup>3</sup> kcal/Nm <sup>3</sup> )	13.8	12.6	11.7	12.0
K <sub>HM·ore</sub>	(10 <sup>3</sup> kcal/% <sub>HM</sub> )	5.2	4.8	4.5	5.0
K <sub>ε</sub> (10 <sup>3</sup> kcal/kg)	K <sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></sub>	- 3.6	- 2.7	- 2.1	2.5
	K <sub>FeO</sub>	- 3.0	- 2.3	- 1.8	

K<sub>O<sub>2</sub></sub> はほぼ 12000 kcal/Nm<sup>3</sup> 位と推定される。

$$K_{O_2} = \frac{(a) + (b) - (d) - (e)}{E_{ff}} + (c) + (d) + (e)$$

$$= 1830/E_{ff} + 6480 \dots\dots\dots (1)$$

$$E_{ff}(\%) = \frac{\text{heat content of molten steel and slag} - \text{decomposition heat}}{\text{total heat supply}} \times 100$$

$$\dots\dots\dots (2)$$

2.2 溶銑-鉱石換算係数

溶銑換算係数は鉄鉱石の効果も含めた溶銑-鉱石換算係数 (K<sub>HM·ore</sub>) として検討する。K 120 t 平炉を例にとると溶銑比が 1% 変化 (H.M.R 60% 前後) したら溶銑が 10.2 kg/t 変化するから変動に伴う熱量の変化は Table 2 のように考えられる。この場合に K<sub>HM·ore</sub> は (3) 式で示されるので平均熱効率を 25~30%<sup>4)</sup> とすれば良塊あたり 5000 kca/%HMR と推定される。(c. f. Table 4)

$$K_{HM·ore} = \frac{(a) + (b) - (c) - (e)}{E_{ff}} + (d) + (e)$$

$$= 630/E_{ff} + 2660 \dots\dots\dots (3)$$

2.3 冷剤換算係数

平炉には酸化剤が使用され(4)式のような関係を有している。(4)式は酸化剤の標準量を与えるもので(5)式で示される量を酸化剤補正係数(ε)とすればは標準よりの超過量を示す尺度であつて溶銑換算係数を K<sub>HM·ore</sub> で

$$ore_{st'd} = 2.5X_{HM} + 1.5X_{cp} - 4.43X_{O_2} \dots\dots\dots (4)$$

$$\epsilon = ore_{obs} - ore_{st'd} \dots\dots\dots (5)$$

示した場合この超過量に相当する熱量の増減分を考慮する必要がある。いま Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO について冷剤効果を

求めると Table 3 から(6), (7)式が求められるので熱効率を 30~35%<sup>4)</sup> と見れば K<sub>ε</sub> は 2500kcal/kg 程度と推定される。この係数はまた鉄鉱石換算係数(K<sub>ore</sub>)に相当する。

$$K_{Fe_2O_3} = -1280/E_{ff} + 1510 \dots\dots\dots (6)$$

$$K_{FeO} = -1020/E_{ff} + 1110 \dots\dots\dots (7)$$

3. 結果と考察

3.1 理論値と実績値の比較

理論的に求めた換算係数の妥当性を実績値と対比して確認する必要があるので最近3年間の作業成績(月単位)を適用して理論値と比較した。

Fig. 1 は酸素換算係数, Fig. 2 は溶銑-鉱石換算係数, Fig. 3 は冷剤(超過量)換算係数を示す図である。いずれも縦軸は補正値(他の要因は零水準)で示しているが

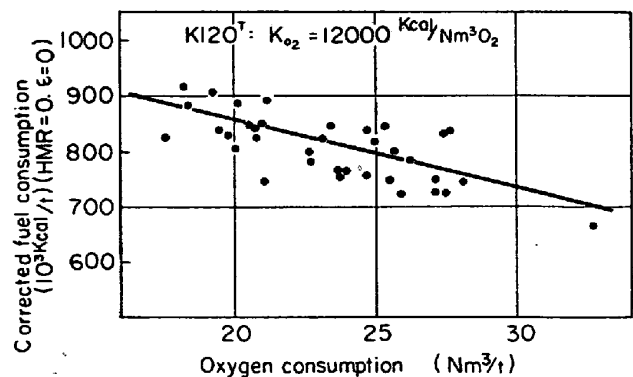


Fig. 1. Correction factor of the oxygen for the fuel consumption.

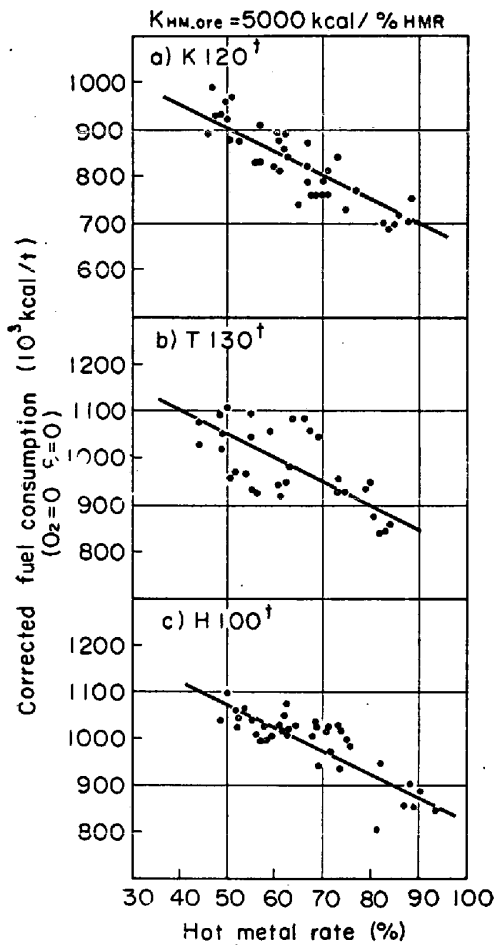


Fig. 2. Correction factor of the hot metal for the fuel consumption.

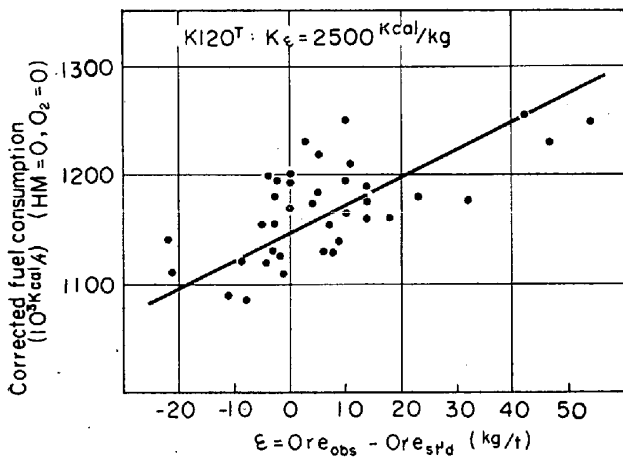


Fig. 3. Correction factor of the iron ore for the fuel consumption.

理論値 (直線の勾配) と良く一致した関係が得られた。また Table 4 から  $K_{HM \cdot ore}$  は熱効率の変化に対して鈍感でありほぼ一定値をとるが  $K_{O_2}$  は熱効率の変化に対して敏感であることが分る。したがってここで熱効率の変化が問題となるが Fig. 1 の結果をみると酸素 15~35Nm<sup>3</sup>/t 程度の範囲では直線であると見られるのでこの程度の常用の範囲では熱効率もまた大きな差がないもの

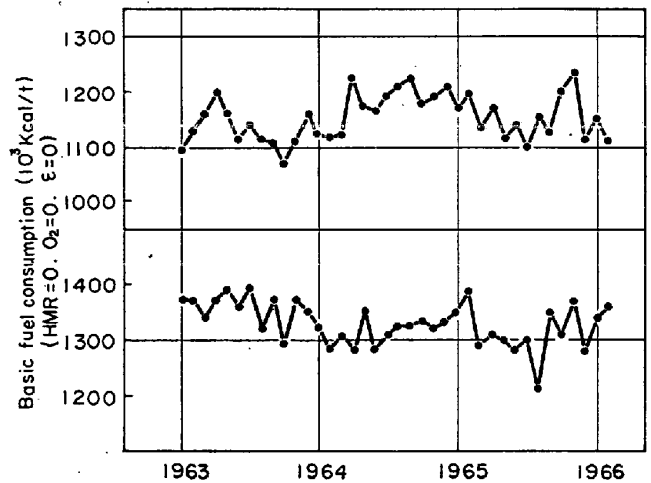


Fig. 4. History of the basic fuel consumption.

と見なされる。

3.2 溶銑-鉱石換算係数の分解

以上の検討は (8) 式のモデルを想定したものであるが (9) 式のモデルの方が一般的である。そこで両式より換算係数の関係を求めて見る。まず両式を溶銑比で偏微分して差をとると (10) 式が得られる。

$$K_0 = K + K_{O_2} \cdot X_{O_2} + K_{HM \cdot ore} \cdot X_{HM} - K_\epsilon \cdot X_\epsilon \quad \dots (8)$$

$$K_0 = K + K_{O_2} \cdot X_{O_2} + K_{HM} \cdot X_{HM} - K_{ore} \cdot X_{ore} \quad \dots (9)$$

ここで:  $K$  = fuel consumption (kcal/t)

$X_{HM}$  = %HM

$K_0$  = thermal energy consumption (kcal/t)

$X_{ore}$  = iron ore (kg/t)

$X_{O_2}$  = oxygen (Nm<sup>3</sup>/t)

(10) 式において  $\partial X_\epsilon / \partial X_{HM} = 0$ ,  $\partial X_{ore} / \partial X_{HM} = 2.5$  であるから (11) 式となる。

$$K_{HM \cdot ore} - K_\epsilon \frac{\partial X_\epsilon}{\partial X_{HM}} = K_{HM} - K_{ore} \frac{\partial X_{ore}}{\partial X_{HM}} \quad \dots (10)$$

$$K_{HM} = K_{HM \cdot ore} + 2.5 K_{ore} = 5000 + 2.5 \times 2500 = 11000 \text{ (kcal/%HM)} \quad \dots (11)$$

溶銑換算係数 ( $K_{HM}$ ) は Table 2 の溶銑の保有熱量を平均熱効率で除したものに相当し、これは約 10000kcal/%HM になるから両者はほぼ一致することが分る。

3.3 燃料原単位の経年変化

燃料原単位を (8) 式のモデルで示せば (12) 式となる。(12) 式において  $K_0$  は  $X_{HM}$ ,  $X_{O_2}$ ,  $X_\epsilon$  を零にした時の燃料原単位に相当するので基準原単位 (basic fuel consumption) と考えられ、熱エネルギー使用水準を表示する尺度である。 $K_0$  は同一母集団に属するデータに対しては工程平均の周りがあるバラツキをもつて変化するはずである。これを K120t と K100t 平炉の例をあげて経年変化として Fig. 4 に示す。このように  $K_0$  を追跡することによって熱エネルギー使用水準を評価することが可能である。

$$K_0 = K + 12X_{O_2} + 5X_{HM} - 2.5X_\epsilon \quad \dots (12)$$

4. 結 言

平炉における熱量原単位の算定を合理的に行なうために熱量換算係数を理論的に検討し、次のような結果を得た。

- (1) 酸素換算係数は 12000 kcal/Nm<sup>3</sup> に相当する。
- (2) 溶銑-鉍石換算係数は良塊あたり 5000 kcal/%HM 程度である。
- (3) 冷却剤は単位使用量 (kg/t) の変化で 2500kcal/t の熱量の変化を示す。
- (4) 以上の換算係数を適用することによつて平炉の熱エネルギー使用水準を合理的に評価できる。

文 献

- 1) 製鋼部会資料
- 2) 中川, 他: 鉄と鋼, 50 (1964) 9, p. 1510
- 3) 八幡製鉄, 製鋼部資料 (未発表)
- 4) 八幡製鉄, 熱技術課資料 (未発表)

(136) 平炉における製鋼能率の算定について

八幡製鉄, 八幡製造所

中川 一・鈴木康夫・○吉井 等

The Calculation Formula of the Production Rate in the O.H.F.

Hajime NAKAGAWA, Yasuo Suzuki and Hitoshi YOSHII.

1. 緒 言

当所の平炉工場では標準値を設定し生産計画の立案, あるいは作業能率の管理などに適用してきた。最近一般的に見られる傾向として平炉の作業領域が拡大しているが当所の平炉工場についても例外でなく大きな変化を示すに至り従来限定された領域で使用されてきた標準値の適合度が問題となった。従来より平炉の製鋼能率は溶銑比と酸素使用量 (door lance) の2要因で補正して表わしてきた。補正係数は過去のデータの統計解析より求めるのが常であつた。したがつて適合の精度を上げるためには換算率をより適正化することと必要であれば第3の要因を導入することが考えられる。今回製鋼能率の標準値を再検討するに際してより技術的意味を持たせるために若干の理論的検討を加え第3の要因として冷却剤効果を導入しほぼ満足すべき結果を得たので概要を報告する。

2. 換算係数の理論的検討

2.1 燃料原単位と製鋼能率

従来より燃料原単位と製鋼能率の間には分数関数で示されるような関係があるといわれてきた<sup>1)</sup>。その後平炉における酸素製鋼法の導入があり作業能率も質的に大きな変化を受けたと考えられる。そこで最近の作業成績 (旬別) に基づいて両者の散布図を求めると Fig. 1 に示すごとく直線関係が存在すると思われる結果が得られた。この関係は次のように説明することができる。すなわち燃料原単位 (K) と製鋼能率 (P) がそれぞれ (1), (2) 式で表わされると仮定した場合 (2) 式を (1) 式に代入し P で偏微分すると (3) 式となり

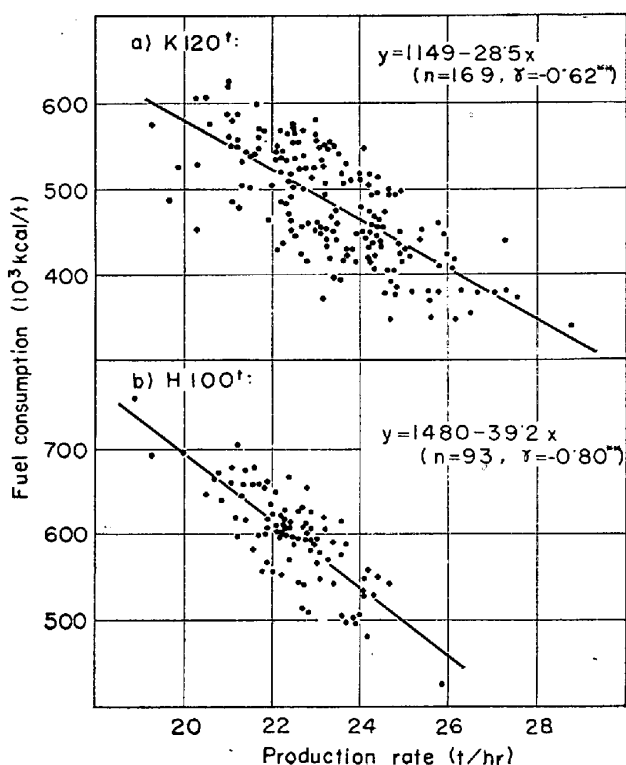


Fig. 1. Fuel consumption and production rate.

$$K = K_0 - K_{O_2} X_{O_2} - K_{HM} \cdot X_{HM} + K_e \cdot X_e + \epsilon_K \quad (1)$$

$$P = P_0 + P_{O_2} \cdot X_{O_2} + P_{HM} \cdot X_{HM} - P_e \cdot X_e + \epsilon_P \quad (2)$$

ただし  $X_{O_2} = \text{Nm}^3/\text{t of oxygen}$   
 $K_{O_2}, K_{HM}, K_e = \text{constant}$   
 $X_{HM} = \% \text{H.M.R}$   
 $P_{O_2}, P_{HM}, P_e = \text{constant}$   
 $X_e = \text{ore}_{\text{obs}} - \text{ore}_{\text{st'd}} \text{ (kg/t)}$   
 $\epsilon_K, \epsilon_P = \text{error}$

$$\frac{\partial K}{\partial P} = -K_{HM} \cdot \frac{\partial X_{HM}}{\partial P} - \frac{K_{O_2}}{P_{O_2}} + \frac{K_{O_2} P_{HM}}{P_{O_2}} \cdot \frac{\partial X_{HM}}{\partial P} - \frac{K_{O_2} P_e}{P_{O_2}} \cdot \frac{\partial X_e}{\partial P} + K_e \cdot \frac{\partial X_e}{\partial P} \quad (3)$$

(3) 式において仮定より

$$\frac{\partial K_{HM}}{\partial P} = \text{constant} \left( = \frac{1}{P_{HM}} \right)$$

$$\frac{\partial X_e}{\partial P} = \text{constant} \left( = -\frac{1}{P_e} \right)$$

であるから  $\frac{\partial K}{\partial P} = -\frac{K_{HM}}{P_{HM}} + \frac{K_{O_2}}{P_{O_2}} - \frac{K_e}{P_e} \quad (3)'$

$$\therefore K = -\left( \frac{K_{HM}}{P_{HM}} - \frac{K_{O_2}}{P_{O_2}} + \frac{K_e}{P_e} \right) P + C \quad (4)$$

したがつて燃料原単位が製鋼能率の一次式で示されることが立証された。ただし (1), (2) 式における  $K_{HM}$ ,  $P_{HM}$  は純粋に溶銑のみによる係数ではなく酸化剤の効果も合せ考えた係数, すなわち  $K_{HM\text{-ore}}$ ,  $P_{HM\text{-ore}}$  である<sup>2)</sup> (以下同じ)。

2.2 換算係数の算出

燃料原単位と製鋼能率が (5) 式で示される場合に熱量