

Fig. 1. Relation between the amount of reduction and CO and H₂ contents in reducing gas.

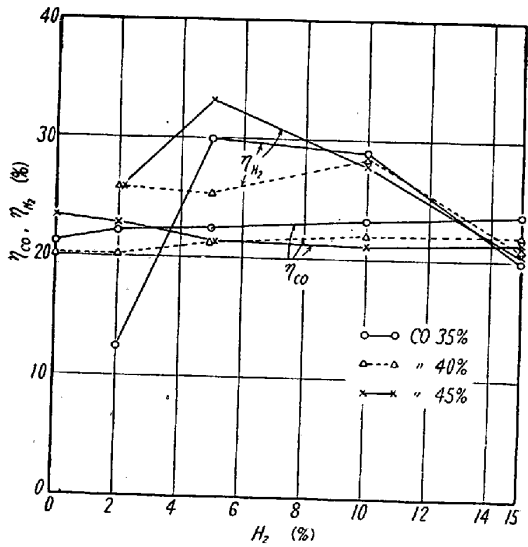


Fig. 2. Relation between utilization rate of reduction by CO, H₂, and CO, H₂ contents in reducing gas.

(2) Boudouard 反応および水性ガス反応

これらの反応の進行状況も還元ガス中の CO および H₂ 含有量の影響を受ける。

すなわち CO 含有量の上昇とともに Boudouard 反応が進行し、また H₂ 含有量の上昇とともに水性ガス反応が抑制されることが認められる。

IV. 結 言

高炉に燃料を吹込む場合を想定して還元ガス中の CO

および H₂ の還元に対する利用率について調べたところ本実験の条件 (ガス流量 250 N cm³/mn, 鉱石 10mm ±1mm 30g) 下では CO の還元利用率は CO 含有量 35~45% の範囲では一定で約 22% であるが H₂ の還元利用率は H₂ 含有量 0~10% の範囲では約 28% で CO のそれより高いが H₂ 含有量 0~15% になると約 20% に低下する。

したがって高炉シャフト部のガス還元について考えると熱的バランスは別として H₂ 10% までは CO より H₂ の方が還元ガスとしては有利であることがわかる。

また還元効率のよいガス成分としては CO 45%, H₂ 10% (シャフト部における成分) であると推察される。

(9) 水蒸気, 酸素および燃料添加時の羽口前理論燃焼温度について

八幡製鉄所製鉄部

○嶋田正利・加藤孝五・阿由葉善作

On the Theoretical Combustion Temperature in the Tuyere Combustion Zone when H₂O, O₂ and Fuel are Injected into Blast.

Masatoshi SHIMADA, Kōgo KATŌ and Zensaku AYUHA

I. 緒 言

今日の高炉操業においては送風中に水蒸気を添加することは炉況調整および高温送風に当って効果的であるゆえに一般化している。同時に高炉の出鉄比増加ならびにコークス比低下の手段として、酸素および燃料添加送風の意義も認められている。これらの添加送風操業の基準としては、主として羽口前燃焼温度を用いている。そのために、燃焼温度を計算した例も多少あるが連続的な数式として算出したものがないので本文においてはその数式を導きさらに、送風温度、送風湿度、送風酸素濃度および送風中燃料 (例として C. O. G) 濃度変化の羽口前理論燃焼温度におよぼす影響を調べ、操業の方針の検討を行なった。

II. 方 法

燃焼温度の算出にあたって化学および物理定数を以下のごとく定めた。

(i) 比熱¹⁾ (t の単位は °C)

N₂, O₂, CO の比熱

$$C_{P1} = 0.302 + 2 \times 2.23 \times 10^{-5} t \quad \text{kcal/Nm}^3\text{°C}$$

H₂ の比熱

$C_{P_2} = 0.301 + 2 \times 2.01 \times 10^{-5} t$ kcal/Nm³°C
 H₂O の比熱
 $C_{P_3} = 0.469 + 2 \times 1.88 \times 10^{-5} t + 3 \times 4.10 \times 10^{-8} t^2$ kcal/kg °C
 コークス中 C の比熱
 $C_{P_4} = 0.4$ kcal/kg °C
 C. O. G. の比熱
 $C_{P_5} = 0.35$ kcal/Nm³°C
 分解 C* の比熱
 $C_{P_6} = 0.2$ kcal/kg °C

* この分解 C とは計算の便宜上 C. O. G. が単独で反応して CO, H₂, N₂ および遊離炭素となつたと仮定した場合の遊離炭素を指す。C. O. G 1 Nm³ に対して, CO=0.178 Nm³, H₂=1.237 Nm³, N₂=0.036 Nm³ および C=0.162 g の発生を見る。

(ii) C. O. G の組成 (容量%)
 CO₂=2.6, O₂=0.2, C₂H₄=4.0, CO=7.8,
 CH₄=29.5, H₂=52.3, N₂=3.6%, H₂O=35 g/
 Nm³C-gas, 発熱量 4500 kcal/Nm³

(iii) 反応熱²⁾
 1/2O₂+C=CO
 $\Delta H_{0^\circ C} = 2467$ kcal/Nm³O₂ (=2297 kcal/kg C)
 H₂O+C=H₂+CO
 $\Delta H_{0^\circ C} = -1670$ kcal/kg H₂O
 C₂H₄=2C+2H₂
 $\Delta H_{18^\circ C} = 12.5$ kcal/kmol
 CH₄=C+2H₂
 $\Delta H_{18^\circ C} = -17.8$ kcal/kmol
 C+CO₂=2CO
 $\Delta H_{18^\circ C} = -41.56$ kcal/kmol

(iv) その他
 送風温度 t °C, 送風湿度 W g/Nm³ dry air, 送風酸素濃度 x %/Nm³ dry air, C-gas 濃度 v %/Nm³ dry air, C. O. G の温度 70°C, コークス中 C の予熱温度 $0.75T$ ³⁾, 燃焼温度 T °C

(v) 方程式
 以上の条件で, 炭素および炭化水素は CO および H₂ に羽口前で燃焼すると仮定して計算をすれば燃焼温度 T °C に関して式 (1) を得る。

$$\alpha T^3 + \beta T - g = 0 \dots\dots\dots (1)$$

ただし,

$$\alpha = [2.698 + 5.275 \times 10^{-3} W + 4.46(x-21)] \times (100-x) + 2.963(v)/(100-v) \times 10^{-5} \text{ [}^\circ\text{C]}^{-2}$$

$$\beta = [3.655 + 7.5 \times 10^{-3} W + 6.04(x-21)/(100-x) + 4.855(v)/(100-v) - 0.675 \times (1 + 2.96 \times 10^{-3} W + 4.76(x-21)/(100-x))] \times 10^{-1} \text{ [}^\circ\text{C]}^{-1}$$

$$g = (79/100-x)(0.302 t + 2.23 \times 10^{-5} t^2) + W \times 10^{-3}(0.469 t + 1.88 \times 10^{-5} t^2 + 4.10 \times 10^{-8} t^3) + 518 + 2467(x-21)/(100-x) - 1.67W - 291(v)/(100-v)$$

この式 (1) を解いて正の根を $t=700^\circ\text{C}$, $W=0$ g, $x=21\%$, $v=0\%$ で級数展開すれば次の式 (2) を得る。

Table 1. Theoretical combustion temperature (T) (without C. O. G.)

T	Humidity = 20 g/Nm ³		Humidity = 30 g/Nm ³	
	O ₂ = 21%	O ₂ = 25%	O ₂ = 21%	O ₂ = 25%
Blast temp.				
700°C	1962°C	2194°C	1901°C	2135°C
800°C	2044°C	2273°C	1984°C	2214°C
900°C	2126°C	2352°C	2067°C	2294°C

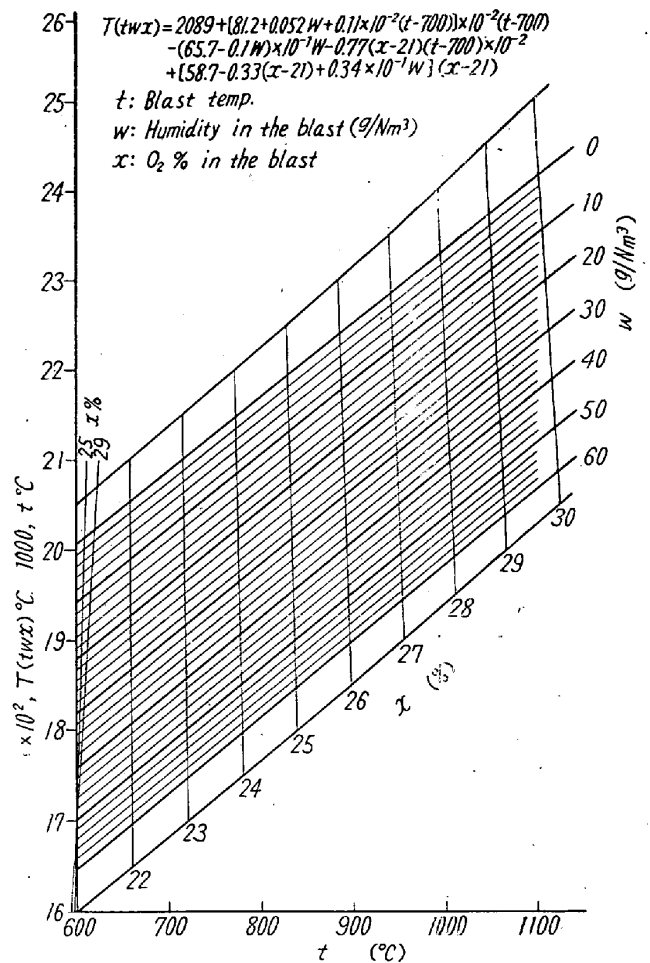


Fig. 1. Theoretical combustion temperature in the tuyere combustion zone when H₂O and O₂ are injected into blast.

Table 2. Effect of variation of temperature, H₂O, O₂ and C. O. G. on theoretical combustion temperature.

Blast temp. = 800°C Humidity = 30 g / Nm ³	O ₂ in blast = 21%		O ₂ in blast = 25%		Dimension
	C. O. G = 0%	C. O. G = 10%	C. O. G = 0%	C. O. G = 10%	
T _t	0.83	0.75	0.80	0.72	°C/°ct
T _w	-5.9	-4.6	-5.8	-4.5	°C/gw
T _x	59	58	56	55	°C/%x
T _v	-32	-31	-32	-30	°C/%v

$$T = 2089 + [8.12 + 0.052W + 10^{-3}Dt] \times 10^{-2}Dt \\ - [65.7 - 0.1W] \times 10^{-1}W + [58.7 - 0.33\Delta x \\ + 0.34 \times 10^{-1}W] \Delta x - 0.77 \times 10^{-2} \Delta x \cdot \Delta t \\ - [34.92 - 0.075v + 0.097 \Delta x - 0.133W \\ + 0.83 \Delta t] v \quad [^{\circ}\text{C}] \dots\dots\dots (2)$$

ただし $\Delta t = t - 700^{\circ}\text{C}$, $\Delta x = x - 2\%$ である。例えば送風温度 (t) を 700°C で酸素を添加しないで送風した場合には, $\Delta t = \Delta x = 0$ となり次式を得る。

$$T = 2089 - [65.7 - 0.1W] \\ - [34.92 - 0.075v - 0.133W] v$$

また C. O. G を添加しないで送風した場合には, 式 (2) で $v = 0$ として, 水蒸気および酸素のみの添加送風時の理論燃焼温度の式が得られる。Fig. 1 は後者を図表化したものである。

さらに式 (2) より T の偏導関数を導びくと次のごとくなる。

$$T_t = 0.812 + 0.052 \times 10^{-3}W + 0.2 \times 10^{-4} \Delta t \\ - 0.77 \times 10^{-2} \Delta x - 0.83 \times 10^{-2}v \quad ^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}t \\ T_w = -6.57 + 0.02W + 0.52 \times 10^{-3} \Delta t \\ + 0.034 \Delta x + 0.133v \quad ^{\circ}\text{C}/gW \\ T_x = 58.7 - 0.664 \Delta x + 0.034 \Delta x - 0.77 \\ \times 10^{-2} \Delta t - 0.097v \quad ^{\circ}\text{C}/\%x \\ T_v = -34.92 + 0.15v - 0.097 \Delta x + 0.133W \\ - 0.83 \times 10^{-2} \Delta t \quad ^{\circ}\text{C}/\%v$$

Table 1 には C. O. G 添加なしの場合の理論燃焼温度の主な値を, また Table 2 には, T_t , T_w , T_x , および T_v の主な値を示した。これらの結果から燃焼温度 (T) は送風温度および酸素濃度を上昇すれば上昇し, 送風湿度および C. O. G の添加量を増加すれば降下することがわかる。また, 理論燃焼温度 (T) を算出するにはコークス中の C が燃焼温度の 75% ($0.75T$) まで予熱されていると仮定して式 (2) を導びいたのであるが, この予熱温度が変化した場合についても計算を行なった結果予熱割合が 1% 変化するにしたがって $4 \sim 5^{\circ}\text{C}$ の燃焼温度変化があることがわかった。

III. 結 果

いくつかの仮定のもとに羽口前理論燃焼温度を計算した結果, 次のような結果が得られた。

(1) 燃焼温度は送風温度 1°C , 送風酸素濃度 1% の増加によりそれぞれ約 0.8°C および $55 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 上昇する。さらに送風湿度 $1\text{g}/\text{Nm}^3$ dry air, 送風中 C-gas 濃度 $1\%/ \text{Nm}^3$ dry air の添加によりそれぞれ約 6°C および約 35°C 降下する。

(2) 送風条件 (送風温度, 送風湿度, 送風中酸素濃度, 送風中 C. O. G 濃度等) が一定でも炉内還元反応の結果コークス中 C の予熱温度が変化した場合, 1% の変化に対し $4 \sim 5^{\circ}\text{C}$ の燃焼温度の変化を受ける。

(3) 以上の結果から酸素添加および C. O. G (一般には気, 液体燃料) 添加操作を行なう場合にはもし燃焼温度を一定に保つとしたら送風温度, 湿度等を適当に操作し, さらに炉内反応にも十分注意すべきであることがわかる。

文 献

- 1) 沢村宏: 理論鉄冶金学より。
- 2) " "
- 3) ラムの仮定。

(10) 高炉羽口前コークス燃焼に関する研究

八幡製鉄所技術研究所

○児玉 惟孝・重見 彰利
緒方 年満・堀尾 竹弘

Study on the Combustion of Coke on the Tuyere Level in Blast Furnaces.

Koretaka KODAMA, Akitoshi SHIGEMI,
Toshimitsu OGATA and Takehiro HORIO

I. 試 験 結 果

(1) 送風温度
送风量, 送風成分, コークス粒度等の条件を一定とし