ガラス電気熔融炉の熱効率

石 野 幸 三

(名古屋工業大学)

On the Thermal Efficiency of the Glass Melting Furnace by Electricity

By Kozo ISHINO

(Nagoya Institute of Technology)

1. 緒 言

従来、ガラス熔融に使用されている燃焼窯（ガス窯、重油窯）は、熱効率が極めて低く、最高 12 % を起えない。ところが、直接通電によるガラス電気熔融炉は熱効率が非常に良く、10 ton 以下の小型炉においても、60 % 以上の高効率が容易に得られるということは、極めて注目すべきことである。以下ガラス電気熔融炉の熱効率について報告する。

II. 熔融能力と所要全熱量

燃焼窯における熔融能力 (ton/24 hrs) と所要全熱量との関係を示せば、Fig. 1 のようになり、曲線 Q_T は

$$Q_T = f(p) = Q_0 + \alpha p + \beta p^2$$

where

Q_0 : losses of furnace

p : melting capacity (ton/24 hr)

α : constant

β : "

で表われ、なおガス発生炉を使用する場合には、発生炉の熱損失をも考慮する必要がある。

いま、Fig. 1 においてガラスの生産に要する熱量

Relation between Total Necessary Calorie and Melting Capacity of Firing Furnace

where

Q_T : Total necessary calorie

Q_S : Calorie loss by radiation

Q_E : Necessary calorie for production of glass

Q_A : Calorie loss by exhaust gas

Fig. 1

Q_E は、ガラスの熔融能力に正比例し、 $Q_E = \gamma p$ で表わせば、燃焼窯の熱効率 μ は

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{Q_E}{Q_T} \times 100\% = \frac{Q_E}{Q_E + Q_S + Q_A} \times 100\% \\ &= \frac{\gamma p}{Q_0 + \alpha p + \beta p^2} \times 100\% \end{aligned}$$

μ を最大にする p の値は

$$\frac{d\mu}{dp} = \frac{\gamma(Q_0 + \alpha p + \beta p^2) - \gamma p(\alpha + 2\beta p)}{(Q_0 + \alpha p + \beta p^2)^2} = 0$$

より

$$Q_0 + \alpha p + \beta p^2 = p(\alpha + 2\beta p)$$

$$\beta p^2 = Q_0, \therefore p = \sqrt{\frac{Q_0}{\beta}}$$

すなわち、熔融能力が $\sqrt{Q_0/\beta}$ の時、窯の熱効率は最大となる。

これに対し電気炉の場合には、廃気による熱損失が無いから所要全熱量は

$$Q_T = f(p) = Q_0 + \alpha p$$

となり、熔融能力に正比例することが判る (Fig. 2)。

従つて、炉の熱効率は熔融能力が大きいく程大くなる。しかしながら、これは理論上であつて、実際にはガラスの泡切れその他より、熔融能力は炉の容量の 80 ~ 120 % が適当である。

Fig. 2 Relation between Total Necessary Calorie and Melting Capacity of Electric Furnace

III. 熱効率の算出

以下、電気炉の実験データをもとにし、その熱効率を算出してみる。

曹達ガラス (Na_2O 15%) 1 kg をバッチから熔融するのに要する全熱量は、下記熱量の和である。

①バッチの熔融は吸熱反応であるから、熔融に直接要する熱量として 175 kcal.

- ③ 熔融の途中において種々のガスを発生することによる熱量の損失 63 kcal.
- ③ パッチに含有されている水分による熱量の損失 30 kcal.
- ④ ガラスの引揚温度を $1,100^{\circ}\text{C}$ 、その温度における比熱を 0.3 とすれば、ガラスの保有する熱量は 330 kcal.

以上を合計した 598 kcal. が、パッチの熔融すなわちガラスの生産に要する全熱量であるが、実際のガラス製造に当つては、パッチ 85 %、カレット 15 % の混合物を原料に使用するため、ガラス 1 kg を熔融するのに要する所要全熱量は

$$(175 + 63 + 30 + 330) \times 0.85 + 330 \times 0.15 = 558 \text{ kcal.}$$

1 kWh = 860 kcal. であるから、 $558 \text{ kcal.} = 0.65 \text{ kWh}$ 、ところで Fig. 3 に示すような熔融容量 4.5 ton の電気熔融炉における実験データを示せば、Table 1 のようになり、全熔融能力（一日の全引揚量）3,200 kg に対する熔融電力（平均値）は 136.5 kW となる。従つて、炉の熔融に対する熱効率は

熔融に要する平均電力 136.5 kW

熔融に要する 1 日の電力量 $136.5 \times 24 = 3,276 \text{ kWh}$

1 日のガラス熔融量（全引揚量）3,200 kg（引揚率 71 %）

$$\text{ガラス 1 kg の熔融に要した電力量} \frac{3,276}{3,200} = 1.02 \text{ kWh/kg}$$

Fig. 3 Glass Melting Furnace by Direct Electric Conduction (Capacity 4.5 ton)

Table 1

Capacity of melting chamber 4.5 ton						
Melting chamber			Working chamber			
Size	Length	Width	Depth	Length	Width	Depth
	212 cm	106 cm	80 cm	60 cm	60 cm	60 cm
Electric character	Voltage	Current	Mean electric power	Voltage	Current	Mean electric power
	130 V	1050 A	136.5 kW	60~90 V	200~400 A	22.5 kW
Capacity of drawing up per day					3200 kg	
" per hour					133 "	
Necessary electric energy for melting of 1 kg glass					1.02 kWh/kg	

から

$$\mu = \frac{0.65}{1.02} \times 100 \% = 63.7 \%$$

$$\mu = \frac{0.65}{1.19} \times 100 \% = 54.6 \%$$

Table 1 より作業並びに清澄に要する電力は 22.5 kW で、これを含めた総合熱効率は

以上により電気熔融炉の熱効率は、引揚率 71 % に対して熔融のみの場合 63.7 %、作業並びに清澄に要するための電力を含めた総合熱効率においても、54.6

Table 2 Thermal Efficiency of Various Furnaces

	Furnace No.	Capacity of melting chamber ton	Size of melting chamber			Voltage V	Current A	Mean electric power kW	Capacity of drawing up kg	kWh/kg	Thermal efficiency %
			Length cm	Width cm	Depth cm						
For batch 85% and cullet 15%	1	3.0	181	90	80	130~150	600~800	98.0	2000	1.2	54.2
	2	4.5	212	106	80	135~180	700~1000	134.0	2600	1.2	54.2
	3	4.5	212	106	80	130	1050	136.5	3200	1.0	63.7
	4	17.0	300	150	90	180~210	800~1000	175.0	5000	0.8	81.5
For cullet 100%	5	1.2	100	70	70	90~100	200~250	22.5	300	1.8	21.3
	6	2.1	150	80	70	110~135	280~350	39.0	850	1.1	34.9
	7	2.7	167	80	80	115~140	350~400	48.0	1100	1.05	36.6
	8	2.8	172	80	80	115~140	350~430	50.0	1350	0.9	42.7
	9	3.2	181	100	70	120~150	400~480	59.0	1250	1.1	34.9
	10	4.0	140	100	60	100	600	60.0	1575	0.9	42.7

%という極めて高い値をもっている。

筆者が今迄に設計、築炉した各種電気炉の熱効率を示せば、Table 2 のようになる。

Table 2 において、カレット熔融の場合の熱効率が、バッチ熔融の場合の熱効率に比して悪いのは、バッチ 1 kg の熔融に要する熱量は、前述のように①+②+③+④の合計で 598 kcal であるのに対し、カレット熔融の場合は、原料バッチの反応ならびにガスの発生や水分の蒸発に対する ①, ②, ③ の熱量を要せず、④の 330 kcal のみで足りるから、バッチ熔融の場合に比し、熔融に要する熱量は少く済む。一方炉の損失熱量は、バッチ熔融の場合もカレット熔融の場合も同一であるから、熱効率算定の式

$$\frac{\text{熔融に要する全熱量}}{\text{炉の全所要熱量}} \times 100 \%$$

$$= \frac{\text{熔融に要する全熱量}}{\text{炉の全損失熱量} + \text{熔融に要する全熱量}} \times 100 \%$$

において、カレット熔融の場合は分子の減少率が分母より大きく、したがって熱効率はバッチ熔融の場合よりも低い。云いかえれば、カレット熔融の場合は、炉の熱損失が減少せず一定であるにもかかわらず、実際有効に使用される熔融熱量が減少するから、熱効率の定義にもとずき、その熱効率は低下するのである。

IV. 熔融能力と熱効率

燃焼窯における熔融能力は、Moorshead¹⁾によれば被加熱面積 1 m² に対し 0.90~1.07 ton を適当とし、これ以上の場合には窯の寿命が短縮せられ、1.3 ton の時には 25 %, 1.8 ton の時には 50 %程の短縮があるといわれている。従つて、燃焼窯の熔融量を簡単に増すことはできないが、電気炉においては、炉の寿命にはほとんど影響無く、ただ供給電力を増すことによつて容易に行われるから、泡切れの悪くならない程度で、熔融能力すなわち引揚量を大きくとる。電気炉の熱効率は、熔融能力が大きい程高くなり、この関係を Table 3 と Fig. 4 に示す。

V. 結 言

以上述べたように、ガラス電気熔融炉の熱効率は極

Table 3

Factor of drawing up (%)	Losses of furnace (kW)	Electric power of melting (kW)	Total electric power of furnace (kW)	Thermal efficiency (%)
0	49.8	0	49.8	0
10	"	12.2	62.0	19.7
20	"	24.4	74.2	32.9
30	"	36.6	86.4	42.4
40	"	48.8	98.6	49.5
50	"	60.9	110.7	55.0
60	"	73.1	122.9	59.5
70	"	85.3	135.1	63.1
80	"	97.5	147.3	66.2
90	"	109.7	159.5	68.8
100	"	121.9	171.7	71.0

Fig. 4 Relation between Thermal Efficiency and Melting Capacity

めて良く、10 ton 以下の小型炉においても、大型燃焼窯の数倍の高効率が容易に得られる。従つて、ガラス電気熔融を電化することは、この点から見ても極めて意義があり、いわんや石炭資源に乏しく水力電気には比較的恵まれているわが国としては、国策上から云つても、水力の開発と相俟つて、ぜひガラス熔融を電化すべきであると信ずる。

以上の研究は藤原工業所の松島・神田両氏の援助によるところが多く、衷心謝意を表する。

文 献

- 1) C.T. Moorshead, *Glasindustrie*, 1927, 279 (7/9/52 受附)

日 本 地 質 学 会 編

日 本 地 質 学 会 60 周 年 記 念 号

B 5 判 本 文 8 P 定 価 200 円

内容は年表、歴史会長、評議員、研究奨励金受賞者、戦時、戦後の物故会員の追悼文、各大学(旧制)及び研究所、地質調査所、博物館等の歴史、本会創立以来の歴史、学界史、地質研究史、社会史等

発行所：日本地質学会(東京大学理学部地質学教室内) 振替東京 28067 番