

技術報告

UDC 622.785 : 622.788 : 662.99

焼 結 熱 回 収*

田 中 紀 之**

Waste Heat Recovery from Sintering Plants

Noriyuki TANAKA

Synopsis:

Currently, about 33% of the heat needed for production of sinter is discharged into the atmosphere in the form of exhaust air from sinter coolers. In the present-day sintering practice, one of the most effective ways to recover and utilize the waste heat is considered to use the exhaust air from coolers.

Recovery of the sensible heat of the exhaust air from coolers is now in widespread use in pelletizing plants, which, like sintering plants, agglomerate ore fines. With sintering plants, however, waste-heat recovery has been slow to find acceptance, for many reasons. One major reason is a difference in the agglomerating mechanism between the sintering process and the pelletizing process. Another is that there have been too many uncertainties about the economic justifiability of energy-saving efforts in the sintering operation.

This report briefly describes the sintering equipment built in 1976 and discusses the effects of the waste-heat recovery technology incorporated in it.

1. は じ め に

焼結工場における主排気および冷却器排風を焼結ベッドへ循環し、排熱の有効利用をはかる着想は古くよりある。又、粉鉱石の塊成化技術として焼結とほぼ類似な工程を有するペレット工場では、トラベリンググレート法またはグレートキルン法のいずれも冷却帯やキルン排ガスの循環利用技術が確立されている。

しかし、焼結プロセスは、ほとんどが固相反応であるペレットの焼成プロセスに対して固-液反応を含むため、ペレットのそれと基本的に異っており、排ガス循環技術は実機化されていなかった。

一方、エネルギーコストの上昇と省エネルギー意識の昂揚は、焼結工場における排熱回収技術の開発を促進し、一部の技術は実機化され、また実機化テスト計画中の技術が得られるレベルに達している。

焼結機の熱バランス例は、Fig. 1¹⁾にみられるごとく所要熱約 45 万 kcal/t の 80% は粉コークスの燃焼熱として供給され、出熱の 49% は主排気および冷却器排風の顕熱として大気放散されている。排熱の大きさから利用対象はこの二点に絞ることができる。

主排気の利用法は排鉱部の高温で比較的 O_2 濃度の高い排ガスを焼結ベッドへ戻してその熱量を回収するものである。しかし、排ガス性状や設備化技術の上から、現

在開発途上の技術として実現していない。ここでは、すでに実施中および実施化の開発推進中の技術である冷却排風の利用について述べる。

2. COG 燃焼用予熱空気として利用

当技術利用の焼結工場内フロー例を Fig. 2¹⁾に示す。この技術は、焼結・冷却工程が分離している現在の焼結工場では、焼結反応及び制御から独立して適用できる利点がある。

円形押込トラフ型冷却器の排風パターン例を Fig. 3 に示した。同冷却器は給鉱・排出のパターンがトラフの一回転サイクルであり、冷却風量の分布が原則として冷却面積に均一であるために、排風温度は給鉱側で高く排出側で低い。

又、一般に冷却風量制御をしていないため、排風温度は焼結鉱の生産性(冷却器への入熱量)の影響をうける。このため、最近のような減産体制では排風温度は計画値よりやや低くなっている。

COG 燃焼用予熱空気として利用するメリットは、排風顕熱相当の COG 節減を目的としている。点火炉の COG 燃焼空気をすべて $300^\circ C$ の予熱空気とする場合について単純な燃焼計算を行うと、COG の節減率は 24% となり、COG 原単位が $8 Nm^3/t\text{-sinter}$ の時約 $1.9 Nm^3/t\text{-sinter}$ の COG 節減効果を有する。

* 昭和 53 年 6 月 29 日受付 (Received June 29, 1978)

** 新日本製鉄(株) (Nippon Steel Corp., 2-6-3 Ōtemachi Chiyoda-ku Tokyo 100)

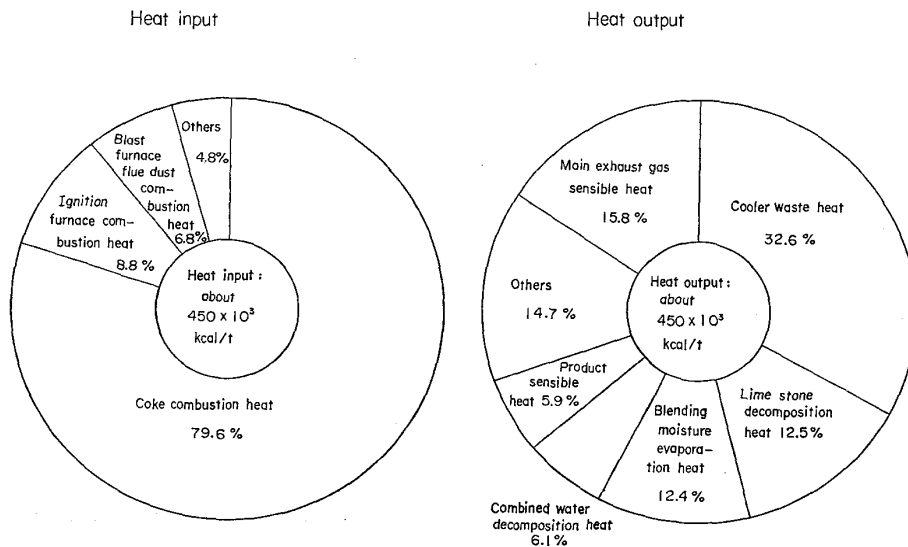


Fig. 1. Example of heat input and output balance of sintering machines.

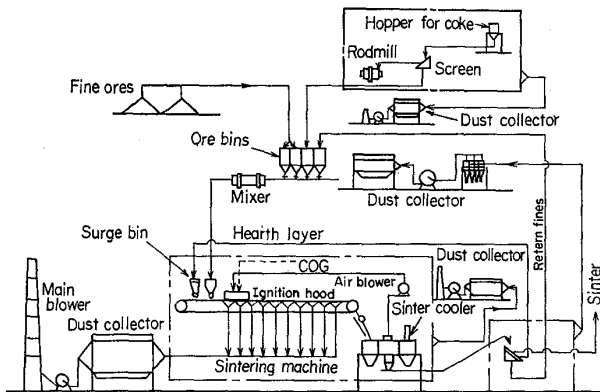


Fig. 2. Example of material flow in sintering plants.

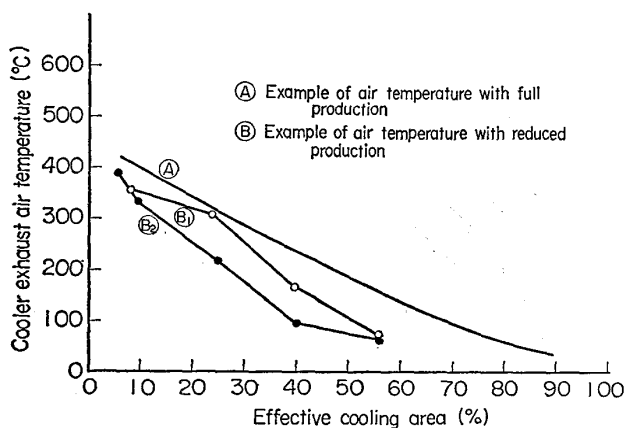


Fig. 3. Exhaust air temperature from circular forced-trough cooler.

又、炉内温度を一定とするため、予熱空気の利用は空燃比を上昇させ、燃焼排ガス中の O_2 濃度を上昇させる。このため、焼結ベッドへ吸引される O_2 が増加し、生産性向上という附属効果も表われる。上記計算例では、炉

内燃焼ガス中 O_2 濃度は 12% から 14% へ増加するため、1.8% の生産性向上が期待できることになる。

燃焼計算の前提

予熱空気温度 : 300°C

COG

発熱量 : 4 500kcal/Nm³

理論燃焼空気量 : 4.75Nm³/Nm³

燃焼排ガス量 : 5.45Nm³/Nm³

点火炉

炉内温度 : 1 250°C

供給熱量

燃焼温度

燃焼排ガス量

予熱空気有無で一定

炉下吸引ガス量 : 主排気の17%

基本的計算式

$$(Q - q) / C_p \cdot G = t_g - t_0$$

Q : 供給熱量

q : 放散熱量

C_p : 比熱

G : 燃焼ガス量

t_g : 燃焼ガス温度

t_0 : 雰囲気温度

同技術は、昭和 51 年 1 月および 4 月稼動の新日本製鉄(株)室蘭第 6 焼結設備(M6-DL)および八幡若松焼結設備(W-DL)に採用され順調に操業中である¹⁾³⁾。この設備の特徴と操業経過について、W-DL の例を中心に紹介する。

2.1 排風回収位置の選定

W-DL 排熱回収設備は、COG 節減 4Nm³/t を目標

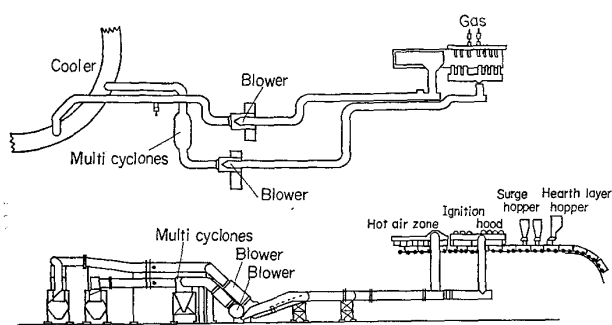


Fig. 4. Outline of waste heat recovery equipment.

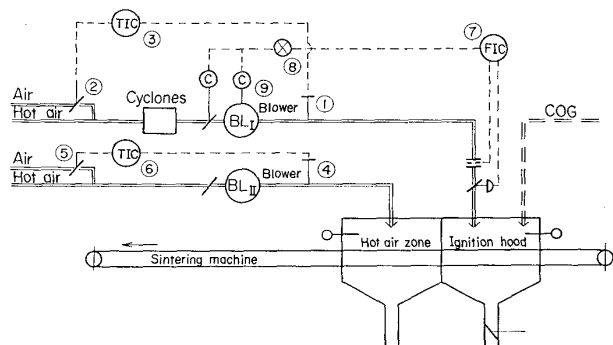


Fig. 5. Control flow example of waste heat recovery equipment.

に計画されている。その設備フローは Fig. 4 に示されるごとく COG 燃焼系である I 系と、排風吹込み系である II 系で構成されている。冷却器フード上の排風吸引位置は、安定した排風温度を得る配慮から、冷却開始点より I 系は 6%，II 系は 24% 点が選定されており、特に I 系は排風中のダストによるブロワー、バーナーおよびダクトの磨耗対策上集塵機が設置されている。

2.2 制御方式

同設備の制御フローの概要を Fig. 5 に示す。

(1) 排風温度制御

排風温度制御の考え方については、

① 空燃比を一定にして COG バーナーの燃焼安定を計るために、排風温度を一定に制御する。

② 排風温度の変動は空燃比制御により炉内温度を制御し、排風温度は機器保護対策として最高制御のみとする。

の方法があるが、W-DL では前者、M6-DL では後者が採用されている。

又、焼結機の立上りおよび突発休止に伴う急激な排風温度の変動による制御系のハンチング防止およびブロワーの熱歪対策として、排風の昇温速度制御装置が組み込まれている (Fig. 5 ①～⑥)。

(2) 風量制御

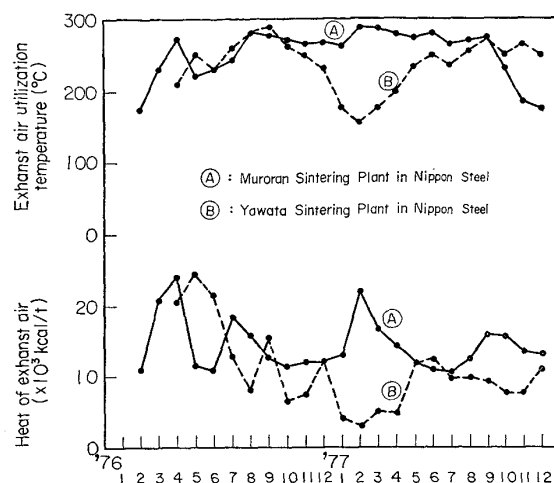


Fig. 6. Changes in operation of waste heat utilization.

COG 燃焼用所要風量は、排風の温度および焼結機の運転状態により異なる。このため、点火炉流量調節計に与えられる設定値 (Nm^3/h) を排風温度により実風量 (m^3/h) に換算し、調節系によりブロワーのダンパー開度および回転数を制御している (Fig. 5 ②, ⑦～⑨)。

(3) 操業経過

稼働後の排熱回収状態を Fig. 6 に示す。現在、排風利用量はブロワー能力の約半分の $1200 \sim 1300 \text{ Nm}^3/\text{mn}$ である。排風温度は $300 \sim 350^\circ\text{C}$ の計画に対し、実績では 300°C 以下と低い。又、回収熱量も $10 \sim 12 \times 10^3 \text{ kcal/t}$ (COG $2 \sim 2.5 \text{ Nm}^3/\text{t}$) と計画に対し低くなっている。これらは、生産負荷が設備能力の 70% 以下であるため排風温度が低いことによる。

又、W-DL 排風ダクトは裸管であるため、季節変動を受けているのがわかる。

3. 高圧熱水タービンによる電力回収技術の開発

工場排風の温度レベルと排熱回収技術の適応例を Fig. 7 に示す。この中で、焼結鉱冷却器排風は 450°C 以下の中温排風に相当し、低圧蒸気または高圧熱水からの電力回収技術の適用が考えられ、現在後者の技術として「熱水タービンと多段蒸気タービンによる発電技術の開発」⁴⁾が進められている。

一方、排熱回収効率を向上させるためには、温度の高い排風を利用することが望ましいのは当然である。冷却排風の昇温法として、冷却風の循環使用による昇温効果を試算してみると、Fig. 8 にみられるように高温部排風の 2 パスによつて得られる排風温度は、通常の約 340°C より 110°C 上昇して 450°C に達している。この時の冷

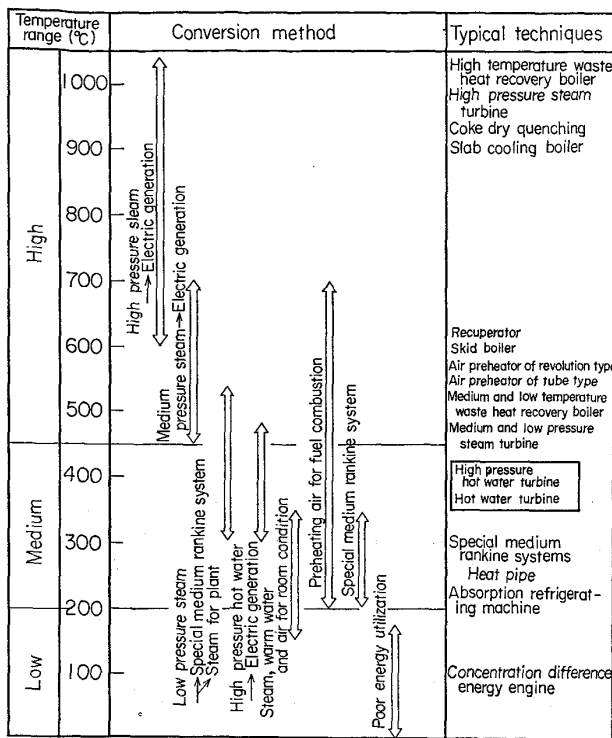


Fig. 7. Various techniques of waste heat recovery.

却器出側焼結鉱温度の上昇は約 20°C であり、ほとんど問題とならない。計算は冷却面積を 4 等分し、第二冷却帯の排風を第一冷却帯へ循環させる方法で、あらかじめ実測して得た冷却器の伝熱係数 $F\alpha$ を用い、 $Q_1=Q_2=Q_3$ となる排風温度・焼結鉱温度を求めたものである。

$$Q_1 = W \cdot C_{ps} \cdot (t_{si} - t_{so})$$

$$Q_2 = V \cdot P_a \cdot (t_{Ai} - t_{Ao})$$

$$Q_3 = F\alpha \cdot \Delta t_m$$

W : 冷却器処理量

C_{ps} : 焼結鉱比熱

t_{si} : 焼結鉱入口温度

t_{so} : 焼結鉱出口温度

V : 冷却用空気量

C_{Pa} : 空気比熱

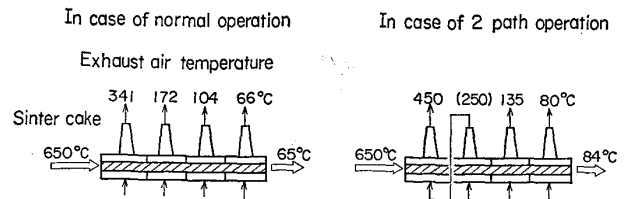


Fig. 8. Effect of cooling methods on exhaust air temperature.

t_{Ai} : 冷却帯入口空気温度

t_{Ao} : 冷却帯出口空気温度

$F\alpha$: 冷却器伝熱係数

Δt_m : 焼結鉱と空気平均温度差

この例より、冷却排風の昇温は基本的に可能である。しかし、実機化に当っては、冷却時間・設備能力負荷・操業変動など、なお慎重な検討に基づき必要があることは当然である。

4. おわりに

以上、焼結工場における冷却排風の熱回収技術として

① COG 燃焼用予熱空気としての利用

② 熱水/フラッシュ蒸気タービンによる発電

についての概要を紹介した。前者はすでに実機として稼動中の設備であり、COG 約 2Nm³/t 相当の省エネルギー効果を発揮している。後者は開発中の技術として注目を浴びており、一日も早い実現が期待されている。

すでに述べたごとく焼結工場にはまだまだ中・低温排熱源は多い。これまでの高度成長時代から、今日の低成長時代を克服するに当って、省資源・省エネルギーの徹底追求感覚を啓発し、新しい排熱回収技術の出現が待たれるしだいである。

文 献

- 1) 鉄鋼界報, 1877. 7. 1, No. 1111
- 2) 北村卓夫, 山本崇夫, 藤本国夫, 野田正弘: 鉄と鋼, 63 (1977), S 31
- 3) 鉄鋼新聞, S 52. 4. 14