

(53) 石灰石煨焼時におけるクリンカーの成因について

八幡製鉄所技術研究所 古井 健夫

Formation of Clinker in Calcining Process.

Takeo FURUI

I. 緒 言

転炉用高純度生石灰を製造する目的で、昭和34年8月当所戸畑製造所内に石灰工場が建設され、現在順調に稼働中であるが、この焼成炉は従来のコークスを燃料としたものと異なり、ガス焼成による高能率の画期的な大型新設備で、しかも20~40mmの小粒石灰石を煨焼する豎型炉である。

豎炉の特質上炉内におけるクリンカーの発生は、片焼・棚吊などを惹起し、操業に多大の支障をおよぼす主要因の一つであるが、操業開始当時これによる事故が相つぎ、満足な成績が得難かつた。そこでこの問題の解決に資する目的で、石灰石煨焼時におけるクリンカー生成機構に関する基礎的な解明を行なつた。

II. 調査方法および試料

まず操業中に発生した現場クリンカーおよび焼成実験から得られた各種試料について、偏光顕微鏡による組織観察を行ない、ついでクリンカー生成を実験的に再現するための焼成実験を下記要領で行なつた。なお試料の石灰は津久見産のもので焼成実験模式図はFig. 1に示すとおりである。

(1) 片面を平滑に研磨した約10×10×15mm角の石灰石試料を、2コ研磨面で接合して細いニクロム線で縛り、これをいろいろの条件で焼成する。また接合面間に石灰原石および粘土の細粉を挟んで同様に焼成する。

(2) 5~6 meshの石灰石粒をニッケルボートに適当量積み上げ、同様条件で焼成する。

(3) 上記石灰石粒を水に濡らして、別に用意した石灰石、粘土、生石灰の細粉を付着させ、この状態で(2)と同様に焼成する。

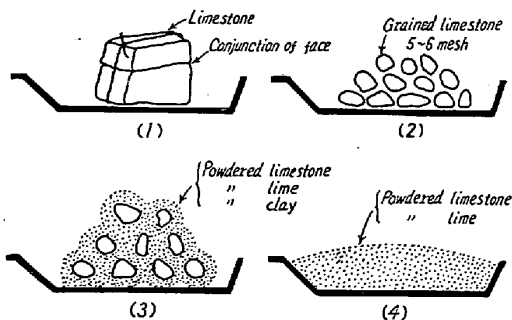


Fig. 1. Schematic drawing of calcining.

(4) 上記石灰石、生石灰の細粉のみを、そのままあるいは水で練り固めて焼成する。

III. 実験結果

1. 顕微鏡による組織の観察

津久見産石灰石は結晶質であり結晶粒の大きさは500 μ 以上から10 μ 以下の広い範囲にわたっている。

石灰焼成炉で操業中に発生したクリンカーは、数種の色彩の特徴をもち、おおむね、黒、青、白、茶の4種に大別される。これらの大部分は放置すればしだいに脆くなり、薄片製作が困難となるので、検鏡資料は比較的安定したもののみ限定された。

石灰石は焼成によつて一旦不透明に、ついでしだいに透明になり、また生石灰の結晶は温度上昇とともに結晶粒径を増加することが知られている。現場のクリンカーはPhoto. 1に実験炉で得られたものと比較表示したごとく、約150 μ の粒状組織を示している。一方実験用ガス炉で1300~1400°Cに約2時間焼灼した試料では生石灰粒は径5~10 μ 程度で、したがつて現場試料は長期間焼灼されたものと思われる。

黒色を呈するクリンカーの大部分は、他の部分と同様に長時間の放置後風化して崩れ去るが、この中に焼結鉱に似た硬質で不変質のものがある。この部分にはカルシウムフェライト(2CaO·Fe₂O₃)が多量に形成されており、恐らく羽口パイプなどの溶損から由来した鉄分がクリンカー中に拡散して、石灰と反応してきたものであろう。またある場合には、ガスの不完全燃焼による炭素沈積が起り、これが黒色化の原因となつている場合も考えられる。

実験用ガス炉で1400°C以上に熱すると、石灰石はクロマグ煉瓦とも反応して緑色に着色するし、また粘土の付着した部分では粘土分が二次的鉱物を形成することが観察される。したがつて青色、褐色クリンカーの着色は、このような不純物に起因するものと考えられることができる。

2. 焼成試験結果

4種の異なる焼成方法により各試料を焼成した結果は

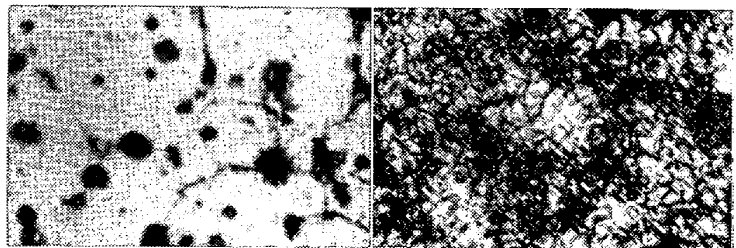


Photo. 1. Microstructure trans. $\times 200$ (2/3)

Table 1. Results of calcining test.

Kind of samples	Temperature °C	Atmosphere	Formation of clinker	Kind of samples	Temperature °C	Atmosphere	Formation of clinker	
Conjunction of polished surface of limestone	1000	Air	×	Pile of limestone grains coated by its powder	1000	Air	○	
	1200	"	×		1300	"	○	
	1300	"	×		1000	CO ₂	◎	
	1000	CO ₂	×		1300	"	◎	
	1200	"	×		1000	A	○	
	1300	"	×		1300	"	○	
	1000	A	×		Pile of limestone grains coated by clay powder	1000	Air	×
	1200	"	×			1300	"	×
	1300	"	×			1000	CO ₂	×
Sandwich of limestone powder between limestone pieces	1300	Air	×	1300		"	×	
	"	CO ₂	×	1000		A	×	
	"	A	×	1300		"	×	
Sandwich of clay powder between limestone pieces	1300	Air	×	Pile of limestone grains coated by lime powder		1000	Air	×
	"	CO ₂	×			1300	"	×
	"	A	×			1000	CO ₂	×
Pile of limestone grains	1300	Air	×		1300	"	×	
	"	CO ₂	×		1000	A	×	
	"	A	×		1300	"	×	
Finely powdered limestone	1000	Air	○		Finely powdered lime	1000	Air	×
	1300	"	○			1300	"	×
	1000	CO ₂	◎			1000	CO ₂	×
	1300	"	◎	1300		"	×	
	1000	A	◎	1000		A	×	
	1300	"	◎	1300		"	×	

×: None, ○: Clinker formed slightly, ◎: Clinker formed remarkably.

Table 1 に示すとおりである。

片面研磨試料の接合焼成並びに石灰石粒の山積み焼成では、いずれの場合も熔着は認められない。一体に石灰石は焼成によりはなはだしく収縮するので研磨面での接触が不良となり、これが熔着を妨げる一因となつていようと思われる。石灰原石粉および粘土分を接合面間に挟んだ場合も熔着は起らなかった。

石灰石粉を石灰石粒に付着させ、これを山積み焼成した場合には、1000°C および 1300°C で空気、CO₂、A のいずれの気流中でもクリンカーが形成された。しかも高温の場合ほど容易に、かつ硬く形成され、とくに CO₂ 中ではきわめて硬いクリンカーができる。

また石灰石微細粉の焼成ではすべての気流中でクリンカーが形成され、前記の付着させた場合よりも一層硬いものができる。ここでも CO₂ 気流中であつた高温ほど強固なクリンカーが形成された。

IV. 考 察

CaO の結晶化は [Fig. 2 の石灰石の X 線回折線の変化からも知られるように、加熱温度および時間の上昇とともに加速される。また石灰石が煨焼されて生石灰に変

ずる過程では、一旦不透明になり、さらに高温にかつ長時間熱せられると透明になる事実が知られている。

これは石灰石が CO₂ を失つて CaO になる初期段階では方解石結晶の破壊と CaO の微細粒の形成が行なわれるため、光を通さず不透明であるが、さらに熱エネルギーが与えられ、これら CaO の結晶がしだいに成長し、光学顕微鏡の分解能以上の大きになれば透光性を得るものと解される。

したがつて前記現場クリンカーに、150μ に達する比較的大きい CaO 結晶が形成されていることは、これが長時間、高温で焼成されたという事実を示すものである。

また焼成実験によれば細粒の石灰石は容易にクリンカ

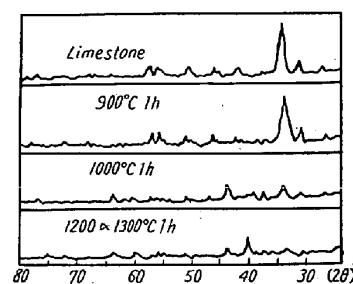


Fig. 2. X-ray diffraction analysis of limestone heated to various temperatures.

一を作り、高温ほどはなはだしく、また CO_2 雰囲気中でもつとも活発に行なわれることが示された。つまり CaCO_3 は 900°C 以上で CO_2 を失って解離するが、引続き CaO の結晶化が行なわれ、この結晶化によつて凝集が起る。このさい原石が細粒で比表面積が大きいほど CaO 粒による凝集は起りやすかつ CaO の結晶粒は高温ほど大きく発達するから、凝塊化が起りやすくなることは明らかである。

したがつて現場試料のごとく比較的大きい CaO 粒子の形成される条件下では、原石がそれほど細粒でなくとも、形成された CaO の凝集は充分起り得るものと考えられる。

以上から原石はできるだけ大塊としかつ細粒および微粉を除去し必要以上の高温で加熱せず、並びに通風状態を改善して CO_2 分圧を下げることで熔着を避けるための必要条件とならう。

V. 結 言

現場石灰焼成炉で発生するクリンカーの生成機構の解明を行ない、高温加熱によつて CaO の結晶化が容易に行なわれ、これが原石の比表面積とともにクリンカー形成の直接の誘因となることを明らかにした。

(54) 製鋼工場における原価管理の一例について

八幡製鉄所製鋼部 相原 満寿美

An Example of Cost Control in a Steelmaking Plant.

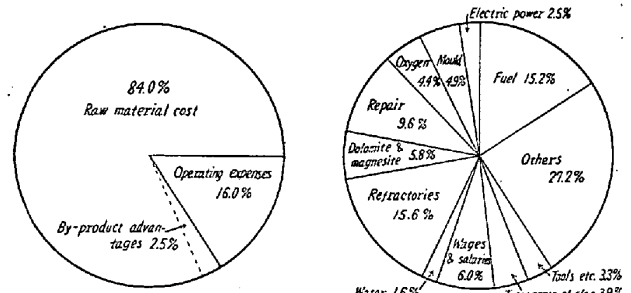
Masumi Aihara

I. 結 言

生産活動を行なう現場として品質と能率の向上について非常な関心をもつて指導に当たっているが、製造原価についても大きな関心と責任を有することも当然であり、経済状況の変化に対処して、重点的に原価切下げを行なうことは必須の条件である。当所製鋼工場において比較的生産増強を行なわないある時期に創意工夫による製鋼作業の改善と重点的な原価管理の推進並びに生産意欲の向上を目的とする集団指導を併せ行なうことにより相当の成果を収め得た。

II. 原価切下げの着眼と方法

平炉工程4工場、転炉工程、電炉工程1工場計5工場と多岐にわたる工程を有している当製鋼部の現状から工程ごとに切下げ目標を決定しこれに対し各工場で具体的



An example of cost structure in ingot-making

An example of mean operating expenses in steel-making dept. (including O. H., E. F., & L. D. converter)

Fig. 1. An example of cost analysis in a steelmaking department.

に重点実施項目を定めてスタートした。原価切下げの条件として①意欲的な技術改善と工夫、②成果の発表と相互検討、③生産意欲の向上と原価意識の徹底の三つがあげられ、具体的な方法としては安全第一、品質向上を前提としてわかりやすい基準とそれぞれの創意を尊重し、競争的努力を行なうことを骨子とした。

スタート前の鋼塊原価の構成を検討し、末端の作業現場として切下げ可能と思われる作業費を対象とし、あわせて歩留向上に重点をおいた。具体的な項目としてあげるとつぎのものがそれらである。

i) 良塊歩留 ii) 副原料主として合金鉄 iii) 燃料費 iv) 炉材 v) 炉床材 vi) 鑄型 vii) 用水 viii) 電力 ix) 消耗品 x) 労務費

これらのうち金額的に大きな歩留向上、副原料費、燃料費、炉材、炉床材が注目され、各工場はそれぞれ、これらのうちのいくつかを重点項目として集中的に管理を実施した。

III. 製鋼技術改善の二、三の例について

原価切下げに占める技術改善の位置は大きなものがあり、いずれも品質を向上させつつしかも安くという点、画期的なものと従来からの方法の強化したものと別はあつても多くの数にのぼるが、とくに大きく取上げるべきものとしてつぎの例があげられる。

1) 燃料費の節減

燃焼管理は平炉工場としてはすでに長年の実績があり、今回は従来からの酸素使用法助燃、脱炭に主力をおいていたのに対し受鉄後の O_2 ランスによる吹込みの有利性を明らかにし、その使用割合を順次上昇させた。Fig. 2には代表としてK工場におけるその割合の推移を示した。受鉄後吹込み時には燃料切りまたは低減を実施し入熱量はいちじりしく減少する燃焼基準を実行し、能率の上昇とともに燃料費(生産用燃料+雑用ガス+酸素)