

## تولید سیمان، تکنولوژی پخت سیمان و تکنولوژی سوخت

E.STEINBISS

مترجم: مهندس فریدون رحمانی (شرکت سیمان داراب)



مقدار ممکنه سولفور را داشته باشد fuel) oil E1) بعبارت دیگر یک سوخت با مقدار سولفور کم باید استفاده شود. مسلمًا این نوع سوخت گرانتر است.

این مازوت در درجه حرارت پایین و یکسوز می‌باشد و برای تخلیه آن از تانک‌ها، پمپ کردن آن و کار کردن با آن تقریباً بایستی تا ۵۰ درجه سانتیگراد گرم شود. برای اتومایزه شدن خوب در مشعل (burner) درجه حرارت مازوت بایستی تا بالاتر از ۱۲۰ درجه سانتیگراد برسد. بدین منظور برای انتقال حرارت عمدتاً یک روغن مخصوص (special oil) وجود دارد (thermal oil) دامنه فشار پمپ کردن مازوت بین ۰۴ تا ۰۶ بار و با مقادیر ماکزیمم سرعتهای جریان ۰.۲ m/sec در ورودی پمپ و ۰.۴ m/sec در خروجی پمپ می‌باشد. برای رسیدن به حالت‌های بهینه سوختن، فشار و درجه حرارت و مقادیر مازوت مشعل بایستی تقریباً ثابت باشند.

### ۱.۳ . گاز

سوخت گازی کوره‌های سیمان گاز طبیعی می‌باشد، که کیفیت آن در جدول یک داده شده است. که توسط خط لوله در فشار های ۱۰ تا ۷۰ (بار) فراهم می‌شود، که در ایستگاه تنظیم فشار برای استفاده

(دستکاری) زغال سنگ الزامی است. برای جلوگیری از امکان شیوع آتش سوزی بایستی سیستم شناور سازی توسط گاز بی اثری تدارک دیده شود.

قواعد اینمی کار با سوختهای پودر شده که توسط Berufsgenossenschaft stiene und Erden انتشار یافته است (اتحادیه بیمه ضمانت کارفرما، برای معدن زغال سنگ و معدن سنگ در آلمان) بایستی به صورت محاطانه ای مورد قبول قرار گیرد.

خاکستر زغال سنگ در طی فرایند ذوب (زیترینگ) کلینکر، وارد آن می‌شود، در واقع بایستی در محاسبات تعیین ترکیب شیمیایی مواد خام آن رانیز به حساب آورد. زغال سنگ با خاکستر بیش از ۲۰ درصد، در برخی موارد ما را مجبور به افزودن آهک خالص (high-grade) به مخلوط مواد، بمنظور جبران سازی اثر خاکستر می‌کند.

### ۱.۴ . مازوت

به عنوان یک اصل، کوره دوار توسط سوخت نفتی سنگین (heavy fuel oil) دیگر سوخت تغذیه می‌شود (در آلمان به عنوان (fuel oil S) معروف می‌شود) که مشخصات آن در جدول یک آمده است. سوخت استفاده شده فوق بایستی حداقل

## ۱. سوخت ها

سوختهایی که بطور عمده برای پخت کلینکر سیمان مصرف می‌شوند در جدول یک لیست شده اند مقادیر داده شده در جدول مقادیر میانگین می‌باشد.

### ۱.۱ . زغال سنگ

قاعدتاً زغال سنگ با مواد فرار بین ۱۸ تا ۲۲ درصد استفاده می‌گردد. اگر ضرورتی پیش بباید از مخلوط مناسبی از زغال سنگ با مواد فرار کم (gas Coal, fat Coal) و زغال سنگ با مواد فرار کم (lean Coal, anthracite) نیز می‌توان استفاده نمود.

زغال سنگ یا مخلوط زغال سنگ، خشک شده و با نرمی مناسبی آسیاب می‌شود. بعنوان یک مشخصه، مقدار باقیمانده ایکه روی غربال DNI1171 با اندازه روزنی ۰.۰۹ میلیمتر نگه داشته می‌شود به عنوان تابعی از مواد فرار زغال سنگ تعریف می‌شود (برحسب درصد بیان می‌گردد.)

(شکل ۱)

لیکینت (زغال سنگ قهوه‌ای) دیگر سوخت مورد استفاده به شکل پودر می‌باشد. این ماده بطور کلی قابلیت تبخیر بیش از ۵۰٪ دارد. نهایت دقت و احتیاط برای جلوگیری از آتش سوزی و خطر انفجار در طول آسیاب کردن، دخیره سازی و عمل آوردن

در صنعت سیمان، فشار آن به ۲۰ تا ۱۰ (بار) کاهش می‌یابد.

## ۲. ذخیره سازی سوخت ها

### ۲.۱. زغال سنگ

زغال سنگ می‌تواند در هوای آزاد، در بونکرها و یا سیلوها ذخیره گردد. معمولاً بتصورت washed smalls درونکرهای با سطح تخلیه بزرگ و مناسب تهیه می‌شود و باقیتی طوری باشند که از مسدود شدن راه خروجی آنها جلوگیری شود زیرا زغال سنگ سیالیت و روانی مناسبی ندارد. ظرفیت و مقدار تقاضا بسته به عوامل محلی و سرعت مصرف سوخت دارد. قواعد ایمنی ذخیره سازی زغال سنگ باقیتی به درستی انجام پذیرد.

### ۲.۲. مازوت

این سوخت در یک یا تعداد بیشتری تانک، که با مسیرهای مشترک تخلیه و سیستم حرارت دهنده برای کاهش و یسکوزیته مازوت تجهیز شده، ذخیره می‌شود. ظرفیت ذخیره سازی بسته به حالت‌های خاص شرح داده شده برای صنعت سیمان می‌باشد. تانکهای ذخیره مازوت و تأسیسات مربوط به آن از قواعد ایمنی مخصوص تبعیت می‌کنند.

### ۲.۳. گاز

طبیعتاً تانکهای ذخیره برای گاز طبیعی احتیاج نمی‌باشد، چون این سوخت توسط خط لوله با سرعت ثابت فراهم می‌گردد.

## ۳. آماده سازی سوخت ها

### ۳.۱. زغال سنگ

عموماً زغال سنگ برای کار به شکل WASHED SMALLS تهیه می‌شود، و قبل از سوختن در کوره خشک شده و آسیاب می‌گردد. همین مراحل برای لیگینت باقیتی اجرا شوند مگر آنکه برای

غبار گیری شده و به اتمسفر وارد می‌شود. (شکلهای ۴، ۵، ۶)

برای مطمئن بودن از اینکه شعله ثابتی در کوره داریم سوخت باقیتی با سرعت ثابتی وارد شود که بر اساس وزن زغال سنگ پودری در واحد زمان فراهم می‌گردد.

هوای احتراق آماده شده برای کوره شامل هوای اولیه و ثانویه می‌باشد. هوایی که به عنوان حامل زغال سنگ پودری به داخل کوره به کارمی رود، باقیتی به صورت مناسبی گرم شده و نیز دبی حجمی آن تا اندازه ممکن پائین نگه داشته شود که بمنظور رسیدن به تولید ماکریم، توسط هوای ثانویه خیلی داغ، که به عنوان هوای خروجی تخلیه شده از کولر کلینکر است می‌باشد.

حداقل مقدار هوای مورد نیاز برای احتراق بستگی به اتفاق حرارتی کوره دارد و تقریباً از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\text{اتلاف حرارتی ویژه (} \text{kJ/kg of clinker)} = 0.261 \cdot$$

$10^3$

$\text{-Nm}^3 \text{ of air / kg of clinker}$

$\text{Nm}^3$  دلالت می‌کند بر "متر مکعب استاندارد" یعنی  $0^\circ\text{C}$  و 1013 میلی بار)

مثال: برای یک اتفاق حرارتی ویژه

$3200 \text{ kJ/kg}$

$$Lv = 0.261 \times 3200 / 10^3 = 0.84 \text{ Nm}^3 \text{ kg of clinker}$$

برای احتراق رضایت بخش، یک هوای اضافی مشخص (در حدود ۵ تا ۱۵ درصد)

بالاتر از حداقل مقدار هوای نیاز می‌باشد.

مشعل سوخت زغال سنگ اساساً یک لوله ساده با یک خروجی به شکل نازل (nozzle) در راس آن می‌باشد. روش تغذیه سوخت در شکل ۵ نشان داده شده است. سرعت خروجی هوای حامل سوخت پودر شده باقیتی بین ۸۰ تا ۴۰ متر بر

آتشگیری قبل آماده شده باشد یعنی به شکل پودری در آمده باشد، که گاهی اوقات نیز این کار انجام می‌شود.

### ۲.۳. مازوت

جز داشتن درجه حرارت  $50^\circ\text{C}$  برای پمپ کردن و  $120^\circ\text{C}$  برای آتشگیری که قبل از شرح داده شده به عملیات دیگری نیاز ندارد هر چند که فیلتر مازوت باقیتی تعییه گردد.

### ۲.۴. گاز

برای کار در صنعت سیمان گاز طبیعی بجز کاهش فشار و ایستگاه فشار به چیز دیگری نیاز ندارد.

### ۴. سیستم های آتشزنجی

#### ۴.۱. آتشزنجی زغال سنگ پودری

بین آتشزنجی مستقیم و غیر مستقیم برای کوره های دوار روشی وجود دارد که به آن روش آتشزنجی نیمه مستقیم گویند. با آتشزنجی مستقیم، زغال سنگ آسیاب شده و خشک می‌شود، (عملیات همزمان) و بصورت مستقیم آماده است، یعنی بدون ذخیره میانی، از آسیاب به مشعل وارد می‌شود و همه هوای خروجی آسیاب به عنوان هوای اولیه کوره مصرف می‌شود. در سیستم غیر مستقیم، زغال سنگ همزمان آسیاب و خشک می‌شود، اما دریک بونکر یا محفظه ذخیره می‌گردد. آتشزنجی به روش نیمه مستقیم شامل سیستمی است که توسط آن جریان هوای اولیه می‌تواند متناسب با مقدار هوای مورد نیاز برای گرفتن رطوبت زغال سنگ، کاهش داده شده و مجدداً به آسیاب برگردانده شود.

عملیات آتشزنجی مستقیم متصل شده به یک دمنده هوای اولیه اضافی، ما را قادر می‌سازد که با هوای دمیده شده در داخل کوره، فشار را در مقادیر ۱۵۰-۱۲۰ میلی بار تنظیم کنیم. با سیستم آتشزنجی غیر مستقیم همه هوای خروجی از آسیاب

گاز طبیعی (slochteren)	سوخت سولفور پایین	مازوت ستگین	زغال سنگ	واحد	اجزا و کیفیت
57.9	85.0	86	88.4	درصد وزنی	C
18.9	13.5	11.7	4.9	درصد وزنی	H
	0.5	1.5	1.2	درصد وزنی	S
21.8		0.2	1.3	درصد وزنی	N
1.4		0.6	4.2	درصد وزنی	O
0.830	جزیی	0.1-0.2	2-7	درصد وزنی	اب ( سوخت خام )
	جزیی	0.1	6-20	درصد وزنی	خاکستر ( سوخت خام )
31600*	830-860	930-950	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	1013mbar,0 <sup>0</sup> c دانسیته در
		40200	900-950	kg/m <sup>3</sup>	980mbar 15 <sup>0</sup> c دانسیته در ( bulk )
		41450	34750	kJ/kg.kJ/m <sup>3</sup>	ارزش حرارتی Hu
35100*	45550	42700-44000	35590	kJ/kg.kJ/m <sup>3</sup>	( مقدار خالص زغال سنگ بدون اب و خاکستر )
2010	2160	2120	2155	'C	ارزش حرارتی غیر وپره
8.33	11.13	1.076	9.04	m <sup>3</sup> /kg.m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	حرداقل های مورد نیاز *
0.261	0.261	0.261	0.260	m <sup>3</sup> /10 ↑ 3kj	حرداقل های مورد نیاز ( اشاره به * )
9.35	11.89	11.42	9.35	m <sup>3</sup> /10 3kj	حرداقل گاز احتراق ( گاز اضافی ، رطوبت )
0.296	0.278	0.277	0.269	m <sup>3</sup> /kg.m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	حرداقل احتراق ( گاز اضافی ) اشاره به Hu
9.6	13.3	13.7	17.4	m <sup>3</sup> /10 ↑ 3kj	اجزاء حداقل گاز احتراق
18.5	12.7	12.5	7.6	درصد وزنی	
719	74.0	73.8	75.0		

با این دامنه کنترل کار کند و از حالت سرد بدون کمک گرفتن از هر گونه مشعل کمکی استارت شود.

سرانجام بایستی دقت شود که مشعل های مرکب برای سوخت های با درجه پایین (low-grade) توسعه یافته اند که به کمک یک شعله کمکی (تغذیه شده توسط گاز یا مازوت) از بهم آمیختن سوخت های نامرغوب و مواد زاید استفاده می کنند.

۵. زمان باقیماندن مواد و فاکتور بارگیری

کوره پیشرفت مواد در طول کوره دور ممکن است توسط حرکتها زیر بحرانی و فوق بحرانی مشخص شود. در حالت اولیه مواد در یک حالت نوسانگر حرکت می کند، در اثر تماس با دیواره کوره بالا می روند. سپس دوباره به جای اول خود می لغزنند. تحت چنین حالت هایی مواد بسته مخلوط می شوند و انتقال حرارت ضعیف می باشند بنابراین، هدف بایستی حرکت فوق بحرانی باشد یعنی همه اجزاء مواد

بعنوان خروجی کولر کلینکر به مقدار قابل ملاحظه ای تولید می شود. شکل ۸ یک نوع عمومی مشعل گاز را نشان داده است، که با سرعتهای خروجی بالاتر از 600 m/sec

و دامنه فشار بالا حدود 4.5 mbar عمل کند. این سیستم مشعل می تواند با طراحی بهتر و برای سوخت نفت یا زغال سنگ پودری به عنوان سوخت دوم، عمل کند ( شکل ۹ )

همچون یک کوره با سوخت مازوت، شکل شعله گاز می تواند به وسیله تغییر نسبت سرعت جریان محوری به چرخشی سوخت اصلاح شود. یک فاکتور در محاسبات تعیین ظرفیت قسمتهای متفاوت مخصوصاً در مورد فن گاز خروجی، آن است که در سیستم آتشزندی گاز، مقادیر

گاز خروجی بیشتر از سیستم زغال سنگ یا مازوت می باشد.

بدلیل کنترل نسبتاً ساده و راحتی کار، گاز طبیعی برای نسبت سوخت در صنعت سیمان کاربرد پیدا کرده است. به

هوای اولیه نیازی ندارد و هوای داغ ثانویه

### ۱۳. آتشزندی گاز طبیعی

آتشزندی گاز طبیعی بعنوان سوخت در صنعت سیمان کاربرد پیدا کرده است. به

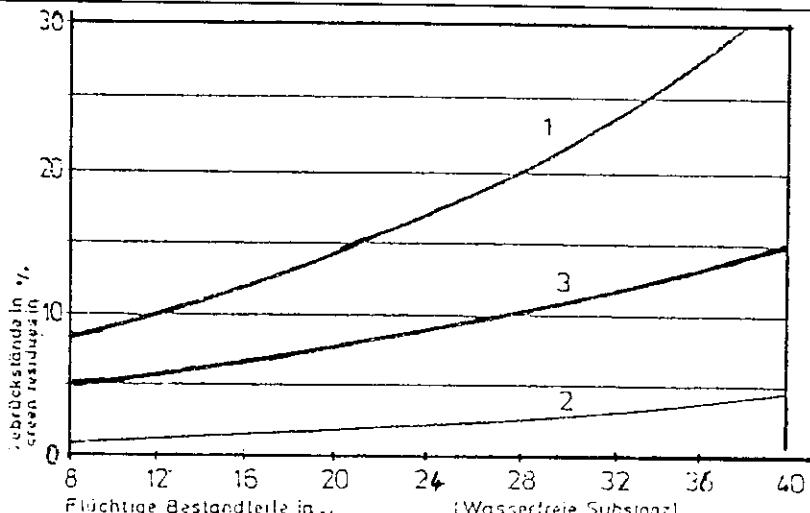


Fig. 1: Slag residue of coal as a function of the volatile content and ash content (from KHD Humboldt Wedag AG, Cologne)

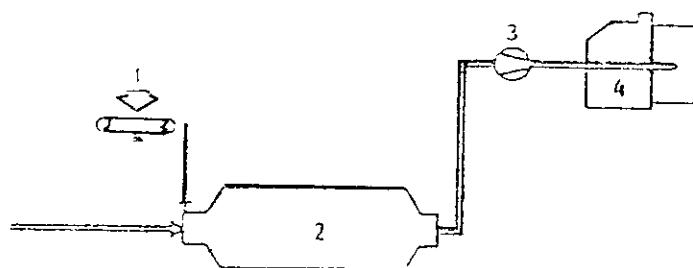


Fig. 2: Direct firing (from Dürr, 1979)

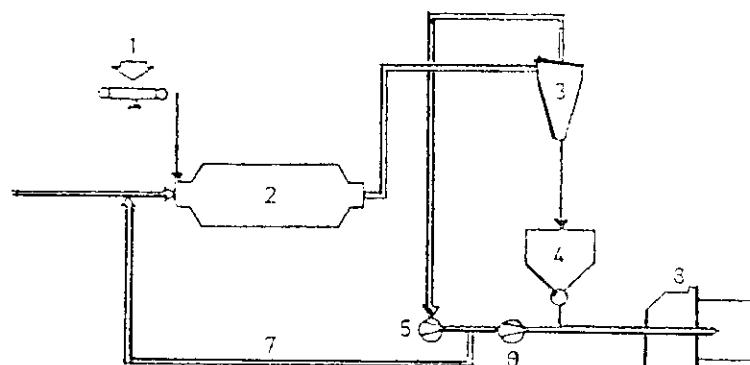


Fig. 3: Semi-direct firing (from Dürr, 1979)

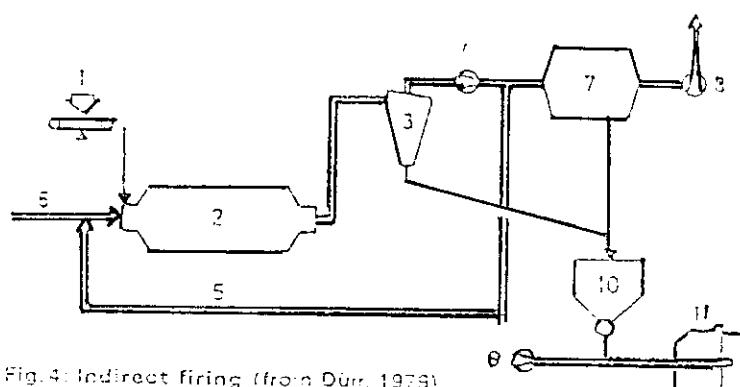


Fig. 4: Indirect firing (from Dürr, 1979)

بایستی در طول کانال‌های بالارونده پیش بروند و روی مواد کوره بیفتد.

دو جزء وجود دارد که حرکت کلی مواد را سراسر کوره تعیین می‌کند.

الف) مواد در جهت محور طولی حرکت می‌کند زیرا شبکه کوره عموماً بین ۳ تا ۴ درصد می‌باشد که با زوایای ۱۴۲ تا ۲۱۷ تطبیق می‌کند.

ب) مواد در یک جهت خاص و ویژه محور کوره حرکت می‌کند که کاملاً چرخشی است. بر طبق نظریه HEILIGENSTAEDT (1951) مواد در کوره مقادیر زیر لغزش می‌باشد.

با این اطلاعات امکان محاسبه ارزش حرارتی (حالص) زغال سنگ توسط فرمول زیر وجود دارد

$$Hu = 33900 c + 121400 (H-1/80) + 10500 S - 2500 W \text{ (kJ/kg)}$$

برای مازوت سنگین فرمول داده شده یک مقدار متوسط نسبتاً مناسب است:

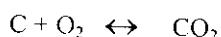
$$Hu = 41280 \pm 300 \text{ (kg/kg)}$$

برای سوخت‌های گازی ارزش حرارتی می‌تواند از درصد حجمی ترکیبات محاسبه گردد. (شرایط استاندارد یعنی در 1013mbar و 0°C

$$\begin{aligned} Hu &= 126.33 \text{ CO} + 107.83 \text{ H}_2 + 358.83 \text{ CH}_4 + 643.45 \text{ C}_2\text{H}_6 + 932.07 \text{ C}_3\text{H}_8 + 1238.10 \text{ C}_4\text{H}_{10} + 595 \text{ C}_n\text{H}_m \\ &\quad (\text{kJ/Nm}_3) \end{aligned}$$

## ۶.۲. محاسبه گازهای خروجی

۶.۲.۱. اکسیژن مورد نیاز معادله نشانگر واکنش احتراق زغال سنگ عبارت است از:



مطابقت می‌کند با معادله مقداری:  
1 kmol C + 1 kmol O<sub>2</sub> = 1 kmol CO<sub>2</sub>

یا:

$$12 \text{ kg C} + 32 \text{ kg O}_2 = 44 \text{ kg CO}_2$$

این نشان می‌دهد که واکنش احتراق کامل

کیلوگرم از کربن به  $8/3c$  می‌باشد. نیتروژن  $+0.79m^3$  اکسیژن  $= 0.21m^3 = 1$  هوا  
اکسیژن نیاز دارد. نیز احتراق با هوای  
اضافی  $G_K = 1 + n \cdot L_K$  (kg/kg) می‌باشد.  
۶.۲.۴. کاز خروجی از فرایند پخت سیمان  
در فرایند پخت سیمان، دی اکسید کربن و  
بخار آب حاصل از مواد خام به گازهای  
حاصل از احتراق اضافه می‌شوند.

نیتروژن  $+0.79m^3$  اکسیژن  $= 0.21m^3 = 1$  هوا  
یعنی هوای مورد نیاز برای هر کیلوگرم  
زغال سنگ می‌شود:  
$$I.K = \frac{8/3 C + 8 H - O + S}{L_K} \quad (\text{kg/kg})$$
  
$$I.K = \frac{8/3 C + 8 H - O + S}{0.23}$$

$H_2 + \frac{1}{2} O_2 \Rightarrow H_2O$   
 $2 \text{ kg } H_2 + 16 \text{ kg } O_2 \Rightarrow 18 \text{ kg } H_2O$   
در اینجا احتراق کامل II کیلوگرم  
هیدروژن به  $8H$  کیلوگرم اکسیژن نیاز  
دارد.  
 $S + O_2 \Rightarrow SO_2$

### فرضیات

یک کیلوگرم مواد خام شامل  $X$  کیلوگرم آب  
و  $Y$  کیلوگرم کربنات کلسیم: برای تولید  
نمودن یک کیلوگرم کلینکر سیمان به  $Z$   
کیلوگرم مواد خام و  $k$  کیلوگرم زغال سنگ  
نیاز دارد

کاز خروجی هر کیلوگرم کلینکر شامل:

$$\begin{aligned} \text{کیلوگرم} &= \text{از احتراق سوخت} \\ (1+n \cdot L_K) \cdot k &= \text{از مواد خام (کربن} \\ &\quad \text{دی اکسید)} \\ \text{کیلوگرم} &= \text{از آب (تصورت} \\ &\quad \text{بخار)} \end{aligned}$$

$$G'k = (1+n \cdot L_K) \cdot k + z \cdot (x+0.44y)$$

یک کیلوگرم کاز خروجی کوره تقریباً با  
۰.۷۶ Nm<sup>3</sup> مطابقت می‌کند.

در اینجا

$$G'v = 0.76 [(1+n \cdot L_K) \cdot k + z \cdot (x+0.44y)] \cdot \text{Nm}^3$$

کلینکر / کاز خروجی  
۶-۲-۵. انبساط کازها

در مورد گازهای ایده آل بازای افزایش درجه حرارت باندازه هر درجه سانتیگراد ( $^{\circ}\text{C}$ ) افزایش حجمی معادل  $1/273$  برابر حجم اولیه خواهیم داشت.

در اینجا حجم کاز خروجی کوره (بر حسب  $t^{\circ}\text{C}$  در  $m^3$ ) برابر است با:  $V_t = V_0 (1+t/273)$  که  $V_0$  حجم بر حسب

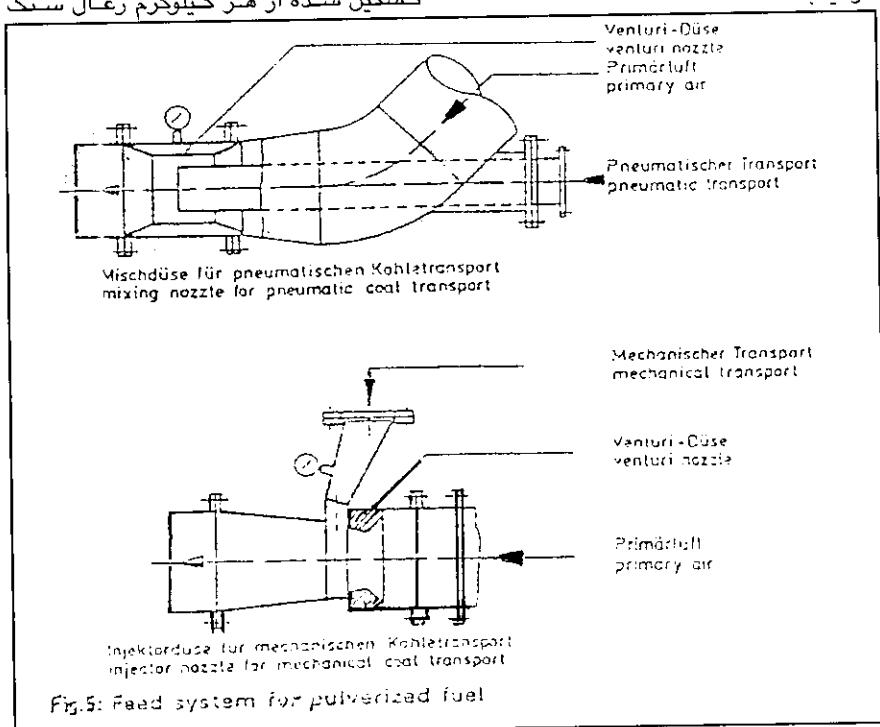
$L_K = 11.6 C + 34.78 H - 4.35 O + 4.35 S$   
هوای مورد نیاز بر حسب  $(\text{Nm}^3)$  تحت  
حالتهای استاندارد برای هر کیلوگرم  
زغال سنگ خواهد شد:  
$$L_v = L_K / 1.293 = 8.89 C + 26.67 H - 3.33$$
  
 $O + 3.33 S$   
احتراق استوکیومتری  $1 \text{ kg}$  زغال سنگ &  
تولید می کند مقدار گاز خروجی حداقل  
برابر با:  $G_K = 1 + L_K$  (kg/kg) بصورت  
تئوری برابر است با:

$32 \text{ kg } S + 32 \text{ kg } O_2 \Rightarrow 64 \text{ kg } SO_2$   
در اینجا احتراق کامل  $S$  کیلوگرم سولفور  
به  $S$  کیلوگرم اکسیژن نیاز دارد. فرض  
کنید از قبیل از اکسیژن در زغال سنگ  
وجود دارد مقدار اکسیژن مورد نیاز  
برای احتراق کامل  $1 \text{ kg}$  زغال سنگ بطور  
تئوری برابر است با:

$$H/3 - O + S \quad (\text{kg})$$

۶.۲.۶. هوای مورد نیاز  
۱ هوا شامل  $0.23 \text{ kg}$  کیلوگرم اکسیژن و  
 $0.77 \text{ kg}$  کیلوگرم نیتروژن است.  
در حالت استاندارد  
۱ هوا  $= 1 \text{ m}^3 = 293 \text{ kg}$

در اینجا



معادلات تقریبی زیر قابل قبولند.

برای دی اکسید کربن t	$0.80 + 0.000461 t$
برای کلینکر	$0.76 + 0.000297 t$
برای بخار آب	$1.76 + 0.000775 t$
برای گازهای خروجی	$0.96 + 0.000209 t$
برای مواد خام	$0.88 + 0.00093 t$
سوخت مصرفی کوره برای کلینکر	
می تواند بدین طریق محاسبه شود.	

$Q'_{fuel} = Hu.k(kj/kg)$

حرارت تشکیل کلینکر می تواند توسط متدهای شناخته شده بوسیله H.zur strassen (1975) "Berechnungsunterlagen für öftren Versuches des VDZ" 1959 می گردد. که تقریباً برابر  $1600-1850 \text{ kJ/kg}$  می باشد.

برای تبخیر آب آزاد (ترکیب نشده) در مواد خام یا دوغاب حرارت مورد نیاز برای  $2453 \text{ kg}$  برای هر کیلوگرم آب می باشد. برای  $125 \text{ GJH}_2\text{O}$  (آب) هر کیلوگرم کلینکر، هوای مورد نیاز تبخیر آب برابر است با :

$$Q'_{evap} = 0.2453 \text{ (kg/kg)} \cdot GJH_2\text{O}$$

ورودی حرارت از حرارت محسوس سوخت، هوای خنک و مواد خوراک، و از هر ماده قابل احتراق دیگر که در مجموع بین ۱-۳٪ مجموع اتلاف حرارتی می شود. در مثالهای زیر چشم پوشی می گردد.

### ۱-۲-۶. کوره تر طویل

با اتخاذ داده های زیر

$$\text{مقدار آب در دوغاب مواد} = 36\%$$

$$\text{مقدار آب مربوط به مواد خام} = \text{مواد خام}$$

$$- یک کیلوگرم مواد خام شامل$$

$$0.76 \text{ kJ/kg CaCO}_3$$

$$\text{درجه حرارت (محیط) خارجی} = 20^\circ\text{C}$$

$$\text{درجه حرارت کلینکر} = 200^\circ\text{C}$$

$$\text{حرارت تشکیل کلینکر} = 1830 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{مصرف سوخت} = 20\% = \text{کلینکر}/\text{kg}$$

$$\text{زغال سنگ} = 0.2 \text{ kg} - \text{با فرض ارزش}$$

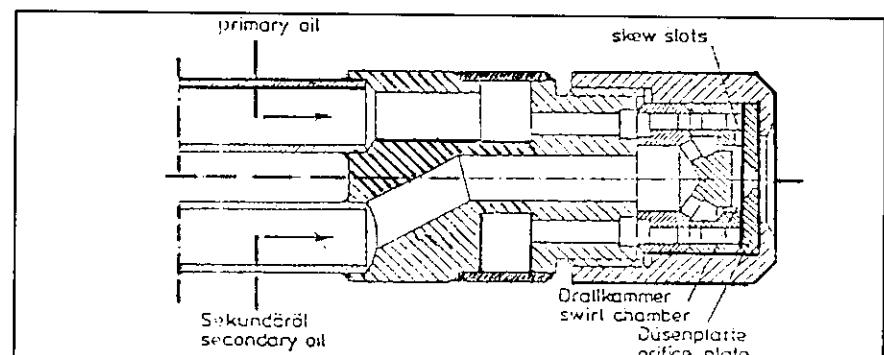


Fig. 6: Oil-burner (from Pillard Feuerungen, Taunusstein)

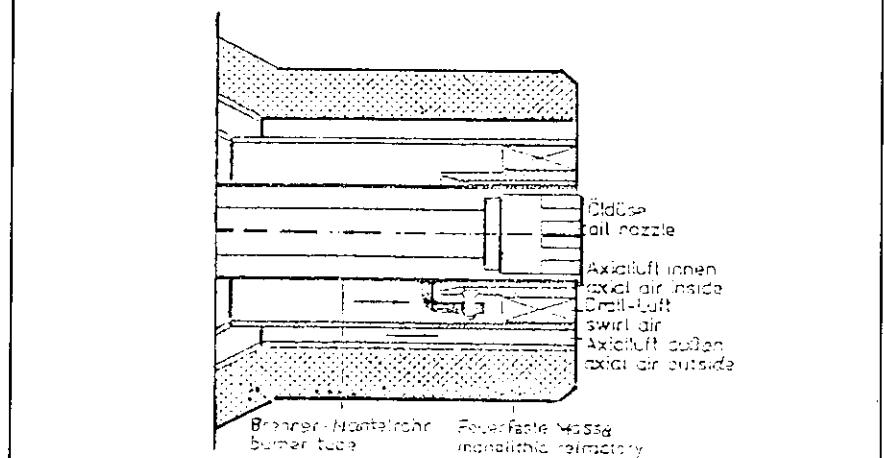


Fig. 7: Oil burner (from Pillard Feuerungen, Taunusstein)

که :  $(1013 \text{ mbar})$  (یعنی در  $0^\circ\text{C}$  و  $0 \text{ mbar}$ ) می باشد.

۶-۳. اتلاف حرارتی فرایند پخت کلینکر فرض کنید که کوره با زغال سنگ می تواند از مقادیر مواد زیر به ازای هر کیلوگرم کار می کند.

$$C=0.78 \quad H=0.04 \quad O=0.10 \quad S=0.04$$

$$+ 0.2 = H_2\text{O}=0.2$$

ارزش حرارتی این زغال سنگ می تواند از فرمول یاد شده در بخش ۶.۱ بدست آید:

$$Hu=33900*0.78+121400*0.0275+10500*0.04-2500*0.02=30150 \text{ kJ/kg}$$

برای برقراری تعادل حرارتی محاسبه مقادیر حرارتی ورودی و خروجی سیستم کوره ضروری است (در درجه حرارت  $(20^\circ\text{C})$ ).

حرارت محسوس (sensible heat) از فرمول زیر محاسبه می گردد.

$$Q'_{sense} = m' \cdot Cp(t-20) \text{ kJ/kg}$$

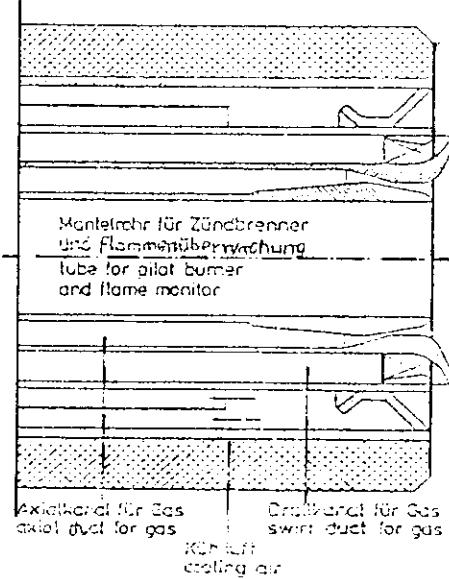
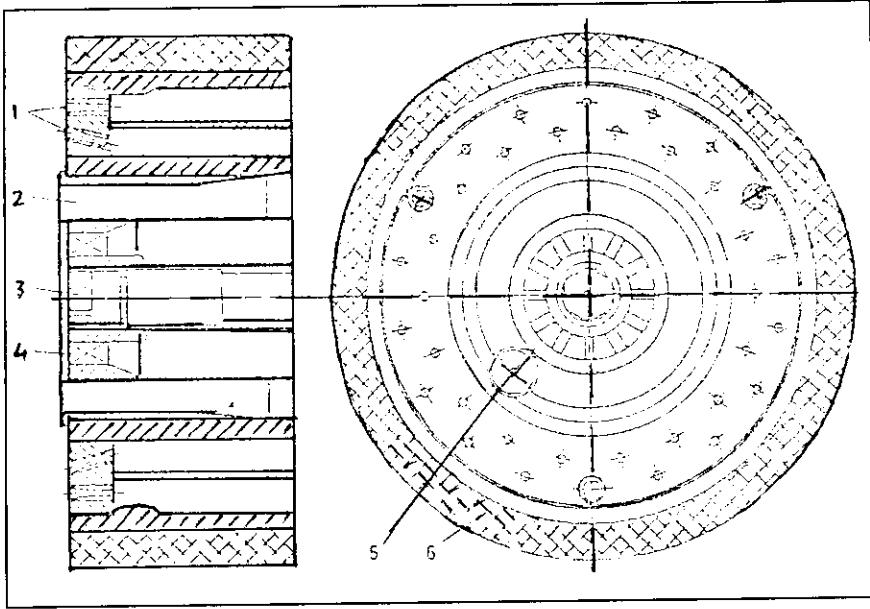


Fig. 8: Gas burner



حرارتی زغال سنگ  $30150 \text{ kJ/kg}$  یعنی  
وروودی حرارت = کلینکر

$$\text{فاکتور } n \text{ هوای اضافی} = 1.2$$

مقدار مواد خام مورد نیاز برای  
تولید 1 کلینکر برابر است  
با  $1.54 \text{ kg}$  (مرجع Lebahn 1974 p.65)

۶-۳-۲ کوره دوار با پیش گرمکن  
سیکلونی و مصرف گاز خروجی در  
آسیاب غلطکی

در کوره های دوار با پیش گرمکن  
سیکلونی معمولاً گاز خروجی در درجه  
حرارت بین  $320^{\circ}\text{C}$  تا  $360^{\circ}\text{C}$  خارج  
می گردد. این گاز فقط شامل حدود 12%  
رطوبت می باشد و خیلی مناسب بمنظور  
خشک نمودن مواد خام است. در مثال زیر  
یک کوره دوار با پیش گرمکن سیکلونی به  
آسیاب خربکن-خشک کن محلق می شود،  
که حرارت گاز خروجی تولیدی بررسی  
می گردد.

داده های فرضی عبارتند از:

$$\text{درجه حرارت گاز خروجی} = 360^{\circ}\text{C}$$

$$\text{درجه حرارت کلینکر} = 150^{\circ}\text{C}$$

$$\text{مقدار آب در مواد خام} = 0.5\%$$

$$\text{مقدار آب} = 0.005 \text{ کیلوگرم به ازای هر} \\ \text{کیلوگرم مواد خام خشک.}$$

$$\text{اتلاف سوخت} = 10.6\% = 0.106$$

$$\text{کیلوگرم زغال سنگ به ازای هر کیلوگرم} \\ \text{کلینکر بفرض اینکه ارزش حرارتی آن}$$

$$30150 \text{ kJ} \text{ به ازای هر کیلوگرم کلینکر}$$

باشد یعنی

$$3190 \text{ kg/kg clinker} = \text{حرارت ورودی}$$

$$3000 \text{ t/day} = \text{کلینکر خروجی کوره}$$

$$3000 \text{ t/day} = \text{درجه حرارت گاز خروجی تخلیه شده از}$$

$$120^{\circ}\text{C} = \text{آسیاب مواد خام}$$

$$\frac{3000 * 1.6}{24}$$

$$= \text{خروجی آسیاب} / \text{مواد خام} = 200 \text{ t/hr}$$

$$= \text{مقدار رطوبت مواد خام} = 7\%$$

$$\text{برای آب} = 0.01(1.76+0.000775*360).(360-20) = 7 \text{ رطوبت باقیمانده در مواد خام (خشک)} = 0.5\%$$

$$2110 = 2452 * 0.001 \text{ تبخیر آب}$$

حرارت زائد کلینکر:

$$105 = 1.0(0.76+0.000297*150).(150-20)$$

$$( \text{مقدار باقیمانده}) \text{ اتلافات تشبعشی} = 560$$

حرارت محاسبه شده مورد نیاز برای هر  
۲۱۹۰ کیلو گرم کلینکر

گاز خروجی تولید شده  
جریان گاز خروجی زیر برای خشک کردن  
مواد خام قابل قبول است:

$$183750 \text{ Nm}^3/\text{hr} = 3000 * 10^3 * 1.47$$

24

با دربرداشتن هوای غیرواقعي (False) در  
حدود  $200000 \text{ Nm}^3/\text{hr}$  است.

برای تولید با ۲۰۰ از مواد خام در هر  
 ساعت مقدار آب تبخیر شده برابر

است با  $125 \text{ (pp.118 and 125)}$

$$Wa = Tr \cdot \frac{W - Wr}{100 - W} = 200 \times 10^3 \times$$

$$\frac{7 - 0.50}{100 - 7} = 13980 \text{ kg water / hr}$$

برای آب داده های دیگر بخش ۶-۳-۱ را  
ببینید (کوره تر طویل)

مقدار گاز تولید شده عبارتست از:

$$0.104 [1+1.2] (11.6*0.78)$$

$$+ 34.78 * 0.04 - 4.35 * 0.10 \\ + 4.35 * 0.04 ) = 1.40 \text{ kg/kg}$$

$$0.005 * 1.54 = 0.01 \text{ kg/kg} : \text{از آب}$$

$$\text{از مواد خام} = 0.44 * 0.76 * 1.54 : (CO_2)$$

$$0.52 \text{ kg/kg}$$

گازهای خروجی کوره بازای کیلوگرم  
کلینکر : در مجموع  $1.93 \text{ kg/kg}$

تطابق حجم گازها در حالت استاندارد :

$$= m^3/kg 1.47$$

معادله حرارتی بر مبنای  $\text{kJ}$  بازای هر  
کیلوگرم کلینکر عبارتست از:

$$1820 = \text{حرارت تشکیل کلینکر} : 1.40$$

حرارت اتلافی گاز خروجی از طریق  
سوخت

$$492 = 1.40(0.96+0.000209*360).(360-20)$$

حرارت اتلافی گاز خروجی از طریق مواد  
خام  $CO_2$

$$171 = 0.52(0.80+0.000461*360).(360-20)$$

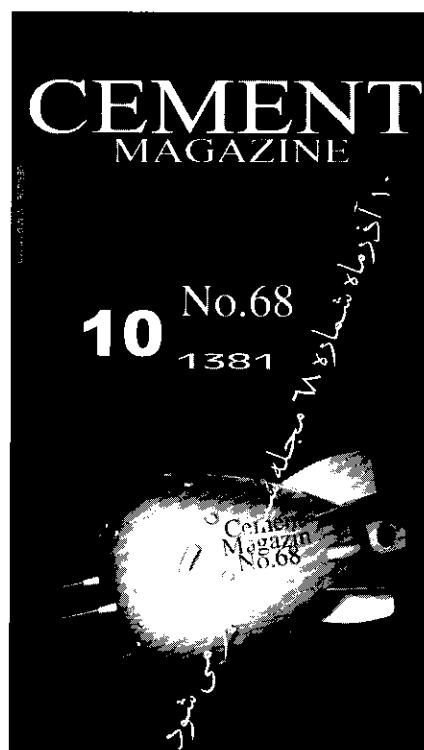
حرارت اتلافی گاز خروجی از طریق تبخیر

قطر (d) و طول (L) کوره بدهست می‌آید.  
 $V_{int} = \frac{1}{4} \pi d^2 L = \frac{1}{4} \pi (D-0.4)^2 L$   
 در این فرمول d برابر با قطر داخلی کوره است که از پوسته D به اندازه 0.4 m باختر شسوز کاری کسر می‌گردد.  
 مقادیر زیر مقادیر راهنمای توانهای ویژه کوره‌ها هستند.

کوره تر طویل	0.45-0.8	t/day m <sup>3</sup>
کوره خشک طویل	0.5-0.8	
کوره با پیش گرمکن	1.5-2.2	
کوره با پیش گرمکن مشبک	1.5-2.2	
کوره با پریکلساینر	3.3	
کوره با پریکلساینر و داکت هوای ثالثیه	3.5-5.0	

به کمک این مقادیر، امكان محاسبه تقریبی ابعاد کوره برای دستیابی به یک سرعت معین تولید کلینکر وجود دارد، اگر نسبت طول به قطر کوره را بداینیم، مقادیر تقریبی زیر اتخاذ می‌گردد.

کوره‌های خشک یا تر طویل  $L/D = 34$   
 کوره‌های کوتاه با تجهیزات پیش گرمکن  $L/D = 16$



حاصل می‌شود- بواسیله بکاربردن حرارت هوای خروجی (exhaust) کولر کلینکر (کولر مشبک "گریت" بدهست می‌آید. و از این هوانمی توانیم بمنظور هوای ثانویه و ثالثیه استفاده کنیم.

در مجموع حرارت برگشتی حدود  $q = 260$  کیلوگرم کلینکر از هوای خروجی بازای هر کیلوگرم کلینکر از هوای خروجی کولر صرفه جویی می‌شود برای تعیین ظرفیت تجهیزات غبارگیری، تعیین گاز خروجی تخلیه شده از قسمت خرینک- خشک کن ضروری است:

$$= 183800 \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

دوار

$$13980 \text{ Nm}^3/\text{hr} = 17390 = 1244 \times$$

= 201190 Nm<sup>3</sup>/hr = مجموع

در درجه حرارت خروجی  $C = 120^\circ$  گاز تخلیه شده از آسیاب برابر است با :

$$\frac{201190 \times 393}{273} = 289625 \text{ m}^3/\text{hr}$$

با فرض  $20\%$  ( $57925 \text{ m}^3/\text{hr}$ ) بمنظور محاسبه نمودن هوای فیلتر شده، جریان گاز کلی (در  $C = 120^\circ$ ) عبور کرده از تجهیزات غبارگیری در حدود  $347550 \text{ m}^3/\text{hr}$  خواهد بود.

این محاسبات ساده برای تمام انواع کوره معتبر می‌باشد. برای کوره دوار بروش خشک با پیش گرمکن، حرارت اتلافی توسط دیواره‌ها مقداری حدود  $23\%$  مجموع حرارت مصرفی است.

مقایسه شکل‌های کوره دوار بروش خشک و کوره عمودی (shaft) در حدود  $17\%$  و  $12\%$  می‌باشد.

تعیین تقریبی توان ویژه کوره توان ویژه کوره‌ها یک اصل برای مقایسه تفاوت فرایندهای پخت کلینکر است. که مقداری است که از خروجی کلینکر بر حسب  $\text{ton}/\text{day}$  و حجم داخلی کوره بر حسب  $\text{m}^3$  می‌باشد. که پارامتر آخری از

برای یک درجه حرارت  $C = 360^\circ$  در ورودی و  $C = 120^\circ$  در خروجی آسیاب، مقدار گاز خروجی زیر مورد نیاز است:

$$Gh = \frac{W_{a,k}}{t, So} = \frac{13980 \times 5400}{240 \times 1.36} = 231300 \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

بر طبق نظر Labahn / kaminsky (1974.p 122) تبخیر آب نیاز به حرارت ورودی  $5400 \text{ kJ/kg}$  دارد.

در اینجا برای تبخیر  $13980 \text{ kg}$  در هر ساعت نیاز به :

$$13980 \times 10^6 \text{ kJ/hr} = 75.5 \times 5400 \times 10^6 \text{ kJ/hr}$$

مقدار گاز خروجی قابل قبول  $360^\circ \text{ C}$  در  $200000 \text{ Nm}^3/\text{hr}$

می‌باشد. بعد از حرارت دهی به مواد درجه حرارت تخلیه از آسیاب برابر  $C = 120^\circ$  می‌باشد. در اینجا حرارت مشتق شده از

این گاز برابر است با  $200000 \times (1.36 \times 360 - 1.30 \times 120) = 66.7 \times$

$$10^6 \text{ kJ/hr}$$

در این مثال گاز خروجی نمی‌تواند حرارت کافی برای خشک شدن مواد خام را فراهم کند. باستی برای آسیاب  $6 \text{ kJ/hr}$   $8.8 \times 10^6 \text{ kJ/hr}$  حرارت اضافی تهیه جداینه هوا یا بصورت متناسب از حرارت اتلافی هوای خروجی کولر مشبک (grate cooler) تهیه شود. (به قسمت پایین مراجعه شود)

$$\frac{66.7 \times 10^6 \times 24}{3000 \times 10^3} = 534 \text{ kJ/kg}$$

اگر این حرارت از مصرف حرارتی کوره کاهش داده شود، از  $3190 \text{ kJ}$  به  $2656 \text{ kJ}$  برای هر کیلوگرم کلینکر کاهش داده می‌شود.

کاهش بیشتری در مصرف حرارتی کوره دوار - توسط حالتهای عملیاتی مناسب