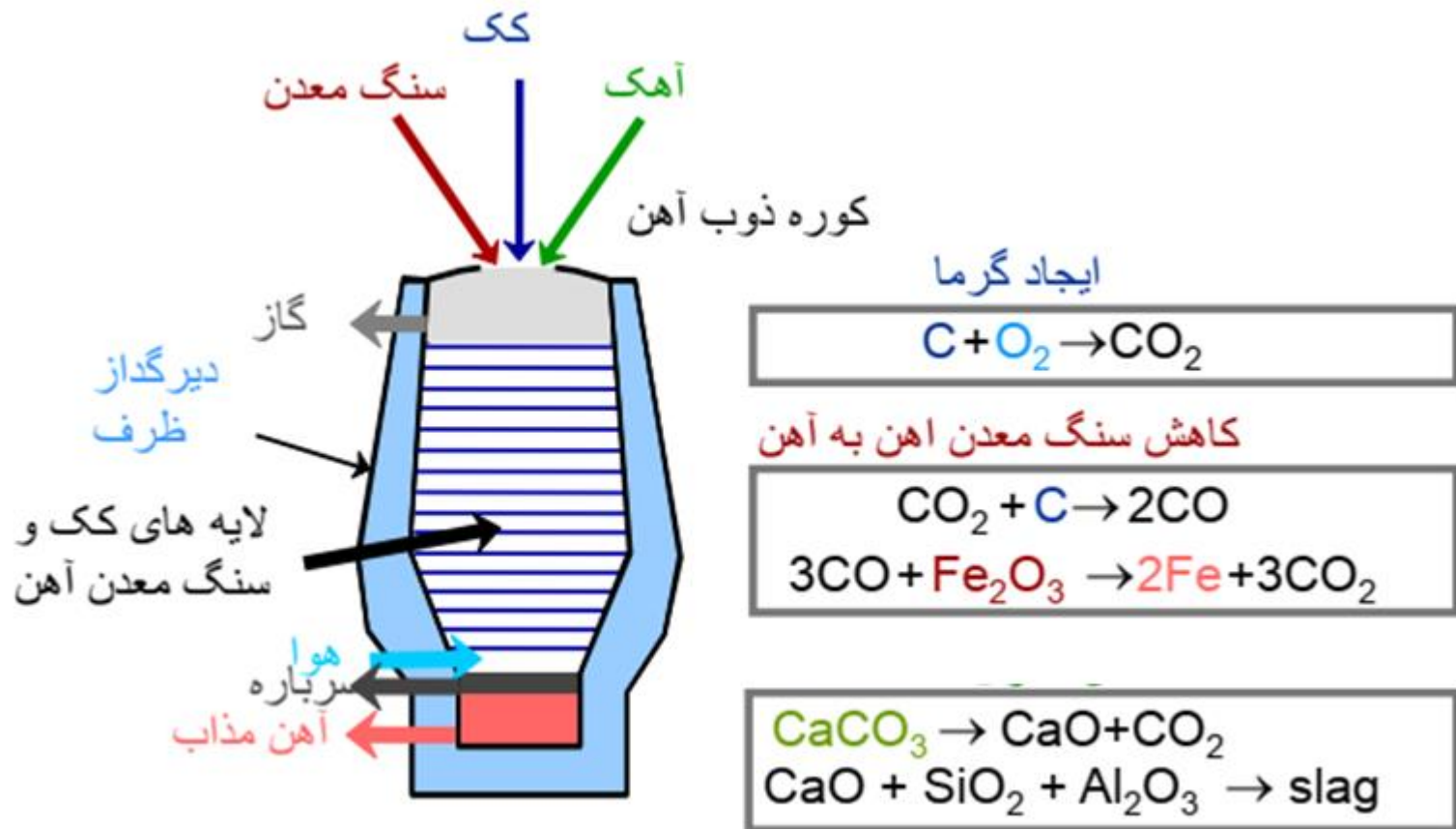




جلسه هفتم  
مواد ورودی و محصولات خروجی کوره بلند



# محصولات ورودی و خروجی کوره بلند به طور خیلی خلاصه



- مواد ورودی به کوره بلند را می توان از بالای کوره و یا از منطقه دمنده ها به داخل کوره فرستاد.
- مواد که از بالای کوره وارد می شوند عبارتند از:
  - مواد حاوی اکسید آهن
  - کک متالورژیکی
  - مواد سرباره ساز و فلاکس
- موادی که از پایین به داخل کوره دمیده می شود
  - هوای دم
  - سوخت های کمکی



## مواد حاوی اکسید آهن

- معمولا هماتیت و بندرت مگنتیت. در کوره های جدید معمولا این مواد بصورت گندله هایی به قطر ۱-۲ سانتی متر است که حاوی ۵-۱۰ درصد آلومینا و سیلیکا است و بقیه آن هماتیت می باشد. همچنین می توان از کلوخه هایی به اندازه ۱ تا ۳ سانتی متر که از پروسه کلوخه سازی بدست می آیند، استفاده کرد.
- اگر سنگ معدن پر عیار باشد می توان بدون نیاز به آگلموراسیون قطعات ۱ تا ۵ سانتی متر را مستقیما بداخل کوره شارژ کرد.
- در بسیاری از مجتمع ها از مخلوطی از این مواد ( دو مورد بالا) به عنوان شارژ استفاده می شود



# کک متالورژیکی

- مهم ترین سوخت کوره بلند کک است. اختراع کک در اوایل قرن ۱۸ میلادی توسط ابراهام داربی صورت گرفت. تا حدود دهه ۱۹۶۰ میلادی میزان مصرف کک شاخصی برای مقدار تولید آهن به حساب می آمد.
- از این دهه به بعد بواسطه پیشرفت در دستگاه های کنترل و بهبود روش های تولید مثل استفاده از سایر سوختها به عنوان مکمل در کوره بلند و ابداع روش های جدید احیا مستقیم، باعث استفاده کمتر از کک شد.
- با این وجود کک هنوز اصلی ترین سوخت مورد استفاده در کوره بلند می باشد.



# وظایف کک

- مهم ترین وظایف کک در کوره بلند عبارتند از:
  - ۱- فراهم آوردن قسمت اعظم انرژی گرمایی مورد نیاز
  - ۲- فراهم آوردن کربن و  $\text{CO}$ ، این دو ماده مهمترین عواملی هستند که باعث احیا اکسید آهن می شوند.
  - ۳- به وجود آوردن بستر نفوذ پذیر به منظور عبور گاز. این وظیفه در قسمتهایی که شارژ کوره خمیری و ذوب می شوند بیشتر محسوس است.
- سایر واکنش هایی که به کمک کک صورت می گیرد عبارتند از کربوریزه کردن آهن مذاب و احیا برخی دیگر اکسید ها از قبیل  $\text{MnO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$
- سوخت های مایع و گاز و سوخت های جامد کلوخه ای می توانند دو وظیفه اول کک را تا حد زیادی انجام دهند ولی برای وظیفه سوم وجود یک ماده جامد با استحکام ضروری است.



# کک متالورژیکی

- اندازه دانه کک ورودی به کوره بلند بین ۳۰ - ۷۰ میلی متر است. البته قسمت اعظم آن در محدود ۳۵ تا ۴۵ میلی متر قرار دارد.
- میزان مصرف کک برای مجتمع های پیشرفته حدود ۴۰۰ کیلوگرم به ازای تولید یک تن آهن خام است.
- با مقایسه چگالی کک و کنسانتره آهن متوجه می شویم که کک حدود نیمی از حجم کوره را اشغال می کند و در نتیجه خواص و شاخصهای آن تاثیر مهمی بر نحوه عمل کوره بلند دارد.





## نحوه تولید کک

- کک معمولاً از زغال سنگی ساخته می شود که ۸۰ تا ۹۲ درصد کربن دارد و ۸ تا ۲۰ درصد مواد فرار دارد.
- تبدیل زغال سنگ به کک بوسیله پروسه کربوریزاسیون صورت می گیرد. در یک فضای بسته در غیاب هوا حرارت داده می شود. با افزایش دما مخلوط زغال سنگ نرم و پلاستیک می شود و مواد فرار شروع به خارج شدن می کند و کک باقی می ماند.
- مواد فرار حاصل از پخت کک جمع آوری می شود و از آنها محصولات جانبی بدست می آید. بخشی از این محصولات گازی شکل ممکن است به همراه گاز خروجی کوره بلند به عنوان سوخت برای گرم کردن هوای دم و یا اجاق های پخت کک بکار برده شوند. محصولات جانبی شامل قیر، آمونیاک و بنزن هستند.



• واکنشهای تبدیل زغال سنگ به کک به سه بخش تقسیم می شوند:

۱. در مرحله قبل از پلاستیک شدن که دما کمتر از ۳۰۰ درجه سانتیگراد است و بخشی از مواد فرار خارج می شود.

۲. در مرحله پلاستیک و نرم شدن که در محدوده دمایی ۳۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتیگراد صورت می گیرد. تغییرات مولکولی در ساختار زغال سنگ صورت می گیرد. همچنین مقدار زیادی مواد فرار از سیستم خارج می شوند. تغییر حجم نیز در این مرحله صورت می گیرد.

۳. در مرحله نهایی زغال سنگ بصورت ماده جامد سخت و متخلخلی در می آید که به آن کک گفته می شود. دمای این مرحله حدود ۹۰۰ تا ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد می باشد.

• دمای بالا باعث استحصال کک با استحکام بالا می شود.

• اگر از دماهای پایین استفاده شود استحکام کک به همان نسبت کاهش می یابد و لی در عوض نرخ سوختن کک (نرخ ترکیب با اکسیژن) افزایش می یابد.

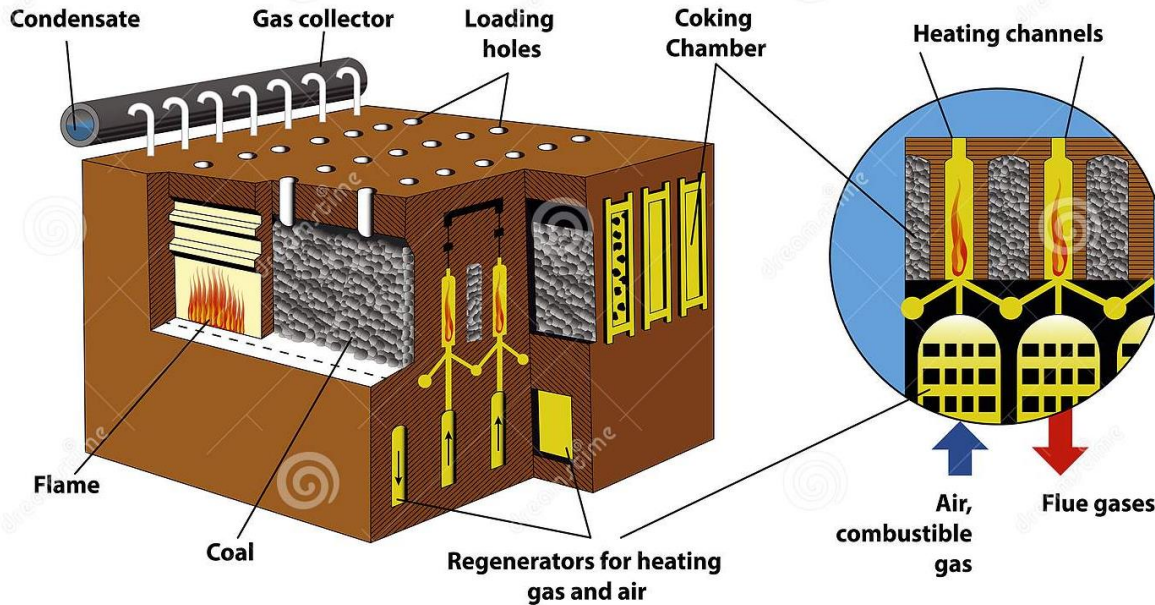
• کک با استحکام بالا معمولا به کک با فعالیت شیمیایی زیاد ترجیح داده می شود. برای همین معمولا عمل کک سازی در دماهای بالا صورت می گیرد.



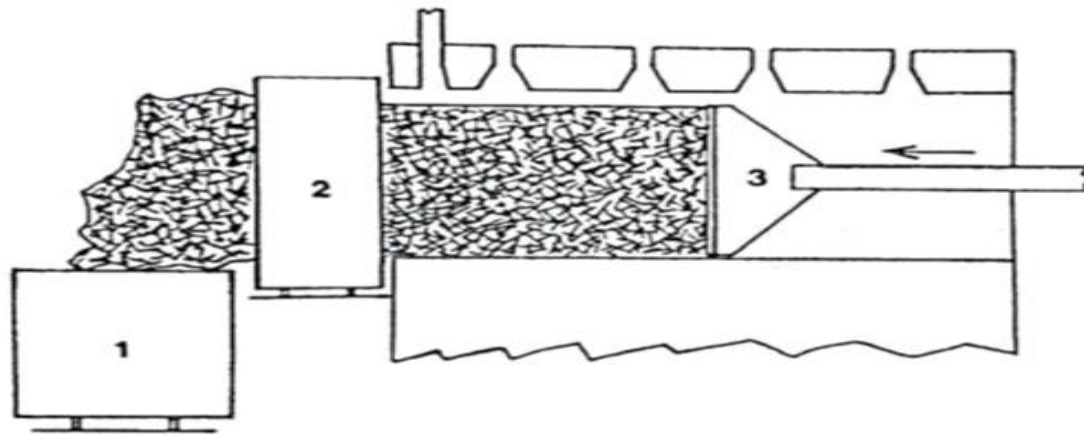
# نمای عمومی یک باطری کک سازی

- مجموعه چند محفظه پخت کک را یک باطری می نامند. هر باطری ممکن است شامل ۴۰ تا ۱۰۰ عدد محفظه پخت می باشد.
- معمولا اجاق های پخت از اجر سیلیکاتی ساخته می شوند. بین اجاق های پخت کانال های عبور گاز حرارت دهنده وجود دارد
- حداکثر پهنا و ارتفاع و طول محفظه ها به ترتیب ۰,۵ و ۷ و ۱۵ متر است . مقادیر بیش از این باعث می شوند رسانایی گرما بخوبی صورت نگیرد و خواص کک یکنواخت نشود.

## COKE OVEN PROCESS

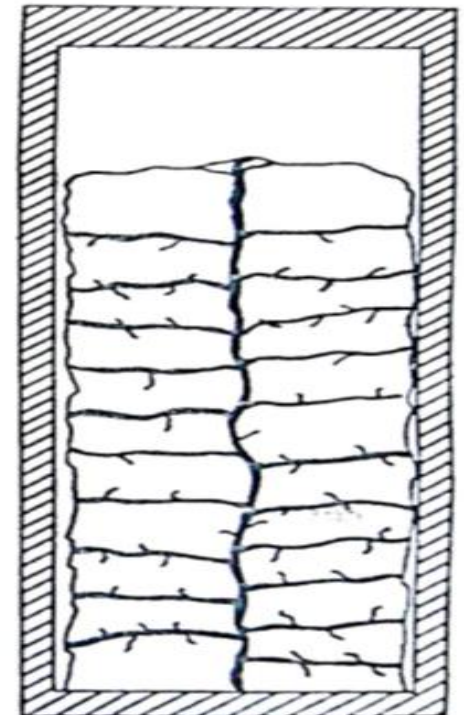


- شکل زیر مقطع یک اجاق حاوی کک آماده را نشان می دهد.
- در پایان عملیات درهای اجاق کنار می روند. از یک طرف اجاق بکممک یک پیستون کک پخته شده به بیرون فشار داده می شود و از طرف دیگر بداخل واگن خنک کردن می ریزد.
- کک خروجی گداخته است و باید با سرعت خنک شود. برای خنک کردن آن در مجتمع های مدرن از جریان گاز خنثی استفاده می شود. در مجتمع های قدیمی تر از اسپری آب برای خنک کردن استفاده می شود.
- مزیت استفاده از گاز خنثی این است که کک بدست آمده مرطوب نخواهد بود و همچنین می توان از گرمای منتقل شده از کک به گاز در قسمت های دیگر مجتمع استفاده کرد.



1 quenching car; 2 coke guide; 3 pusher

تخلیه کک از اجاق توسط پیستون



کک پخته شده

# کیفیت کک

- شاخصهای کیفیت کک معمولاً بر اساس ترکیب شیمیایی، استحکام و میل ترکیب با  $\text{CO}_2$  مشخص می شوند. عوامل موثر بر کیفیت کک بشرح زیر هستند:
  - ترکیب شیمیایی مناسب
  - فعالیت شیمیایی مناسب
  - اندازه دانه مناسب
  - پایداری حرارتی
  - خواص فیزیکی مناسب



## ترکیب شیمیایی کک

- ترکیب شیمیایی کک بستگی به زغال سنگی دارد که کک از آن تهیه شده است. هر قدر درصد خاکستر و گوگرد کک کمتر باشد ترکیب شیمیایی کک بهتر است.
- کک بین ۸ تا ۱۲ درصد خاکستر و حدود ۰,۵ تا ۱,۳ گوگرد دارد.
- آزمایش نشان داده است که اگر خاکستر کک ۱ درصد کاهش یابد. میزان تولید حدود ۳ تا ۶ درصد افزایش می یابد. و مصرف کک حدود ۴-۵ درصد کاهش می یابد.
- مهم ترین مواد تشکیل دهنده خاکستر کک، سیلیکا، آلومینا و آهن می باشد.
- ورود خاکستر کک به سیستم سرباره کوره بلند باعث کاهش بازیسیته می شود و برای جبران اثر آن باید اکسیدهای قلیایی به سیستم اضافه شود.
- کک مهم ترین منبع ورود گوگرد به کوره بلند است. برای گوگرد زدایی از آهن باید به سیستم سرباره قلیایی اضافه شود.
- فسفر کک به دلیل کم بودن میزان آن تاثیر چندانی در میزان فسفر آهن ندارد. مهمترین منبع ورود فسفر به کوره بلند کنسانتره است.



## فعالیت شیمیایی کک

- سرعت واکنش بین کک و فازهای گازی از قبیل اکسیژن و  $\text{CO}_2$  از عوامل مشخص کننده فعالیت شیمیایی کک است.
- عوامل مهمی که بر سرعت واکنش کک با گاز تاثیر می گذارد عبارتند از:
  - دما و فشار هوای دم
  - مساحت سوخت در منطقه دمنده ها
  - تمایل کربن برای ترکیب با اکسیژن
- با افزایش تخلخل می توان سطح تماس را افزایش داد. تخلخل بیش از حد باعث کاهش استحکام می گردد
- افزایش تخلخل به میزان ۷ درصد باعث کاهش مصرف کک به میزان ۱۰۰ کیلوگرم به ازای یک تن آهن خام می شود.



## اندازه دانه مناسب

- اندازه دانه کک از خواصی است که نفوذ پذیری بستر و استحکام مکانیکی کک را مشخص می کند.
- اندازه دانه بزرگ باعث افزایش نفوذپذیری بستر می گردد.
- اگر اندازه کک از ۸۰ میلی متر بیشتر باشد استحکام مکانیکی آن کاهش می یابد
- معمولا برای آنکه نفوذ پذیری بستر کوره بلند مناسب باشد باید حداقل ۸۰ درصد دانه های کک اندازه ۴۰ میلی متر تا ۸۰ میلیمتر داشته باشد.





# پایداری حرارتی

- دمای پخت کک حداکثر ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد است. در کوره بلند قبل از آنکه کک به منطقه دمنده ها برسد باید از مناطقی عبور کند که دما آنها از دمای پخت کک بیشتر است. به عبارت دیگر کک در کوره بلند دماهایی تجربه میکند که هرگز در معرض آنها نبوده است.
- کک باید استحکام و مقاومت فیزیکی خود را در این مناطق و دمای بالا حفظ کند. مهمترین مشکلاتی که ممکن است در این مناطق پیش آید شوک حرارتی و کربن زدایی است.
- عوامل مهم در پایداری حرارتی کک عبارتند از:
  - یکنواختی در ساختار کک - عدم وجود یکنواختی باعث تشدید شوک حرارتی می شود.
  - حداقل مقدار ناخالصی
  - انجام کار مکانیکی قبل از مصرف
  - در دمای بالایی کربن زدایی انجام شود



## خواص فیزیکی و استحکام

- خواص فیزیکی - مکانیکی کک معمولا توسط آزمایشهایی که برای بررسی مقاومت کک نسبت به سایش و شکستن طراحی شده اند، معین می شود.
- معمولا در این آزمایش ها از تست بشکه گردان استفاده می شود. در این تست مقداری مشخصی کک خشک در بشکه ای با اندازه معین ریخته میشود. و بشکه با سرعت مشخصی برای مدت معین می چرخد. سپس محتویات بشکه دانه بندی می شود و شاخص های سایش و استحکام کک بدست می آید

در تست استاندارد ژاپن  $10\text{kg}$  کک با اندازه دانه  $< 50\text{mm}$  در بشکه ای به طول و قطر  $1/5$  متر ریخته می شود و سپس بشکه برای دو دقیقه با سرعت  $15\text{rpm}$  می چرخد. پس از این مدت کک از غربال با چشم مربع شکل و اندازه  $15\text{mm}$  عبور داده می شود. درصدی که عبور نمی کند نشان دهنده میزان استحکام کک می باشد.



# بازدید از کارخانه کک طبس

- <https://www.aparat.com/v/ey3rY>

## مواد سرباره ساز

- منظور از سرباره مخلوط مذابی از اکسیدها و سیلیکاتهای فلزات است. سایر ترکیبات موجود در سرباره ممکن است شامل فسفات ها، بوراتها و کربنات ها باشد.
- اگر خاکه ای که برای استحصال مورد استفاده قرار می گیرد شامل اکسید خالص آن فلز، مثلاً هماتیت خالص باشد و محصول احیا نیز بصورت گاز از سیستم خارج شود در آن صورت اصولاً سرباره بوجود نمی آید ولی در عمل هیچگاه اکسید خالص در دسترس نیست.
- حال که تشکیل سرباره غیر قابل اجتناب است می توان از آن برای بهبود عملیات تولید و خواص فلز استحصال شده استفاده کرد و بنابراین از موادسربارساز استفاده می شود



## وظایف سرباره

- وظایف سرباره را می توان به صورت زیر خلاصه کرد
- محافظت مذاب از آلودگی توسط اتمسفر کوره
- عایق کردن مذاب
- منبعی برای جذب مواد مضر و نا خواسته
- کنترل شیمیایی مذاب



- برای آنکه سرباره وظایفش را انجام دهد باید دارای خواص زیر باشد
- **نقطه ذوب کمتر از مذاب** – برای آنکه سرباره سیالیت زیاد داشته باشد و بتواند سطح مذاب راپوشاند و تماس کافی با مذاب داشته باشد باید چنین خاصیتی داشته باشد. برای تغییر خواص سرباره می توان به آن انواع روانساز و سایر مواد سرباره ساز را اضافه نمود
- **چگالی کمتر از فلز مذاب**. در نتیجه سرباره بالای مذاب قرار می گیرد و می توان با روش ثقلی آن را از مذاب جدا نمود.
- **ترکیب شیمیایی و فیزیکی مناسب** در سرباره می تواند ناخالصیها را جذب کند.



# هوای دم کوره بلند

- هوای دمیده شده به کوره بلند معمولاً هوای پیشگرم شده ای است که از اکسیژن غنی شده است. مقدار اکسیژن آن ممکن است **حدود ۲۷ درصد** باشد.
- کک یک منبع سوختی گران است اگر هوا پیشگرم نشده به داخل کوره دمیده شود کک زیادی به هدر می رود.
- می توان با پیشگرم کردن هوای دم در خارج کوره توسط سوخت های ارزانتر باعث بهبود اقتصادی تولید و افزایش سود دهی در کوره بلند شد.
- یکی از مناسب ترین سوخت ها مورد دسترس برای پیشگرم کردن هوای دم، گاز خروجی کوره بلند است. این گاز بیش از **۳۰ درصد CO** می باشد.
- با سوزاندن این گاز به عنوان بعنوان گرمایش هوای دم در حقیقت از هدر رفتن انرژی گرمایی این گاز جلوگیری می شود.



## سوخت های کمکی

- تزریق سوخت کمکی معمولاً از طریق دمنده های هوا صورت می گیرد.
- با تزریق سوخت می توان در مصرف کک و هزینه های مربوط به تولید کک صرفه جویی نمود.
- با توجه به اینکه نیمی از حجم کوره را کک اشغال می کند هر چه مقدار کک کمتر شود در حقیقت حجم شارژ بیشتر می شود و نرخ تولید آهن افزایش می یابد.
- دمش سوخت بداخل کوره امکان کنترل بهتر و سریعتر دما را هم فراهم می کند.
- سوخت های مورد استفاده عبارتند از گاز طبیعی، انواع سوخت های مایع فسیلی مثل مازوت و یا زغال سنگ پودر شده .
- سوخت های مایع و گاز و سوخت های جامد کلوخه ای می توانند دو وظیفه اول کک را تا حد زیادی انجام دهند ولی برای وظیفه سوم وجود یک ماده جامد با استحکام ضروری است





# محصولات خروجی

• محصولات کوره بلند شامل موارد زیر است

۱- مواد فلزی

۲- سرباره

۳- گاز

مواد فلزی می تواند شامل محصولات زیر باشد

- آهن خام فولاد سازی

- فرو آلیاژها



## محصولات فلزی

- آهن خام فولاد سازی - مهم ترین محصول کوره بلند است. بصورت جامد یا مذاب به مجتمع های فولادسازی فرستاده می شود. دمای ذوب آن حدود ۱۱۵۰ درجه است. مهم ترین ناخالصیهای آن عبارتند از: **کربن** ۶ درصد، **سیلیسیم** ۰,۵-۱,۲ درصد **منگنز** ۰,۲-۲ درصد **فسفر** ۰,۱۵-۰,۲ درصد **گوگرد** ۰,۰۲-۰,۰۷ درصد
- فرو آلیاژهای کوره بلند- برای آنکه کوره بلند توانایی رقابت با روش های جدید تولید آهن مثل روش های احیا مستقیم را داشته باشد در آن می توان برخی فرو آلیاژها را تولید کرد. برخی انواع فرو آلیاژها ی تولیدی عبارتند از:
  - فرومنگنز با ۷۰ تا ۷۵ درصد منگنز
  - فروسیلیس با حداکثر ۱۸ درصد سیلیسیم



## سرباره خروجی

- سرباره خروجی شامل ۳۰ تا ۴۰ درصد سیلیکا و ۵ تا ۱۵ درصد آلومینا و ۳۵ تا ۴۵ درصد آهک است و ۵ تا ۱۵ درصد مگنزییا و حداکثر ۱ درصد اکسید سدیم و ۱ تا ۲,۵ درصد گوگرد است. سرباره شامل مقدار کمی آهن است.
- سرباره خروجی کوره بلند در ساخت و تولید چسب سیمانی، بتون، سیمان، پشم شیشه، مواد عایق گرما و مواد ساینده بکار برده می شود. همچنین می توان از آن در زیر سازی راه آهن و جاده استفاده کرد.



## گاز خروجی

- گاز خروجی کوره بلند ممکن است تا حدود ۳۰ درصد CO داشته باشد. در نتیجه می تواند به عنوان سوخت مورد استفاده قرار گیرد. معمولاً حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد گاز خروجی برای پیشگرم کردن هوای دم استفاده می شود. بقیه آن در نورد گرم، تاسیسات عملیات حرارتی و یا مجتمع های تولید برق به کار برده می شود.



# فیلمی از کوره بلند

- <https://www.aparat.com/v/0gvm2>