Archive of SID

چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی
تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم اندیشان انرژی کیمیا
www.Koureh.ir تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶

کاهش مصرف سوخت کوره آند از طریق پیشگرم هوا و اکسی‌فیول مشعل کوره در مجتمع مس سرچشمه

آیدا ارومیه‌ای۱، صدیقه اسدی‌نژاد۲، سیدحسین منصوری۳

۱- چکیده

مس خام محصول کنورتر برای حذف اکسیژن و گوگرد به کوره‌های آند منتقل می‌شود. در این کوره‌ها عملیات سرباره‌گیری، اکسیداسیون و احیا جهت حذف ناخالصیها صورت گرفته و مس با عیار ۹۹/۸۵٪ ریخته‌گری می‌شود. در کوره آند مجتمع مس سرچشمه، بر اساس اصل پایستاری جرم و روش تجربی موازنه مواد، درصد وزنی مواد ورودی و خروجی از کوره مشخص بوده و توسط وزن اجزای سازنده، مقادیر موردنظر اندازه‌گیری می‌گردد. موازنه حرارتی طبق اصل بقای انرژی و موازنه جرمی انجام شده بوسیله مشخصات فازها، انرژی حرارتی مشعل، اتلاف حرارتی دیواره، سقف و واکنش‌های انجام شده در طول فرایندها، تنظیم می‌شود. کاربرد این روش بطور گسترده‌ای در طراحی کوره، محاسبه اتلاف مواد و انرژی در کوره، مقدار انرژی حرارتی لازم برای ثابت نگه داشتن دمای مذاب داخل کوره، تعیین راندمان، مقدار و درصد شارژ مناسب و نیز مقدار سوخت لازم برای ثابت نگه داشتن دمای مذاب داخل کوره می‌باشد. برای مدل کردن کوره فرض بر این است که شرط تعادل در کوره برقرار است. نتایج حاصله با مقادیر محاسبه شده در شرایط عملیاتی و نیز طراحی کوره، تطابق دارد.

واژه‌های کلیدی: سوخت، پیشگرم، اکسی‌فیول، مشعل، کوره آند.

۱- کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۲- پژوهشگر تحقیقات پیرومتالورژی، امور تحقیق و توسعه، مجتمع مس سرچشمه، شرکت ملی صنایع مس ایران
۳- استاد بخش مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان

www.SID.ir

Archive of SID

۲- مقدمه

معمولا مس خام محصول کنورتور برای مصارف صنعتی، قابل استفاده نبوده و برای حذف ناخالصی‌ها به دو مرحله تصفیه حرارتی و الکتریکی نیاز است. انجام تصفیهٔ حرارتی قبل از تصفیهٔ الکتریکی برای کاهش بیشتر ناخالصی‌هاست تا مس، قابل تصفیه الکتریکی یا الکترولیز گردد. انترکوینتچ_ ونزل به بررسی واکنش بین فلزات مختلف بعنوان تابعی از دما و مقدار آنها در ترکیبات سرباره و نیز بررسی دلایل اتلاف مس در سرباره پرداخت[۱]. پژوهش دیگری استفاده از گاز طبیعی و مایع را در کوره‌های آندی مس، از نظر تئوری و در مقیاس‌های آزمایشگاهی و عملیاتی مورد مطالعه قرار داد[۲]. همچنین مطالعاتی تحت عنوان "شبیه‌سازی جریان گاز طبیعی در کوره‌های آند مجتمع مس سرچشمه" بر روی فاصله تویرها از سطح آزاد در کوره به عنوان متغیر انجام شد و با توجه به میزان کسر حجمی گاز پخش شده در مذاب، حالت بهینه از لحاظ اختلاط بدست آمد که در آن تحقیق نظر به اینکه در کوره‌های آند به علت کم بودن ناخالصی‌ها، اکسیداسیون آنها برای جبران تلفات حرارتی کوره کافی نبوده و نیاز به مشعل وجود دارد، بررسی موازنه جرم و حرارت برای تعیین چگونگی انجام واکنش‌ها، بهینه کردن عملکرد کوره و تأثیر عوامل مختلف بر روی شرایط عملیاتی، انجام شد[۳]. در این تحقیق تاثیر نوع هوای فرآیند، دمای پیشگرم هوا، میزان مصرف سوخت و مقدار هوای لازم برای انجام واکنش‌های اکسایشی و احتراقی بررسی شد.

۳- روش تحقیق

کوره آند مجتمع مس سرچشمه، استوانه‌ای افقی دوار با قطر ۴۲۹۷mm، طول ۹۱۴۴mm، مجهز به لوله‌های دمش هوای ۵۰mm که در مراحل اکسیداسیون و احیای مس استفاده می‌شود، می‌باشد. برای موازنه جرم و حرارت، کوره بصورت یک حجم قابل کنترل در نظر گرفته شده و با استفاده از اصل بقای جرم و داشتن درصد اجزای ورودی به کوره و رسیدن به مس آندی با عیار ۹۹/۸۵٪، محاسبات بصورت گام به گام بطوری که مقدار گازهای خروجی در مراحل اکسیداسیون و احیا در نظر گرفته شده است، صورت می‌گیرد. برای موازنه حرارت در کوره باید مقادیر حرارت ورودی، حرارت خروجی، حرارت تولید شده و همچنین حرارت‌های محسوس و نهان، محاسبه شوند. حرارت ورودی به کوره شامل حرارت ناشی از احتراق سوخت در مشعل و حرارت محسوس و نهان ناشی از شارژ کوره (مس بلیستر) می‌باشد. حرارت تولیدی حرارتی است که در اثر واکنش‌های شیمیایی گرمازا، در طی مراحل احیا و اکسیداسیون به وقوع می‌پیوندد.

اکسیداسیون:

$$2Cu + \frac{1}{2}O_2 = Cu_2O \qquad (۱)$$

$$2Cu_2O + Cu_2S = 6Cu + SO_2 \qquad (۲)$$

احیا:

$$C + \frac{1}{2}O_2 = CO \qquad (۳)$$

$$Cu_2O + CO = 2Cu + CO_2 \qquad (۴)$$

$$Cu_2O + H_2 = 2Cu + H_2O \qquad (۵)$$

بخش قابل توجهی حرارت از کوره خارج می‌شود که شامل گرمای گازهای خروجی (گازهای تولید شده در مراحل احیا و اکسیداسیون و گازهای تولید شده در محصولات احتراق)، حرارت نهان و محسوس سرباره، حرارت نهان و محسوس مس آندی و حرارت تلف شده از دهانه و بدنه کوره از طریق هدایت، جابجایی طبیعی و تشعشع می‌باشد.

با داشتن مقدار انرژی حرارتی موردنیاز کوره برای ثابت نگه داشتن دمای مذاب و تقسیم آن بر مقدار انرژی آزاد شده حاصل از احتراق یک کیلوگرم سوخت در شرایط تعادل کوره در دمای ۱۲۵۰°C، مقدار مصرف سوخت حاصل می‌شود.

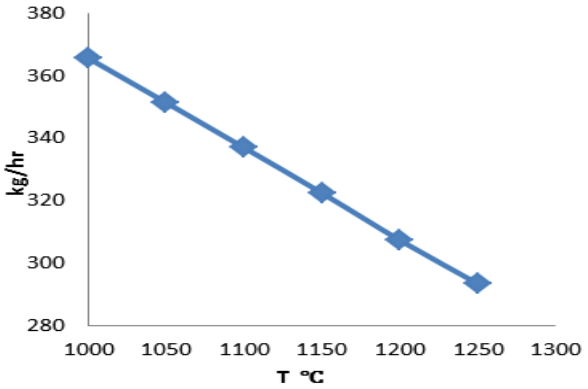
www.SID.ir

Archive of SID

۴- نتایج

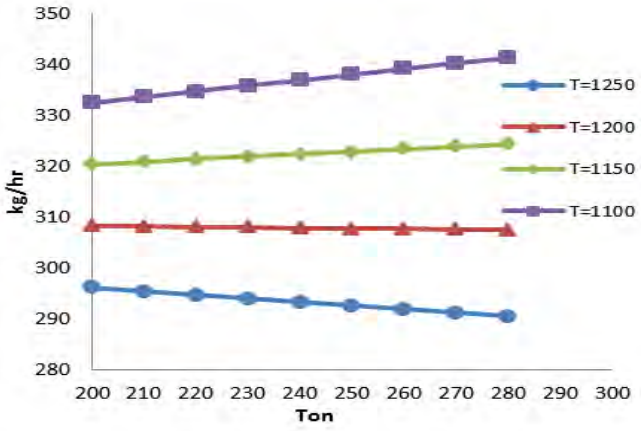
۴-۱- تاثیر دمای مواد ورودی و خروجی کوره آند بر مصرف سوخت

کاهش دمای مس‌خام ورودی موجب افزایش مصرف سوخت می‌شود. طبق شکل۱، برای ۲۴۰تن شارژ کوره با دمای ۱۲۵۰°C، مقدار سوخت مصرفی ۲۹۳$\frac{kg}{hr}$ است که در صورت افت دمای شارژ کوره تا ۱۰۰۰°C، مقدار مصرف سوخت به ۳۶۸ $\frac{kg}{hr}$ می‌رسد و سبب ۲۵٪ افزایش سوخت مصرفی می‌شود.



شکل۱: مصرف سوخت بر حسب دمای شارژ

تغییر دما و مقدار تناژ ورودی، بر مصرف سوخت تاثیر دارد بطوریکه با افزایش تناژ و کاهش دمای آن، مقدار سوخت مصرفی افزایش می‌یابد. در شکل۲ برای چهار دمای مختلف از ۱۱۰۰°C تا ۱۲۵۰°C با تغییر تناژ از ۲۰۰تن تا ۲۸۰تن مقدار سوخت مصرفی گزارش شده است. در دمای ۱۱۵۰°C تغییر تناژ ورودی تاثیر بسیار کمی بر مصرف سوخت گذاشته و در دمای ۱۲۰۰°C تغییر تناژ ورودی تقریبا تاثیری بر مصرف سوخت ندارد.

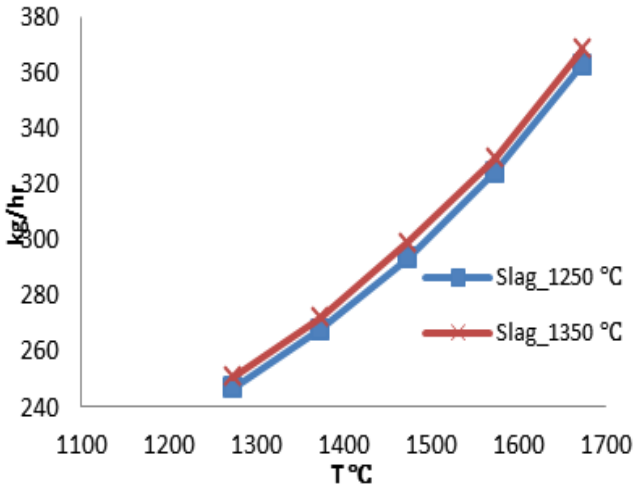


شکل۲: مصرف سوخت برحسب تغییر تناژ ورودی در دماهای مختلف

با افزایش دمای محصولات احتراق خروجی از دهانه کوره، میزان انرژی که برای ثابت نگه داشتن دمای مذاب نیاز است، کاهش یافته لذا مصرف سوخت افزایش می‌یابد. با افزایش دمای گازهای خروجی از ۱۲۵۰°C تا ۱۶۵۰°C مصرف سوخت ۴۷٪ افزایش دارد و از ۲۵۰kg/hr به ۳۶۸kg/hr می‌رسد. شکل۳ مقدار مصرف سوخت بر حسب دمای محصولات را نشان می‌دهد.

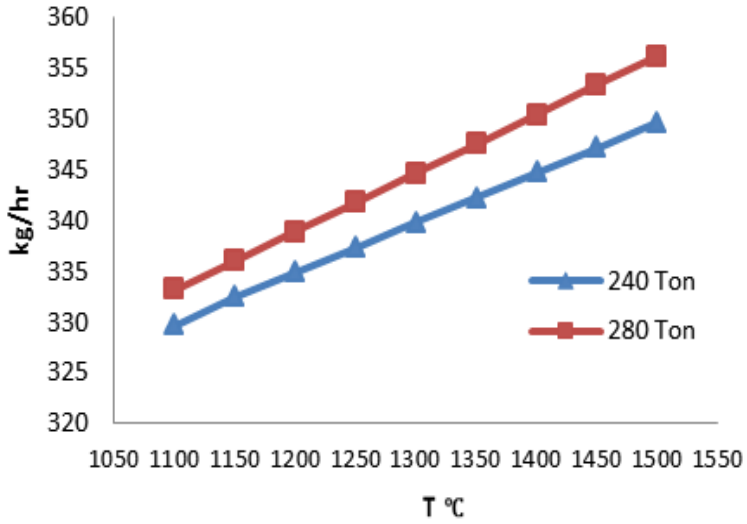
www.SID.ir

Archive of SID



شکل۳: مصرف سوخت برحسب دمای گازهای خروجی (دمای شارژ ۱۲۰۰℃)

در شکل۴ تاثیر دمای سرباره، برای دو تناژ متفاوت ۲۴۰ و ۲۸۰تن بر مقدار سوخت مصرفی، مشاهده می‌شود. بر اساس نمودار، با افزایش دمای سرباره، مصرف سوخت نیز افزایش می‌یابد. برای تناژ ورودی ۲۴۰تن و افزایش دما از ۱۱۰۰℃ تا ۱۵۰۰℃، مقدار سوخت به میزان ۶٪، از ۳۳۰ $\frac{kg}{hr}$ تا ۳۴۹ $\frac{kg}{hr}$ افزایش یافته است.



شکل۴: مصرف سوخت برحسب دمای سرباره با تناژ متغیر (دمای شارژ۱۱۰۰℃)

۴-۲- کاهش مصرف سوخت

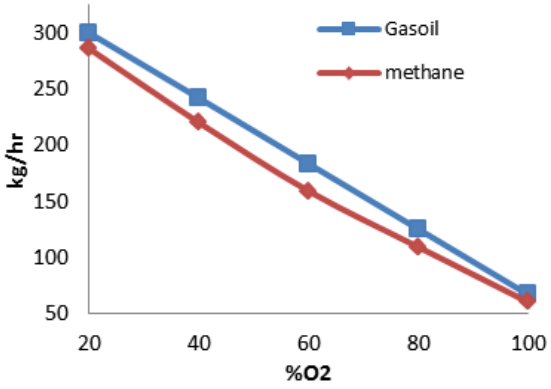
نتایج زیر با استفاده از بالانس جرم و انرژی در نرم افزار HSC حاصل شده است. در انجام محاسبات فرض شده است که کلیه واکنش‌های احتراق، در محفظه واکنش انجام می‌شود.

۴-۲-۱- تأثیر اکسیژن بر میزان مصرف سوخت

مسلم است که با افزایش مقدار اکسیژن در هوا، مصرف سوخت کاهش یابد (شکل۵). با حذف نیتروژن و افزایش ۱۰۰٪ اکسیژن در هوای ورودی به محفظه واکنش، ۷۷٪ مصرف گازوییل و ۷۶٪ مصرف متان کاهش می‌یابد، لذا مصرف گازوئیل از ۲۹۳$\frac{kg}{hr}$ به ۶۶$\frac{kg}{hr}$ و مصرف متان از ۲۸۶$\frac{kg}{hr}$ به ۶۴$\frac{kg}{hr}$ می‌رسد.

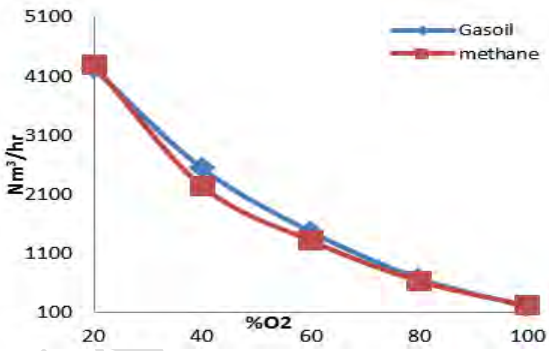
www.SID.ir

Archive of SID



شکل۵: تاثیر افزایش اکسیژن بر مصرف سوخت

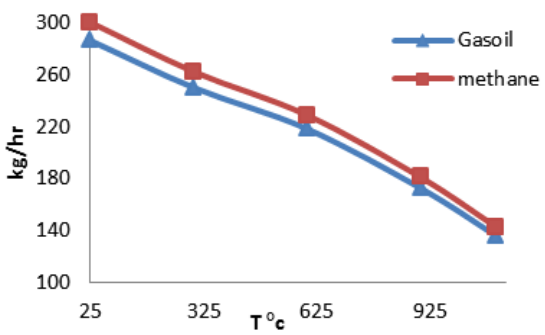
شکل۶ نشان می‌دهد که حجم هوای ورودی تابعی از درصد اکسیژن در هوا است. کاهش مصرف سوخت ناشی از کاهش حجم هوا و حذف نیتروژن در کوره می‌باشد زیرا نیتروژن تأثیری بر فرآیند انتقال حرارت در کوره ندارد و فقط مصرف کننده انرژی است تا به دمای کوره برسد. با حذف نیتروژن، اتلاف انرژی ناشی از گرم شدن آن در کوره کاهش می‌یابد. با افزایش اکسیژن در هوا و کاهش حجم هوای مصرفی در کوره موجب کاهش مصرف گازوییل از ۴۲۲۶Nm^3/hr به ۱۸۴Nm^3/hr و نیز کاهش مصرف متان از ۴۲۹۰Nm^3/hr به ۲۰۴/۱۶Nm^3/hr می‌شود که حدود۹۰٪ کاهش، نشان می‌دهد.



شکل۶: تاثیر افزایش اکسیژن بر حجم هوای ورودی

۴-۲-۲- تأثیر پیشگرم هوای احتراقی بر مصرف سوخت

از دیگر راهکارهای کاهش مصرف سوخت، پیشگرم هوای احتراقی است که با توجه به شکل۷، مصرف گازوئیل از ۲۹۳$\frac{kg}{hr}$ با هوای احتراقی ۲۵℃ به ۱۳۶$\frac{kg}{hr}$ با هوای احتراقی ۱۱۰۰℃ می‌رسد و سبب ۵۳/۵٪ صرفه‌جویی در مصرف سوخت می‌شود.

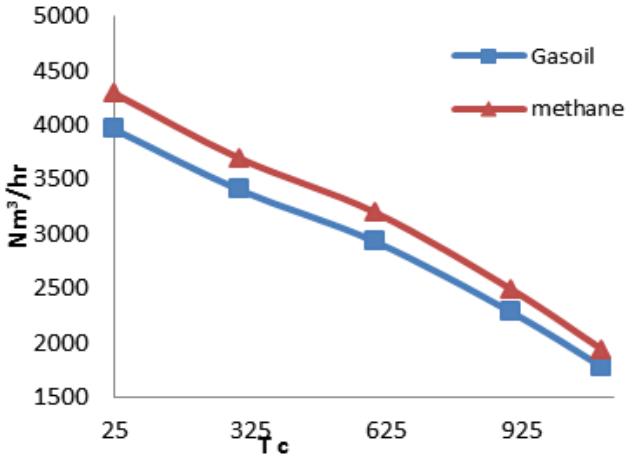


شکل۷: تاثیر پیشگرم هوای احتراقی بر مصرف سوخت

www.SID.ir

Archive of SID

بر اساس شکل۸، با پیشگرم هوای احتراقی از ۲۵°C به ۱۰۰۰°C، مصرف گازوییل از ۳۹۶۰Nm^3/hr بـه ۱۷۷۷Nm^3/hr و مصرف متان از ۴۲۹۰Nm^3/hr به ۱۹۳۶Nm^3/hr کاهش می‌یابد و حجم هوای ورودی به کوره را حدود ۵۴٪ کاهش می‌دهد.



شکل۸: تاثیر پیشگرم هوای احتراقی برحجم هوای ورودی

۵- نتیجه‌گیری

۱- بررسی‌ها نشان داد مقدار انرژی که در اثر انتقال حرارت تشعشعی از دهانه شارژ کوره خارج می‌شود، ۱٪ انرژی کل سیستم را تشکیل می‌دهد. لذا قرار دادن درب برای دهانه شارژ، تاثیر چندانی در اتلاف انرژی از طریق تشعشع ندارد.

۲- با کاهش دمای شارژ ورودی به کوره از ۱۲۵۰°C به ۱۰۰۰°C، مصرف سوخت حدود ۲۵٪ افزایش می‌یابد.

۳- بررسی تغییر تناژ شارژ ورودی به کوره در دماهای مختلف، نشان داد که تغییر مقدار شارژ در دمای ۱۲۰۰°C، تاثیری بر میزان مصرف سوخت ندارد.

۴- با افزایش دمای گازهای خروجی از کوره آند از ۱۲۵۰°C به ۱۶۵۰°C، مصرف سوخت حدود ۴۷٪ افزایش می‌یابد.

۵- با افزایش اکسیژن از ۲۰٪ تا ۱۰۰٪ در هوای مصرفی، مصرف سوخت لازم در محفظه واکنش حدود ۷۷٪ کاهش می‌یابد.

۶- با افزایش اکسیژن در هوای مصرفی ، حجم هوای مصرفی ۹۰٪ کاهش یافته و سبب کاهش مصرف سوخت می‌گردد.

۷- با پیشگرم هوای احتراقی از ۲۵°C به ۱۱۰۰°C، بیش از ۵۳٪ در مصرف سوخت صرفه‌جویی می‌شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از مدیریت محترم امور تحقیق و توسعه و امور ذوب مجتمع مس سرچشمه و همکاران پر تلاش آنان که در انجام این تحقیق همکاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

مراجع

[1] Antrekowitsh H., Wenzl C., "Pyrometallurgical Refining of Copper in an Anode Furnace", Department of Nonferrous Metallurgy, Austria.

[2] Soltanieh M., Karimi Y., 2005,"Copper reduction in anode furnaces with natural gas", Canadian Metallurgical Quarterly, Vol. 3, pp. 429-434

[۳] حاج‌عبداللهی زهرا، ۱۳۹۰. "شبیه‌سازی جریان گاز طبیعی در کوره‌های آند مجتمع مس سرچشمه" ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

www.SID.ir

Archive of SID

Reduce of Fuel Consumption of Anode Furnace by Air Preheating and Furnace Burner Oxyfuel in Sarcheshmeh Copper Complex

Aida Orumiyeh e[1], Sedigheh Asadi Nejad[2], Seyed Hossein Mansouri[3]

Abstract

In the anode furnace heat is necessary to keep the melt temperature constant, because the energy release due to oxidation process is not enough to offset the heat losses. Study of heat and mass balance to optimize furnace function and the effects of various parameters on the operating conditions of furnace is very important. According to conservative mass and experimental method of material balance, weight percent of material input or output from the furnace is fully determined; by the weight of the components the desired quantities can be measured. Thermal equilibrium based on the principle of conservation of energy and mass balance, that using the Specification phase, the thermal energy of the burner, the wall heat loss and Reactions during the process. This method is widely used in furnace design, calculate material and energy losses, amount fuel and thermal energy to keep melt temperature constant, and suitable charging for the furnace. In this study, the effect of flame temperature of burner in the furnace and the amount of radiation heat transfer to the surface of melting, in several states, including combustion air preheat, oxyfuel burner and replacement of methane instead of gasoil has been studied.

www.Koursh.ir

[1] - M.Sc of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman
[2] - Pyrometallurgical Researcher, R&D Center, Sarcheshmeh Copper Complex, National Iranian Copper Industries Company (N.I.C.I.Co.)
[3] - Professor of Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman

www.SID.ir