کد مقاله: CCI2103

دومین کنفرانس احتراق ایران
بهمن ماه 1386 - مشهد- دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

انجمن احتراق ایران

اثر احتراق بر کاهش مصرف انرژی الکتریکی در کوره‌های قوس الکتریک

محمد مقیمان[1]، احد ضابط[2]، محمد خاوری[3]، سیما کوهی[4]

گروه مهندسی مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد، صندوق پستی 1111-91775
mmoghiman@yahoo.com

چکیده

صنایع آهن و فولاد بزرگترین مصرف‌کننده انرژی در جهان می‌باشند. یکی از روش‌های مهم تولید فولاد، ذوب و پالایش آهن و فولاد قراضه و زائد در کوره‌های قوس الکتریکی است. از ابتدای استفاده از این کوره‌ها، همواره سعی بر آن بوده است که با بکارگیری انرژی حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی و جایگزینی آن بجای انرژی الکتریکی، مقدار مصرف برق در این کوره‌ها به حداقل برسد. در این مقاله انرژی حرارتی، حجم گاز طبیعی و زمان مورد نیاز برای پیش‌گرم کردن هر سبد شارژ قراضه کوره قوس الکتریک مجتمع فولاد خراسان محاسبه گردیده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که استفاده از پیش‌گرم می‌تواند انرژی الکتریکی مورد نیاز کوره را تا 25٪ کاهش دهد. همچنین نتایج نشان می‌دهند که کاربرد روش‌های تزریق اکسیژن، کربن، استفاده از مشعل‌های گاز طبیعی بطور مستقیم در کوره و احتراق ثانویه می‌تواند تا 40٪ انرژی الکتریکی کوره قوس الکتریک را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: کوره قوس الکتریکی - کاهش مصرف انرژی - پیش‌گرم کردن - احتراق

1- مقدمه

بزرگترین مصرف‌کننده انرژی در دنیا صنایع آهن و فولاد است. در سال 1990 حدود 15 درصد انرژی مصرفی جهان در فولادسازی صرف گردیده است[1]. حدود 70 درصد هزینه فولاد سازی، به طور مستقیم و یا غیرمستقیم صرف تامین انرژی می‌گردد. یکی از روش‌های تولید فولاد، ذوب و پالایش آهن و فولاد قراضه (scrap) در کوره‌های قوس الکتریکی (Electric Arc Furnace) یا کوره‌های EAF است. کوره قوس الکتریکی بر اساس کوره هرولد (herould) از طریق ذوب شدن بار کوره توسط قوس الکتریکی ایجاد شده بین الکترودهای گرافیتی و بار فلزی عمل می‌نماید. در گذشته، کوره‌های قوس الکتریکی فقط برای تولید فولاد مخصوص مورد استفاده قرار می‌گرفتند، حال آنکه امروزه این کوره‌ها در سطح وسیع، حتی برای تولید فولادهای معمولی نیز بکار می‌روند. یکی از علل رشد سریع تولید فولاد در کوره‌های قوس الکتریکی بازده بالای این کوره‌ها در تبدیل انرژی الکتریکی به حرارت می‌باشد. ظرفیت کوره می‌تواند از 1 تا 400 تن باشد. البته عمده‌ی کوره‌ها بین70 تا 120 تن ظرفیت دارند[2]. کوره قوس الکتریکی در کنار تولید فولاد ساده کربنی، قابلیت تولید انواع فولادهای با کیفیت را دارد. در این کوره‌ها می‌توان صد در صد قراضه یا آهن اسفنجی (DRI) یا ترکیبی از آنها و مذاب آهن خام استفاده نمود. سهم این کوره‌ها در فولادسازی دنیا روز به روز در حال افزایش است. رشد فولادسازی دنیا در 11 سال اخیر 2.7درصد گزارش شده است در

1- استاد گروه مهندسی مکانیک
2- استادیار گروه مهندسی مواد
3- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک
4- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک

Archive of SID

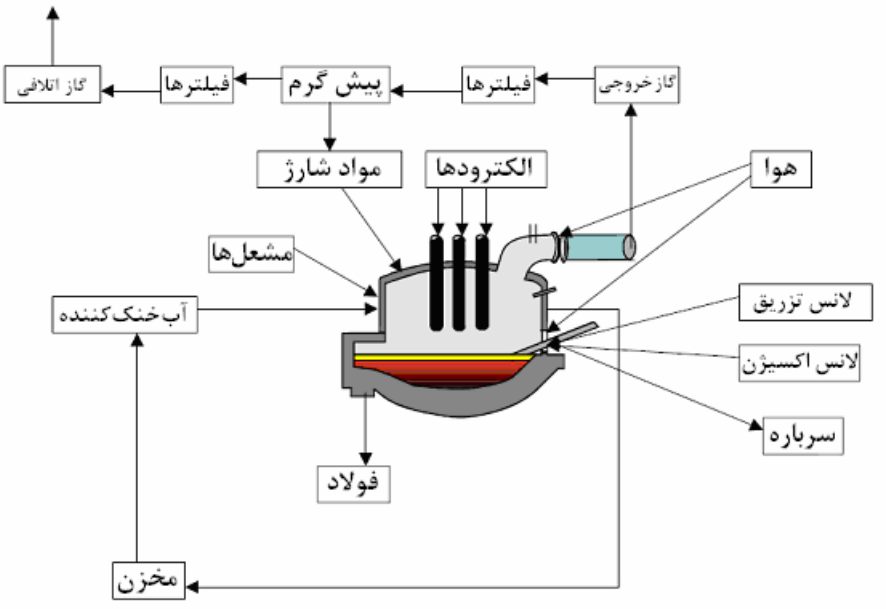
www.SID.ir

حالی که رشد تولید با استفاده از کوره‌های قوس الکتریک 4.1 درصد است[3]. درسال 2005، 359 میلیون تن فولاد با این روش تولید شده است[1]. مصرف انرژی یکی از هزینه‌های اصلی تولید فولاد می‌باشد که با پیشرفت تکنولوژی و بهینه کردن روش‌های تولید، کاهش مصرف انرژی، افزایش تولید و کاهش هزینه سرمایه‌گذاری را به همراه دارد. جدول 1 بهبود شرایط مختلف تولید را در طی ده سال نشان می‌دهد.

جدول 1- بهبود شرایط تولید فولاد در فاصله ده سال

	سال **2002**	سال **1992**
انرژی مصرفی (kwh/ton)	392	450
تولید (ton/h)	94	61
مصرف الکترود گرافیتی (kg/ton)	1/9	2/9
مواد نسوز (kg/ton)	3/1	6/9

مصرف برق در کوره‌های EAF بسیار بالاست، به طوری که در بعضی موارد با مصرف برق یک شهر برابری می‌کند[4]. مهمترین جنبه‌ی پیشرفت در کوره‌های قوس الکتریک ابداع و بکارگیری روش‌های کاهش مصرف برق است. می‌توان ادعا نمود که پیشرفت تکنولوژیکی کوره‌های قوس الکتریک، مترادف با کاهش مصرف برق در آنها بوده است. انرژی مصرفی برای تولید هر تن فولاد در کوره‌های قوس الکتریکی حدود (7.43GigaJoul/ton) است[5]. در واقع، در کوره‌های قوس الکتریکی بیشترین هزینه پس از مواد اولیه به انرژی مربوط می‌شود[2].

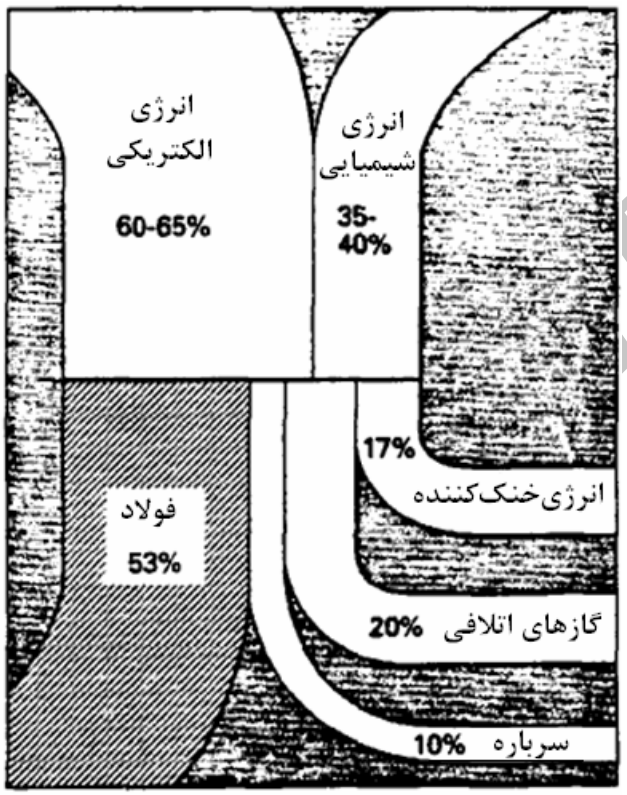


شکل 1- دیاگرام مواد ورودی و خروجی در کوره قوس الکتریک (EAF)

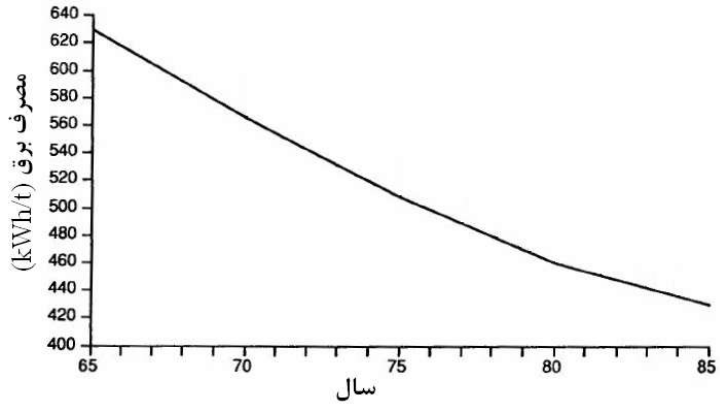
منبع اصلی انرژی در کوره‌های EAF انرژی الکتریکی است، اما از ابتدای استفاده از این کوره‌ها، همواره تلاش شده است که با بکارگیری انرژی شیمیایی و جایگزینی آن بجای انرژی الکتریکی، مقدار مصرف برق در این کوره‌ها به حداقل برسد. انرژی شیمیایی از طریق واکنش‌های متالورژیکی مانند واکنشهای اکسیداسیون عناصر مختلف، واکنشهای احتراق ثانویه و سامانه‌های پیش‌گرم کردن آهن ورودی به کوره با استفاده از احتراق سوخت‌های فسیلی و سایر روشهای طراحی‌شده جهت افزایش سهم

www.SID.ir

انرژی شیمیایی، وارد عمل می‌گردد. در سه دهه‌ی اخیر فرآیند فولادسازی با EAF پیشرفت شگرفی داشته است، بطوریکه در حال حاضر به عنوان یک"ماشین ذوب" با بازده بالا و مصرف کم برق و الکترود مورد توجه فراوان قرار دارد. امروزه، انرژی الکتریکی به عنوان منبع اصلی تامین انرژی در EAF حدود 60 درصد انرژی مورد نیاز را برآورده می‌سازد[5]. در شکل 1 نمای کلی از کوره قوس الکتریکی و برخی از اجزای آن و در شکل 2 دیاگرام انرژی‌های ورودی و خروجی به کوره قوس الکتریک (EAF) نشان داده شده است.



شکل 2- دیاگرام انرژی‌های ورودی و خروجی به کوره قوس الکتریک (EAF)



شکل 3- روند کاهش مصرف برق (انرژی) در کوره‌های قوس الکتریک بر حسب زمان[8].

Archive of SID

www.SID.ir

همانگونه که در شکل 3 نشان داده شده است، با انجام تغییرات پیوسته در طی سه دهه مصرف برق از 630kWh/t به 350kWh/t کاهش یافته است. به عبارت دیگر به ازای هر سال 10kWh/t کاهش مصرف انرژی الکتریکی حاصل گردیده است. همچنین در این سه دهه میانگین 2.3 درصد کاهش مصرف برق نیز در هر سال گزارش شده است[4و6].

هدف این مقاله بررسی و تجزیه و تحلیل پیشرفتهای انجام شده در زمینه استفاده از انرژی حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی بجای بخشی از انرژی الکتریکی مصرف شونده در کوره‌های قوس الکتریک است. در این مطالعه اثر روشهای مختلف از جمله استفاده از مشعل‌های سوخت‌های گاز و مایع، تزریق کربن و اکسیژن برای استفاده از انرژی حاصل از احتراق آنها، ایجاد احتراق ثانویه (Combustion Post) و پیش‌گرم کردن آهن ورودی به کوره بررسی می‌گردد.

2- روش‌های کاربرد احتراق برای کاهش مصرف انرژی در کوره قوس الکتریکی

2-1- پیش گرم کردن آهن ورودی

از مهمترین پژوهش‌هایی که در زمینه‌ی کاهش مصرف برق کوره‌ی قوس الکتریک انجام گرفته است، پیش‌گرم کردن آهن شارژ ورودی به کوره است. پیش‌گرم کردن آهن قراضه همچنین فواید زیست محیطی بسیار دارد و غبار ورودی به بخش فیلتراسیون (Bag house) را ٪20-30 کاهش می‌دهد. این فناوری در ایران تا کنون اجرا نشده است، اما به ویژه در ژاپن و اروپا که هزینه تولید برق بالا می‌باشد، مورد استفاده زیاد قرار گرفته است. پیش‌گرم قراضه به طور معمول با انتقال گازهای داغ به سبد شارژ قراضه از طریق لوله‌هایی که گازهای داغ را به هود مخصوص بالای سبد قراضه وصل می‌کند، انجام می‌شود. منبع این گازهای داغ می‌تواند گازهای داغ خروجی از کوره یا تولید شده بوسیله مشعل‌های گاز طبیعی باشد. پیش‌گرم قراضه بوسیله گاز طبیعی برای اولین بار در سال1960 بوسیله مشعل‌هایی که روی سقف سبد قراضه قرار گرفته بودند، انجام گرفت. در این روش قراضه بین $538\,^{\circ}C$ تا $650\,^{\circ}C$ گرم می‌شود. گرم کردن قراضه تا بیش از $650\,^{\circ}C$ مشکل اکسید شدن قراضه را بوجود می‌آورد. مزیت این نوع پیش‌گرم در مقایسه با استفاده از گازهای داغ خروجی از کوره این است که در این روش، فرآیند پیش-گرم وابسته به عملکرد کوره نیست، در نتیجه کنترل‌پذیری و یکنواخت بودن فرآیند بیشتر است

ظرفیت سبد شارژ کوره شرکت فولاد خراسان 50 تن قراضه است که برای محاسبه انرژی گرمایی مورد نیاز جهت پیش-گرم کردن آن از رابطه زیر استفاده می‌شود[7]:

$$C = (A + B) \times 1.2 \qquad (1)$$

که در آن A گرمای لازم برای گرم کردن مواد (قراضه‌ها) و B تلفات حرارتی در طول گرمایش مواد (هر دو بر حسب وات) می-باشند که به ترتیب از روابط (2) و (3) محاسبه می‌شوند:

$$A = \frac{[Weight\ of\ Material(lbs.)] \times [Specific\ Heat] \times [Temperature\ Rise(^{\circ}F)]}{3.412 \times Heat\ up\ Time(Hours)} \qquad (2)$$

$$B = [Watt\ Loss\ per\ sq.in] \times [Area(sq.in)] \qquad (3)$$

برای محاسبه شار حرارت اتلافی (Q_c) در معادله (3) از فرمول تجربی Langmuir استفاده می‌شود[8]:

$$Q_c = \frac{\phi_2 - \phi_1}{\beta} \qquad (4)$$

Archive of SID

www.SID.ir

که در آن β ضخامت فیلم هواست که برای سطوح عمودی 0.45cm می‌باشد. ϕ نیز فاکتور رسانش حرارتی بوده که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:[8]:

$$\phi(T) = 0.00015\left(\frac{T}{10^3}\right) + 0.46775\left(\frac{T}{10^3}\right)^2 - 0.135\left(\frac{T}{10^3}\right)^3 + 0.025\left(\frac{T}{10^3}\right)^4 \quad (5)$$

گرمای دریافت شده توسط آهن قراضه (A) با استفاده از معادله (2) و با توجه به اینکه حداکثر دمای مجاز آهن قراضه $370\,^{\circ}C$ است، بر حسب زمان پیش‌گرم (t) محاسبه می‌شود. همچنین اگر دمای هوا $27\,^{\circ}C$ فرض شود و دمای سطح برابر با میانگین دماهای ورودی و خروجی گازهای داغ وارد شده به سبد حمل قراضه در نظر گرفته شود، با استفاده از معادله (5) فاکتور رسانش حرارتی در این دو دما محاسبه شده و سپس با استفاده از معادله (4) شار حرارتی اتلافی بدست می‌آید که با ضرب آن در سطح جانبی کوره، تلفات حرارتی (B_1) بدست می‌آید. از طرفی مقداری گرما نیز از سطحی که بالای سبد حمل قراضه قرار می‌گیرد، تلف می‌شود. مقدار این سطح از تفاضل مساحت مجرای ورودی گازهای داغ و سطح روی سبد حاصل می‌شود که با ضرب آن در فاکتور رسانش حرارتی مربوطه در دمای سطح مورد نظر (که برابر با دمای گازهای داغ ورودی به سبد ($650\,^{\circ}C$) می‌باشد)، تلفات حرارتی ثانویه (B_2) بدست می‌آید. در نهایت اتلاف کل حرارت برابر با مجموع B_1 و B_2 خواهد بود. در نهایت انرژی گرمایی مورد نیاز جهت پیش‌گرم کردن سبد شارژ (C) از معادله (1) محاسبه می‌شود.

با توجه به اینکه گازهای خروجی از کوره قوس الکتریکی با دبی $160000\text{m}^3/\text{h}$ و دمای $650\,^{\circ}C$ وارد سبد حمل قراضه شده و آن را با دمای $400\,^{\circ}C$ ترک می‌کنند، با استفاده از معادله (6) مقدار گرمای گرفته شده از گاز محاسبه می‌شود:

$$Q = m\ Cp\ (T_i - T_o) \quad (6)$$

که در آن m دبی حجمی گازهای خروجی است. پس از محاسبه، مقدار این گرما 16200000W بدست می‌آید.

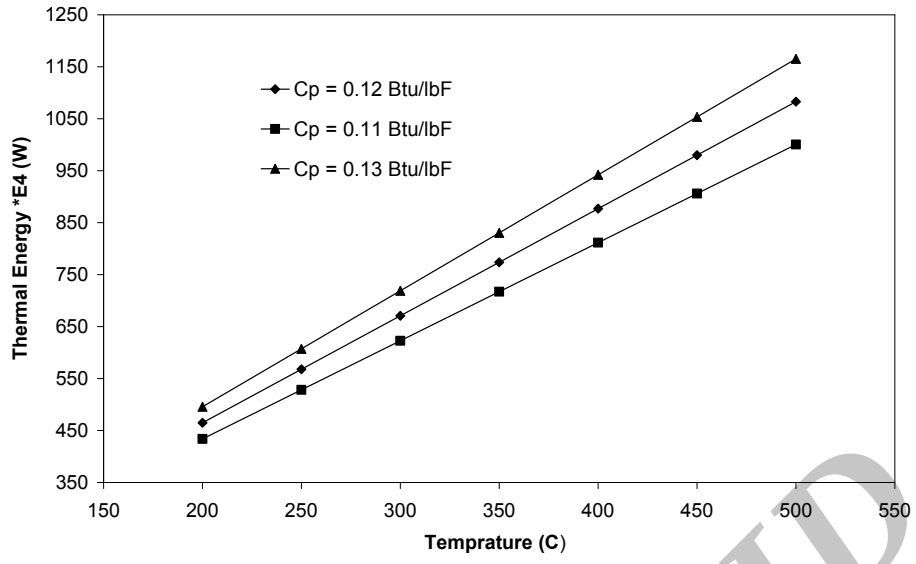
با استفاده از موازنه انرژی و برابر قرار دادن گرمای لازم جهت پیش‌گرم سبد شارژ (C) و مقدار گرمای گرفته شده از گازهای خروجی (Q)، زمان لازم جهت پیش‌گرم قراضه حاصل می‌شود که حدود 27.5 min خواهد بود. به منظور پیش‌گرم 30 دقیقه‌ای سبد شارژ قراضه توسط گاز طبیعی، با استفاده از معادله (1) می‌توان انرژی حرارتی مورد نیاز برای این منظور را محاسبه کرد که تقریبا برابر با 8MW خواهد بود. از آنجا که ظرفیت حرارتی هر متر مکعب گاز طبیعی منطقه خراسان 9200kcal می‌باشد، با در نظر گرفتن راندمان 80٪، میزان حجم گاز طبیعی مورد نیاز برای پیش‌گرم 50 تن قراضه حدود 950m3/h خواهد بود.

شکل 4 تاثیر افزایش دمای پیش‌گرم سه نوع قراضه با گرماهای ویژه متفاوت را بر مقدار انرژی حرارتی مورد نیاز برای پیش‌گرم کردن یک سبد شارژ مجتمع فولاد (50 تن) نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که تغییرات گرمای ویژه انواع فلزات قراضه ورودی به کوره می‌تواند انرژی حرارتی مورد نیاز برای پیش‌گرم را حداکثر 20٪ تغییر دهد.

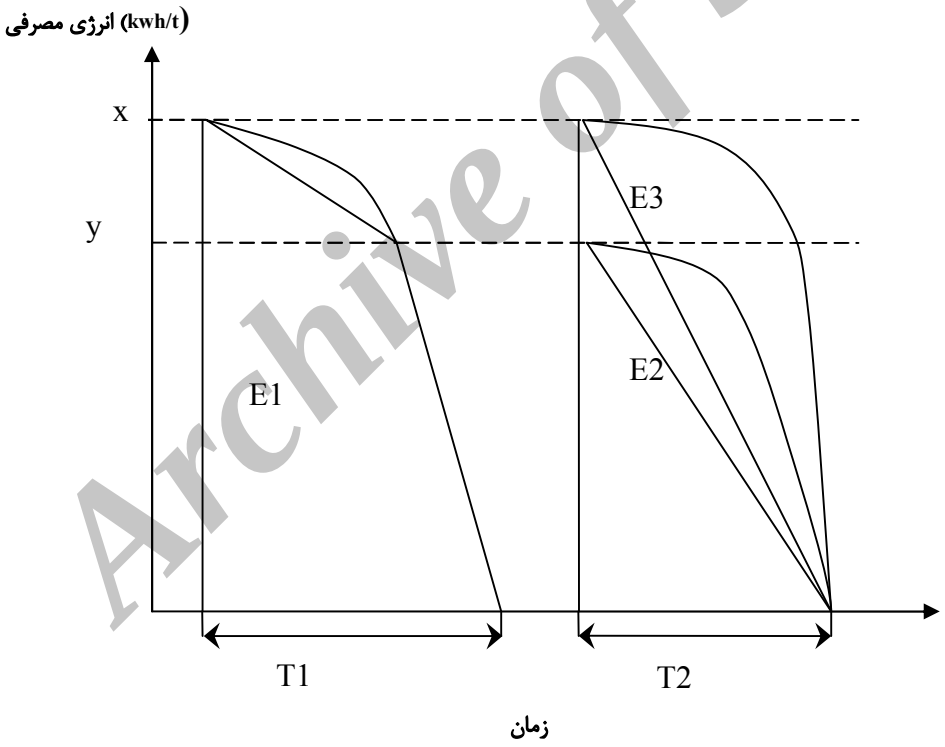
با استفاده از مشعل‌های گازی جهت پیش‌گرم کردن شارژ قبل از ذوب و یا جهت کمک به ذوب شارژ، می‌توان حداکثر نیروی مورد احتیاج اولیه ترانسفورماتور را کاهش داده و " ضریب بار یا مصرف " را پایین آورد. این نظریه در شکل 5 توضیح داده شده است. در این شکل: E1 حرارت قوس الکتریکی به تنهایی، E2 حرارت قوس الکتریکی به اضافه حرارت مشعل، E3 حرارت اضافی مصرف‌شده توسط مشعل‌های سوخت، T1 زمان ذوب با استفاده از قوس به تنهایی و T2 زمان ذوب با استفاده از قوس و مشعل می‌باشند. در شکل 5 در صورت استفاده از قوس الکتریکی به تنهایی، حداکثر هزینه مورد احتیاج بر مبنای کیلو وات ساعت ورودی با x نشان داده شده است. پیش‌گرم کردن شارژ و یا کمک به ذوب شارژ جهت تأمین بخشی از انرژی مورد نیاز برای ذوب می‌تواند حداکثر انرژی مورد نیاز اولیه را به اندازه‌ای که با y نشان داده شده است، کاهش دهد که در اینصورت کیلو وات ساعت الکتریسیته مصرفی نیز تقلیل می‌یابد. اگر انرژی ورودی به طور ثابت حفظ شود، در اینصورت به زمان‌های کوتاهی برای تعویض ولتاژها نیاز است و در نتیجه بر میزان باردهی کوره افزوده می‌گردد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 4- اثر گرمای ویژه و دما بر گرمای مورد نیاز برای پیش‌گرم فلزات ورودی به کوره

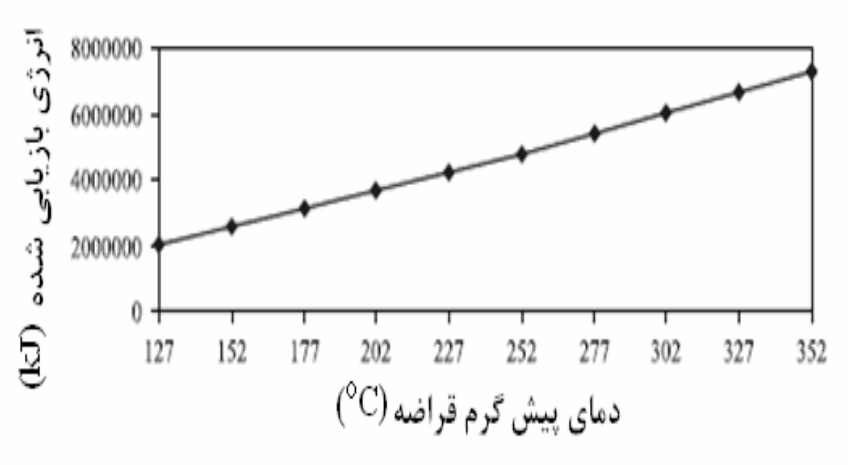


شکل 5- کاهش مصرف انرژی در اثر پیش‌گرم شارژ

شکل 6 مقدار انرژی بازیابی‌شده در کوره EAF بر حسب دمای پیش‌گرم قراضه را نشان می‌دهد[9].

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 6- بازیافت انرژی در کوره‌های قوس الکتریک بر حسب دمای پیش‌گرم شارژ

با توجه به شکل 6 پیش‌گرم قراضه باعث کاهش انرژی مصرفی برای ذوب آن می‌گردد. حداکثر مصرف انرژی در کوره قوس، در آغاز ذوب می‌باشد و در همین فاصله است که مصرف انرژی بخش اساسی و عمدهٔ هزینهٔ تولید را شامل می‌شود.

2-2- مشعل‌های اکسیژن- سوخت[1]

مشعل‌های اکسیژن- سوخت به دلیل مزایای فراوانشان در فولادسازی مورد توجه قرار گرفته‌اند. استفاده از منبع سوخت دوم برای افزایش نرخ ذوب در کوره‌ی قوس الکتریک از طریق بکارگیری سوخت ارزان‌تر منجر به صرفه‌جویی هزینه‌ها و بهبود بازده ترمودینامیکی می‌گردد[10]. مشعل‌های اکسیژن - سوخت عمدتاً با هدف جایگزینی انرژی الکتریسیته مورد استفاده قرار می‌گیرند. مهمتر اینکه بکارگیری مشعل موجب افزایش سرعت ذوب و کاهش زمان ذوب تا ذوب می گردد.. استفاده از مشعل‌ها در ایجاد تعادل گرمایی موثر است. ازجمله، در کوره‌های مافوق‌توان (Ultra high power)، وجود مشعل‌های اکسیژن - سوخت برای افزایش سرعت ذوب قراضه در نقاط سرد کوره و در نتیجه ذوب یکنواخت قراضه ضروری است[11].

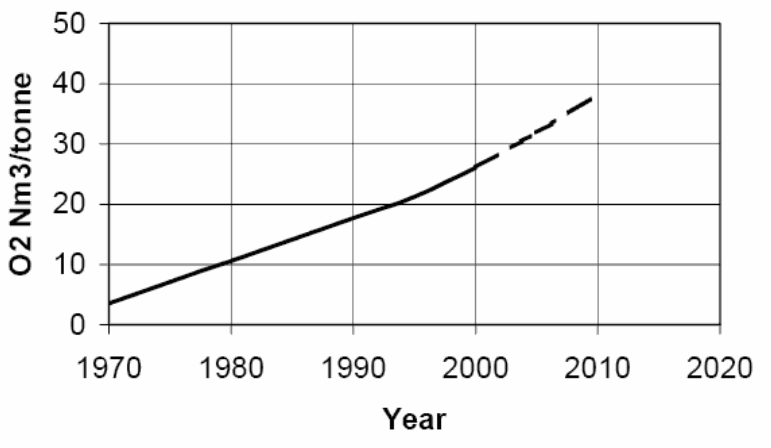
به کارگیری مشعل نیاز به طراحی دقیق، هم از لحاظ فشار و دبی گاز خروجی و هم از حیث موقعیت و زاویه مشعل دارد. مشعل‌ها باید در نقاط سرد کوره قرار بگیرند و به طور خاص یک مشعل روی درب کوره در نظر گرفته شود[6]. زاویه مشعل باید به گونه‌ای باشد که مشعل دچار گرفتگی نشود. موقعیت مشعل‌ها باید در پایین‌ترین نقطه‌ی ممکن قرار داشته باشد تا حداکثر انتقال حرارت رخ دهد[12].

2-3- تزریق اکسیژن و اسفنجی کردن سرباره[2]

استفاده از اکسیژن در کوره‌های قوس الکتریک که در طول پنجاه سال اخیر همواره سیر صعودی داشته است، یک عامل موثر در افزایش بازده و سرعت فرآیند این کوره ها است. در واقع می‌توان یکی از عوامل موثر در پیشرفت کوره‌های قوس الکتریک را افزایش مصرف اکسیژن در آنها دانست. افزایش مصرف اکسیژن به طرق مختلف در کاهش مصرف برق موثر بوده است. مصرف ابتدایی اکسیژن با لانس دستی و از درب سرباره‌گیری بوده است، اما امروزه اکسیژن به روش‌های مختلف از جمله مشعل‌های اکسیژن- سوخت و احتراق ثانویه کاربردهای پیچیده‌تری یافته است. تزریق اکسیژن با افزایش سرعت واکنش‌های اکسایش، زمان ذوب را نیز کاهش می‌دهد[5]. همانگونه که شکل 7 نشان می‌دهد، پیش‌بینی می‌گردد که مصرف اکسیژن در سال 2010 به بیش از $40 Nm^3/t$ برسد[6].

1- Oxy-fuel burners
1- Slag Foaming

Archive of SID
www.SID.ir



شکل 7- منحنی افزایش مصرف اکسیژن در EAF [7]

دو واکنش اصلی ترمودینامیکی که در اثر دمش اکسیژن رخ می‌دهند عبارتند از:

$$Fe+1/2O_2 \longrightarrow FeO+256kJ/mol \quad (1)$$

$$C+1/2O_2 \longrightarrow CO+118kJ/mol \quad (2)$$

از سوی دیگر اکسید آهن موجود در سرباره با کربن شارژ کوره و کربن تزریقی احیا شده و واکنش گرماگیر زیر رخ می‌دهد:

$$FeO+C \longrightarrow Fe+CO-138kJ/mol \quad (3)$$

با توجه به مجموع انرژی آزاد شده واکنش‌های 1 و 2 و کم کردن گرمای لازم برای واکنش 3 ملاحظه می‌گردد که حداکثر گرمای ایجاد شده به ازای هر Nm^3 اکسیژن، تنها 3kWh خواهد بود. اهمیت گرمای تولیدی در اثر دمش اکسیژن، در کاهش مصرف انرژی الکتریسته لازم برای واکنش 3 است. اکسیژن علاوه بر کربن زدایی و احتراق ثانویه بر همگنی دما و ترکیب نیز موثر است[11]. مونوکسیدکربن تولیدی در به حداقل رساندن جذب نیتروژن و خروج هیدروژن از مذاب کمک می‌کند[5].

4-2- احتراق ثانویه[1]

از لحاظ ترمودینامیکی نسبت تعادلی CO/CO_2 در فولاد مذاب حتی در مقدار کم کربن، مهم است ومقدار مونوکسیدکربن قابل اشتعال که از دودکش خارج می‌شود باید مورد توجه قرار گیرد. با توجه به واکنش‌های زیر:

$$C+1/2O_2 \longrightarrow CO+102.8kJ/mol \quad (4)$$

$$CO+1/2O_2 \longrightarrow CO_2+283.8kJ/mol \quad (5)$$

ملاحظه می‌شود که اگر بتوان مونوکسیدکربن خروجی را سوزاند، تقریباً سه برابر واکنش تشکیل مونوکسیدکربن از کربن و اکسیژن، انرژی آزاد می گردد. سوزاندن مونوکسیدکربن در سطح آزاد روی مذاب به عنوان احتراق ثانویه شناخته می گردد. انرژی حاصل از تزریق کک در کوره در بهترین حالت 25kWh/t است، اما اگر تمام مونوکسیدکربن کوره به دی‌اکسیدکربن

2- Post Combustion

Archive of SID
www.SID.ir

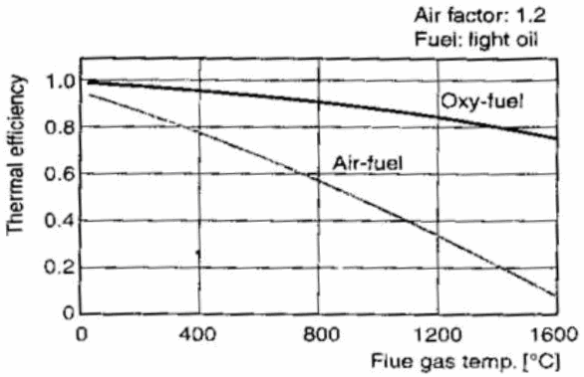
تبدیل شود مقدار 140 kWh/t انرژی آزاد خواهد شد[13]. بدین ترتیب بازده انرژی افزایش یافته و حجم گاز خروجی نیز کاهش می‌یابد[14].

میزان احتراق ثانویه به صورت نسبت $PCD=CO_2/(CO+CO_2)$ تعریف می‌گردد. این نسبت همواره بزرگتر از صفر است. مقدار صرفه‌جویی انرژی حاصل از احتراق ثانویه 3-5 kWh/Nm^3O_2 است و می‌تواند از روش‌های نسبتاً ساده‌ای مانند تزریق اکسیژن با سرعت ثابت، از راه مشعل‌های اکسیژن - سوخت در مدت زمان ثابت و یا با بکارگیری مشعل با نسبت اکسیژن به سوخت بیشتر از حالت استوکیومتری حاصل گردد[13]. بازیابی حرارتی 60 تا 75 درصد از احتراق ثانویه مناسب بوده و به معنای 3.8-4.7kWh/Nm^3O_2 کاهش مصرف برق است. البته در شرایط عادی، بکارگیری احتراق ثانویه به میزان 10Nm^3/t اکسیژن محدود می‌شود.

5-2- پیش‌گرم پاتیل با مشعل اکسیژن- سوخت

پیش گرم کوره‌ی پاتیلی به عنوان راهی برای صرفه‌جویی انرژی از سال‌ها قبل مطرح بوده و به طور معمول انجام می‌گرفته است[10]. اما استفاده از مشعل اکسیژن - سوخت به جای مشعل هوا - سوخت به دلیل افزایش بازده و کاهش تلفات انرژی و ماده، موثرتر است. علت اصلی این افزایش بازده، دمای بیشتر شعله مشعل اکسیژن - سوخت است. علت دیگر کاهش تلفات این است که بیشتر تشعشع گرمایی در مشعل از تابش ملکول‌های دی‌اکسیدکربن و آب است و نیتروژن تشعشع گرمایی کمتری دارد. در مشعل اکسیژن - سوخت، فشار جزیی دی‌اکسیدکربن و آب بالاتر بوده و انتقال حرارت از طریق تشعشع گاز زیاد می‌شود. از طرف دیگر حجم چند برابر گاز تولید شده در شرایط استفاده از هوا موجب کاهش شدید دما می‌گردد. وجود نیتروژن نیز مانع از رسیدن و تماس موثر اکسیژن با سوخت شده و در کاهش دمای شعله موثر است.

از دیگر مزایای مشعل اکسیژن - سوخت می‌توان به افزایش دمای شعله، مصرف سوخت کمتر، بهبود انتقال حرارت و احتراق موثرتر و سریع‌تر، حجم جریان گاز کمتر و در نتیجه گاز خروجی کمتر و کاهش انتشار ترکیبات مضر نیتروژنی اشاره نمود. با استفاده از مشعل اکسیژن - سوخت به جای مشعل هوا - سوخت، زمان کار در پاتیل تا 20 دقیقه و دمای ریختن تا 15 درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد و 5-6kWh/t در انرژی صرفه‌جویی می‌شود[14]. یکی از مهم‌ترین ویژگیهای مشعل اکسیژن سوخت بازده حرارتی بسیار زیاد حتی در دماهای بالای گاز خروجی و بدون پیش‌گرم کردن سوخت و اکسیژن است. تفاوت بازده حرارتی هوا و اکسیژن در سوختن در شکل 8 دیده می‌شود. مشاهده می‌گردد که در هر دمایی بازده احتراق اکسیژن - سوخت نسبت به هوا - سوخت بیشتر است[13]. یکی از علل اصلی بازده کم هوا - سوخت، حتی با دمای کمتر گاز خروجی، حجم بیشتر گاز گرم خارج شده به دلیل وجود نیتروژن است[15].



شکل 8- مقایسه بازده حرارتی مشعل اکسیژن - سوخت با مشعل هوا - سوخت[12].

Archive of SID

3- نتیجه‌گیری

کاربرد انرژی شیمیایی بجای انرژی الکتریکی در کوره‌های قوس الکتریک همواره از اهداف اصلی محققین بوده است. در این مقاله نقش احتراق در کاهش مصرف الکتریسیته در کوره‌های قوس الکتریک مورد مطالعه و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در این ارتباط انرژی حرارتی، زمان لازم و حجم گاز طبیعی مورد نیاز برای پیش گرم آهن سبد شارژ قراضه ورودی به کوره قوس الکتریکی مجتمع فولاد خراسان به ظرفیت 50 تن محاسبه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده برای پیش گرم آهن ورودی و همچنین تجزیه و تحلیل روش های مختلف کاهش انرژی مصرفی کوره قوس الکتریک می توان نتایج زیر را استخراج کرد:

- استفاده از پیش گرم آهن ورودی به کوره قوس الکتریک می تواند تا 25٪ مصرف انرژی الکتریکی آن را کاهش دهد.
- نوع فلزات ورودی به کوره قوس الکتریک بر انرژی حرارتی مورد نیاز برای پیش‌گرم کردن موثر است و می‌تواند تا 20٪ گرمای لازم را تغییر دهد.
- استفاده از ترکیب روش های تزریق کربن و اکسیژن، ایجاد احتراق ثانویه، نصب مشعل های گاز طبیعی در کوره و همچنین پیش گرم کردن آهن، قبل از ورود به کوره می تواند است مصرف انرژی الکتریکی کوره را تا 40٪ کاهش دهد، بطوریکه مصرف برق این کوره ها برای تولید هر تن فولاد از 630kWh که در ابتدای طراحی این کوره ها استفاده می گیدید، به 350kWh کاهش پیدا کند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از شرکت مجتمع فولاد خراسان برای حمایت‌های فنی و مالی این تحقیق تشکر و قدردانی می‌نمایند.

مراجع

1- Hamy, M. et al., "Electric Arc Furnace Productivity: A Never Ending Story", Badische Stahlwerke Gmb.
2- Crompton, P., "The Diffusion of new steelmaking technology", Resources Policy, 2001, Vol.27, pp87-95.
3- Cantacuzene, S. et al., "Advanced EAF oxygen usage at Saint-Saulve steelworks", Iron making and Steelmaking, 2005, VOL.32, NO.3, pp203-207.
4- Boyd, G., Karlson, S. H., Neifer, M., Ross, M., "Energy intensity improvement in minimills", Contemporary policy issues, Jul. 1993, Vol.11, No.3, pp. 88-100.
5- CMP Report, "Electric Arc Furnace Steelmaking", 1985, Vol.1, No.3.
6- De Beer, J., Worrell, E. t. Blok, K., "Future technologies for energy efficient iron and steel making", Annu. Rev. Energy Environ., 1998, Vol.23, pp.123–205.
7- "Process Heating Engineering Data and Application Design Considerations", Dalton Electric Heating Co.
8- Butts, Allison "Metallurgical Problems, Energy and Scrap Optimization of Electric Arc Furnaces by Statistical Analysis of Process Data", Erik Sandberg.
9- Bisio, G., Rubatto, G., Martini, R., "Heat transfer, energy saving and pollution control in UHP electric-arc furnaces", Energy, 2000, No. 25, pp.1047-1066.
10- Ho, J.C. Chandratilleke, T.T. "Thermodynamic analysis of an electric arc furnace", Energy Cons. Mgmt., Vol.31, No.2, pp.179-186.
11- Jiemin Tang et al., "EAF technology evolution by continuous charging", Iron making and Steelmaking, 2005, Vol.32, No.3, pp191-194.
12- Brhel Jaroslav, et al., "An improved method of applying chemical energy into the EAF", AIR PRODUCTS and NUCOR STEEL.
13- Scheele, J.V., "The electric arc furnace process: towards an electricity consumption below200kwh/t", Scandinavian Journal of Metallurgy, 1999, Vol.28, pp.169-177.
14- Trenkler, H., "Energy-saving DC twin shell arc furnace for melting low-grade scrap", ABB Review, 1996, No.9-10, pp.18-27.
15- Ho, J.C. Chou, S.K. Chandratilleke, T.T., "Energy audit of a steel mill", Energy Vol.16, No.7, pp.1021-1991.

Archive of SID

www.SID.ir