

بررسی تأثیر ترکیب شیمیایی مواد کربنی بر مصرف انرژی کوره قوس الکتریکی مجتمع صنعتی فولاد خراسان

دکتر احد ضابط^۱، امیر شاه پسندی^۲

چکیده:

کربن در کوره قوس، از طریق واکنش‌های شیمیایی داخل مذاب و احتراق ثانویه، می‌تواند بخشی از انرژی الکتریکی مورد نیاز برای ذوب و تصفیه فلز را تأمین کند. افزودن کربن به شارژ کوره سبب افزایش تولید گاز CO، پفکی شدن سرباره، کاهش مصرف برق و بهبود راندمان فرآیند می‌شود. در این پروژه تأثیر کیفیت مواد کربنی بر میزان انرژی مصرفی از دیدگاه ترمودینامیکی، با استفاده از داده‌های مربوط به کوره قوس الکتریکی مجتمع صنعتی فولاد خراسان توسط نرم افزار FACT SAGE بررسی شد. با افزایش خاکستر کک از ۱۲/۷۵ تا ۲۴/۷۵ درصد اگر مقدار کک ورودی تغییر نکند انرژی مصرفی ۱/۳ درصد افزایش می‌یابد. افزایش خاکستر کربن تزریقی از ۳/۸ تا ۲۷/۸ درصد، انرژی مصرفی را ۰/۹ درصد افزایش می‌دهد. اگر درصد LOI کربن تزریقی از ۱/۵ تا ۹/۵ درصد تغییر کند در صورتی که مقدار کربن تزریقی تغییر نکند انرژی مصرفی ۰/۴ درصد افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: کوره قوس الکتریکی، موازنه جرم و انرژی، بهینه‌سازی مصرف انرژی، مواد کربنی، کک، کربن تزریقی

^۱ - استادیار - دانشکده مهندسی مواد - دانشگاه فردوسی مشهد

^۲ - کارشناس ارشد مهندسی مواد - دانشگاه فردوسی مشهد

مقدمه

در حالیکه تقاضای انرژی هر روز در جهان در حال افزایش است، تغییر الگوی مصرف و راه‌های به کارگیری انرژی در دنیای امروز برای پیشرفت اقتصادی کشورها اهمیت حیاتی دارد. نیاز به کارخانه‌های کوچک فولاد سازی جهت تولید فولادهای مخصوص و یا با کیفیت برتر، کاهش سرمایه گذاری اولیه، تعدیل هزینه‌های تولید، کاهش آلودگی زیست محیطی، افزایش تولید قراضه در سال‌های آتی و انعطاف‌پذیری این کوره‌ها در شارژ مورد استفاده و... باعث گسترش و پیشرفت روز افزون کوره‌های قوس الکتریکی در صنعت فولاد سازی کشور شده است [۱].

بزرگترین مصرف کننده انرژی در دنیا صنایع آهن و فولاد است. در برخی از کشورها همانند سنگاپور بزرگترین مصرف کننده برق، کوره‌های قوس الکتریکی هستند [۲]. در کوره‌های قوس الکتریکی بیشترین هزینه پس از مواد اولیه به انرژی مربوط می‌شود [۳]. انرژی در کوره قوس الکتریکی به دو طریق تأمین می‌شود: ۱- انرژی الکتریکی ۲- انرژی شیمیایی. انرژی الکتریکی به عنوان منبع اصلی تأمین انرژی در کوره قوس الکتریکی حدود ۶۰ درصد انرژی مورد نیاز را برآورده می‌سازد [۴]. انرژی شیمیایی نیز یا از طریق واکنش‌های متالورژیکی مانند واکنش‌های اکسیداسیون عناصر مختلف و یا واکنش‌های احتراق ثانویه طراحی شده جهت افزایش سهم انرژی شیمیایی و کاهش تلفات در تأمین گرمای لازم وارد عمل می‌شود. مهمترین جنبه پیشرفت در کوره‌های قوس الکتریکی ابداع و به کارگیری روش‌های کاهش مصرف برق است. می‌توان ادعا نمود که پیشرفت تکنولوژیکی کوره‌های قوس الکتریکی، مترادف با کاهش مصرف برق در آنها بوده است. در سه دهه اخیر فرآیند فولاد سازی به روش قوس الکتریکی پیشرفت شگرفی داشته است به طوری که امروزه به عنوان یک ماشین ذوب با بازده بالا و مصرف کم برق و الکتروود مورد توجه فراوان قرار دارد. از ابتدای استفاده از این کوره‌ها، همواره سعی بر آن بوده است که با به کارگیری انرژی حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی و واکنش‌های شیمیایی مربوط به عناصر و جایگزینی آن‌ها بجای انرژی الکتریکی، مصرف برق در این کوره‌ها به حداقل برسد [۱]. از این رو کربن نقش بسزایی را در این رابطه خواهد داشت. کربن در سه بخش به عنوان عامل مؤثر و اجتناب ناپذیر در کاهش مصرف انرژی الکتریکی کوره‌های قوس الکتریکی مطرح می‌شود:

- ۱) واکنش کربن موجود در کوره با اکسیژن که انرژی زیادی آزاد می‌کند.
 - ۲) سرباره پفکی: ایجاد سرباره پفکی از اقتصادی ترین و در عین حال مفیدترین عامل‌ها در کاهش مصرف انرژی است.
 - ۳) احتراق ثانویه: سوزاندن CO روی سطح مذاب می‌باشد، هدف آن کاهش هزینه و افزایش راندمان کوره قوس است.
- یک نرم افزار کامپیوتری تخصصی این امکان را فراهم می‌آورد تا در کوتاهترین زمان و با حداقل هزینه، تحولات ایجاد شده در فرآیند بر اثر تغییر اعمالی تجزیه و تحلیل شود و از این‌توطیه‌ی ضرورت تقلیل مصرف انرژی و افزایش روز افزون نیاز به محصولات صنعتی راه‌های کاهش مصرف انرژی و افزایش کیفیت محصول را برآورده کرده و میزان کارآیی اصلاحات مختلف ایجاد شده بر روی فرآیند فولاد سازی را پیش بینی کند [۵]. نرم افزارهای بسیاری تا کنون درباره موازنه جرم و انرژی در هکس‌قوید فولاد در جهان ساخته شده و مورد استفاده قرار گرفته است. این نرم افزارها معمولاً قابل استفاده برای هر کارخانه خاص بوده و بر حسب طبیعت مواد و تکنولوژی مورد استفاده با هم تفاوت دارند. این پروژه، از نرم‌افزار FACT SAGE برای پیش‌بینی رفتار کوره استفاده می‌شود. نرم افزار مربوطه، نرم افزار ترمودینامیکی قوی است که قادر به محاسبات موازنه جرم و انرژی و پارامترهای کوره قوس است. همچنین محاسبات بر

اساس اطلاعات عملی کوره قوس الکتریکی مجتمع فولاد خراسان می باشد.

مواد و روش تحقیق

به منظور بررسی شرایط ترمودینامیکی کوره قوس الکتریکی مجتمع صنعتی فولاد خراسان اطلاعات مربوط به یک فرآیند ذوب یادداشت گردید. در این مجتمع از دو نوع کک با ترکیب متفاوت استفاده می شود. کک شارژ و همچنین کک جهت تزریق برای رسیدن به سرباره پفکی که این نوع کک طبیعتاً دلیتری دارد همچنین کیفیت بهتری خواهد داشت. این نوع کک را با نام کربن تزریقی استفاده می کنند. علاوه بر این مواد ورودی به کوره شامل آهن قراضه و آهن اسفنجی به عنوان ماده آهن دار، آهک، دولومیت به عنوان ماده سرباره ساز می باشند که برای تولید فولاد St-50 مورد استفاده قرار گرفتند. در ابتدای فرآیند قراضه توسط یک سبد ۳۰ تنی به داخل کوره شارژ گردید و سپس سقف کوره بسته و سایر مواد ورودی از جمله آهن اسفنجی به میزان ۸۰ تن، آهک به میزان ۴/۹ تن، دولومیت به میزان ۳/۹ تن و کک به میزان ۱/۷ تن از طریق محفظه تعبیه شده روی سقف، وارد کوره شد. آهن اسفنجی با نرخ مشخصی از ابتدا تا انتهای ذوب به کوره شارژ و بلافاصله پس از قوس، آهک و دولومیت همراه با آهن اسفنجی وارد کوره شدند. اکسیژن و کربن تزریقی نیز به ترتیب به میزان 2478 Nm^3 و ۵۰۰ کیلوگرم جهت پفکی کردن سرباره به کوره تزریق شد. در آخرین مرحله آنالیز مذاب انجام شد و نظر به اینکه مقدار عناصر در نمونه مذاب در حد استاندارد بود، جهت تخلیه مذاب اندازه گیری دما صورت گرفت. دمای تخلیه در این ذوب 1620°C می باشد. همچنین جهت بررسی کمی و کیفی ذوب مربوطه در آخرین مرحله، از سرباره جهت آنالیز نمونه گیری شد. در این مجتمع آنالیز مذاب و قراضه توسط روش کوانتومتری و آنالیز سایر مواد ورودی مانند: کک شارژی، کک تزریقی، آهک، دولومیت و آهن اسفنجی توسط روش شیمی تر انجام می شود. همچنین آنالیز سرباره نیز توسط روش شیمی تر صورت می گیرد. تمامی آنالیزها در خود مجتمع صورت گرفت. الکتروود در حین فرآیند ذوب تدریجاً مصرف می شود که مقدار آن در شرایط کارخانه و بازه زمانی ثبت اطلاعات 3 kg/ton است که در نتیجه به ازای این ذوب ۱۰۰ تنی ۳۰۰ کیلوگرم الکتروود مصرف خواهد شد. همچنین در این بازه زمانی ۳/۵ کیلوگرم نسوز به ازای هر تن مذاب مصرف می شد. نسوز کوره منیزیت-کربنی می باشد که ۱۰٪ آن کربن و ۹۰٪ آن MgO است. در نتیجه به ازای این ذوب ۱۰۰ تنی، ۳۵۰ کیلوگرم نسوز مصرف می شود از این رو ۳۵ کیلوگرم کربن و ۳۱۵ کیلوگرم MgO در نتیجه مصرف نسوز وارد کوره می شود.

آنالیز مذاب به صورت جدول ۱، می باشد.

جدول ۱. آنالیز نمونه مذاب

عنصر	Fe	S	P	Si	Mn	C
درصدوزنی	۹۹/۷۶	۰/۰۵۳	۰/۰۳۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۴۸	۰/۰۸۱

آنالیز سرباره به صورت جدول ۲، می باشد.

جدول ۲. آنالیز نمونه سرباره

FeO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	ترکیب
۱۵	۱۶/۲	۴۴/۲	۱۳/۵	۹/۲	۰/۸	درصد وزنی

کل مواد ورودی به کوره قوس الکتریکی برای فرآیند ذوب بررسی شده در این پروژه به صورت زیر می باشد:

جدول ۳. وزن کل عناصر و ترکیبات ورودی به کوره

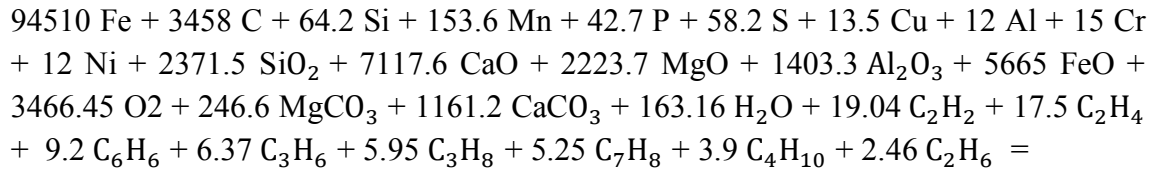
Fe	C	Si	M	P	S	مواد ورودی
۹۴۵۱۰	۳۴۵۸	۶۴/۲	۱۵۳/۶	۴۲/۷	۵۸/۲	وزن (kg)
Cu	Al	Cr	Ni	SiO ₂	CaO	مواد ورودی
۱۳/۵	۱۲	۱۵	۱۲	۲۳۷۱/۵	۷۱۱۷/۶	وزن (kg)
CaCO ₃	MgCO ₃	FeO	Al ₂ O ₃	MgO	O ₂	مواد ورودی
۱۱۶۱/۲	۲۴۶/۶	۵۶۶۵	۱۴۰۳/۳	۲۲۲۳/۷	۳۲۴۵	وزن (kg)
C ₆ H ₆	C ₃ H ₆	C ₃ H ₈	C ₇ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₂ H ₆	مواد ورودی
۹/۲	۶/۳۷	۵/۹۵	۵/۲۵	۳/۹	۲/۴۶	وزن (kg)
			H ₂ O	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	مواد ورودی
			۱۶۳/۱۶	۱۹/۰۴	۱۷/۵	وزن (kg)

نتایج و بحث

به منظور بررسی تغییرات پارامترهای فرآیند ذوب با تغییر ترکیب و مقدار مواد کربنی، باید ابتدا موازنه جرم برای فرآیند انجام شود، این محاسبه توسط نرم افزار مربوطه صورت می گیرد. عناصر و ترکیبات ورودی به کوره قوس الکتریکی در جدول ۳، ثبت شده است. شرایط اولیه مواد ورودی برای انجام محاسبات را دمای °C ۲۵ و فشار ۱ atm در نظر می گیریم. دمای تخلیه این ذوب را °C ۱۶۲۰ و فشار نهایی را ۱ atm لحاظ می کنیم.

اگر ترکیب مذاب به دست آمده در موازنه انجام شده توسط نرم افزار با نمونه آنالیز شده، مقایسه شود، مشاهده می شود که میزان کربن مذاب به دست آمده در این موازنه نسبت به نمونه آنالیز شده بالاتر می باشد. کربن در نمونه آنالیز شده ۰/۰۸ درصد می باشد، در حالی که درصد کربن در ترکیب نمونه که در موازنه نرم افزار به دست آمده است ۰/۱۳ درصد می باشد. همچنین در آنالیز سرباره مربوط به نرم افزار مقدار FeO بسیار پایین تر از مقدار واقعی است. علت این تفاوت در این است که همراه مواد اولیه ورودی به کوره رطوبت وجود دارد، همچنین مقداری اکسید آهن همراه قراضه وارد کوره می شود که باعث تولید اکسیژن خواهد شد، علاوه بر این با تلاطم مذاب هم مقداری اکسیژن وارد کوره می شود، از طرفی حجم زیادی هوا از طریق درب سرباره گیری وارد کوره می شود. از این رو باید مقدار اکسیژن ورودی در موازنه را افزایش داد، به عبارتی ترکیب مذاب را با اکسیژن موازنه کرد.

اگر مقدار اکسيژنی که از رطوبت مواد، اکسيد آهن و ... وارد کوره می شود را $221/45 \text{ Nm}^3$ در نظر بگيريم ترکیب گاز خروجی، مذاب و سرباره که توسط نرم افزار ارائه می شود به صورت زیر خواهد شد:



45739	litre (1620 °C, 1 atm)	Gas		
	(96.069	Vol% CO	FACT
	+	1.9874	Vol% CO ₂	FACT
	+	1.340	Vol% C ₂ H ₄	FACT
	+	0.31957	Vol% C ₂ H ₆	FACT
	+	0.27894	Vol% C ₃ H ₆	FACT
	+	4.6338E-03	Vol% C ₂ H ₂	FACT
	+	2.5126E-05	Vol% C ₃ H ₈	FACT
	+	2.3228E-05	Vol% C ₄ H ₁₀	FACT)

97197	gram (1620 °C, 1 atm)	Fe-liq		
	(99.72	Wt.% Fe	FACT
	+	0.7598E-06	Wt.% Al	FACT
	+	0.81107E-01	Wt.% C	FACT
	+	0.57499E-08	Wt.% Ca	FACT
	+	0.15433E-01	Wt.% Cr	FACT
	+	0.13889E-01	Wt.% Cu	FACT
	+	0.53744E-01	Wt.% Mn	FACT
	+	0.12346E-01	Wt.% Ni	FACT
	+	0.43931E-01	Wt.% P	FACT
	+	0.59878E-01	Wt.% S	FACT)

17044	gram (1620 °C, 1 atm)	Slag liquid		
	(13.826	Wt.% MgO	FACT
	+	14.464	Wt.% FeO	FACT
	+	0.76788	Wt.% MnO	FACT
	+	16.01	Wt.% SiO ₂	FACT
	+	45.605	Wt.% CaO	FACT
	+	8.7182	Wt.% Al ₂ O ₃	FACT
	+	0.60816	Wt.% Fe ₂ O ₃	FACT)

Delta H (kWh)	Delta G (kWh)	Delta V (litre)	Delta S (kWh/K)	Delta Cp (kWh/K)
4.64111E+01	-1.07324E+02	4.29922E+04	6.10007E-02	1.44905E-02

بررسی تأثیر ترکیب شیمیایی ...

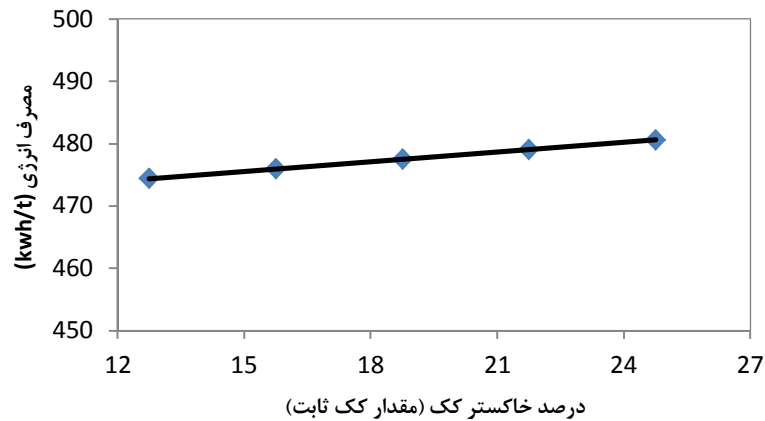
با این شرایط ترکیب مذاب و سرباره مشابه با نمونه آنالیز شده می‌باشد. میزان مصرف انرژی برای این حالت $46/41 \text{ kWh}$ می‌باشد که این مقدار برای 97197 گرم مذاب به دست آمده است لازم به توضیح است که در نرم افزار مربوطه هر گرم معادل یک کیلوگرم، هر ژول معادل یک کیلوژول و هر لیتر معادل یک متر مکعب می‌باشد. در نتیجه این عدد در 1000 ضرب می‌شود تا مقدار انرژی لازم برای 97197 کیلوگرم مذاب مشخص شود. در این صورت مصرف انرژی به ازای هر تن مذاب تولیدی $477/48 \text{ kWh}$ می‌باشد. انرژی مصرفی واقعی کوره برای ذوب مربوطه 642 kWh/t ثبت شده بود. انجام محاسبات بر اساس این ذوب صورت می‌گیرد از این رو ترکیب مذاب و سرباره این ذوب را به عنوان ذوب مبنا قرار می‌دهیم. بنابراین درصد کربن ذوب مبنا برابر $0/08$ درصد و بازیسته آن $2/41$ می‌باشد. جهت بررسی نقش مواد کربنی بر پارامترهای کوره قوس، هر گونه تغییر در ترکیب مذاب و سرباره باید جبران شود تا ترکیب مذاب و سرباره حالت مبنا حاصل شود.

بررسی تأثیر خاکستر کک

هر چه میزان خاکستر کمتر باشد، کیفیت کک افزایش یافته و مقدار کربن ثابت کک و کربن مذاب نیز افزایش می‌یابد در نتیجه برای کاهش کربن مذاب و رسیدن به مقدار کربن مذاب حالت مبنا، باید اکسیژن افزایش یابد تا ترکیب مذاب حالت مبنا حاصل گردد. همچنین با کاهش خاکستر باید مقدار مواد سرباره ساز مانند آهک و دولومیت را کاهش داد تا به بازیسته حالت مبنا رسید. در اینجا صرفاً با تغییر آهک موازنه حاصل خواهد شد و نیازی به تغییر دولومیت نمی‌باشد هرچند که در صورت موازنه نشدن MgO ، می‌توان دولومیت را هم تغییر داد. از این رو مقدار سرباره کاهش می‌یابد و مصرف انرژی نیز کاهش خواهد یافت. درصد خاکستر در کک ورودی $18/75$ درصد می‌باشد. با فرض ثابت بودن کک مصرفی این مقدار را از $12/75$ تا $24/75$ تغییر داده و محاسبات توسط نرم افزار انجام می‌شود.

تحت این شرایط، آهک مصرفی 400 کیلوگرم یعنی حدود $8/5$ درصد افزایش یافته است. در نتیجه سرباره بیشتری تولید می‌شود. با افزایش 12 درصدی خاکستر افزایش $3/7$ درصدی در تولید سرباره مشاهده می‌شود. از طرفی با افزایش مقدار سرباره حجم قابل استفاده برای فولادسازی کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه وزن مخصوص فولاد $6/8$ گرم به ازای سانتیمتر مکعب و سرباره $2/7$ گرم به ازای سانتیمتر مکعب می‌باشد [۶]، بدیهی است که تولید 618 کیلوگرم سرباره اضافی در اثر افزایش خاکستر، $0/22$ متر مکعب حجم کوره را اشغال می‌کند. حال اگر همین حجم می‌توانست جز فضاهای مورد استفاده کوره باشد، تولید 1556 کیلوگرم مذاب بیشتر امکان پذیر بود.

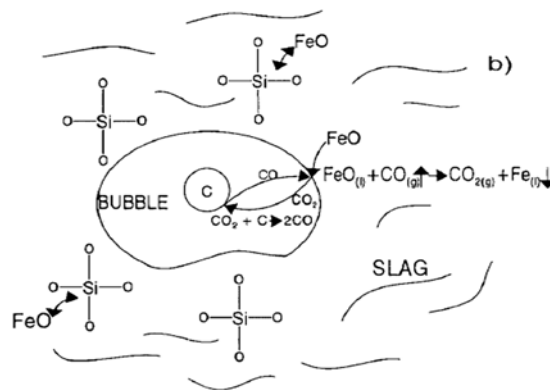
همچنین با افزایش سرباره تلفات آهن در آن به صورت FeO افزایش می‌یابد، از این رو وزن مذاب اندکی کاهش خواهد یافت. با افزایش خاکستر کک از یک طرف واکنش کربن با اکسیژن در داخل مذاب کاهش می‌یابد، زیرا وجود خاکستر سبب ایجاد یک سد فیزیکی شده و مانع تماس مستقیم مذاب با ماده کربنی می‌گردد [۷]. در نتیجه انرژی آزاد شده از اکسایش ماده کربنی کاهش می‌یابد. از طرف دیگر بواسطه این امر CO کمتری ایجاد شده که بالطبع بر روی فرآیند پفکی شدن تأثیر خواهد داشت. همچنین خاکستر بیشتر مستلزم استفاده از مواد سرباره ساز بیشتر خواهد بود. با توجه به موارد ذکر شده، مشاهده می‌شود که افزایش 12 درصدی خاکستر کک (مقدار ماده کربنی ثابت است). سبب افزایش $1/3$ درصدی انرژی مصرفی می‌شود. شکل ۱، تغییرات انرژی مصرفی با درصد خاکستر کک را نشان می‌دهد.



شکل ۱. تغییرات مصرف انرژی با تغییر درصد خاکستر کک (مقدار کک ثابت)

بررسی تأثیر خاکستر کربن تزریقی

خاکستر یکی از مهمترین عوامل در مرغوبیت مواد کربنی می باشد. خاکستر مواد کربنی به طور کلی از سیلیس (SiO_2) و آلومین (Al_2O_3) تشکیل شده است. سیلیس اصلی ترین جزء در خاکستر می باشد [۸]. به طور کلی خاکستر موجود در سطح واکنش، مانع تماس مستقیم میان سرباره و ماده کربنی گردیده و در نتیجه مانع از تشکیل CO و ایجاد سرباره پفکی پایدار می گردد که این پارامتر مستقیماً بر روی میزان انرژی مصرفی تأثیر گذار می باشد. اکتیویته بالای سیلیس و پوشش - دهی حباب های CO-CO₂ توسط این سیلیکات های کمپلکس عملاً واکنش احیای FeO را نیز به تعویق می اندازد [۹]. شکل ۲، نیز به خوبی این حالت را نشان می دهد.

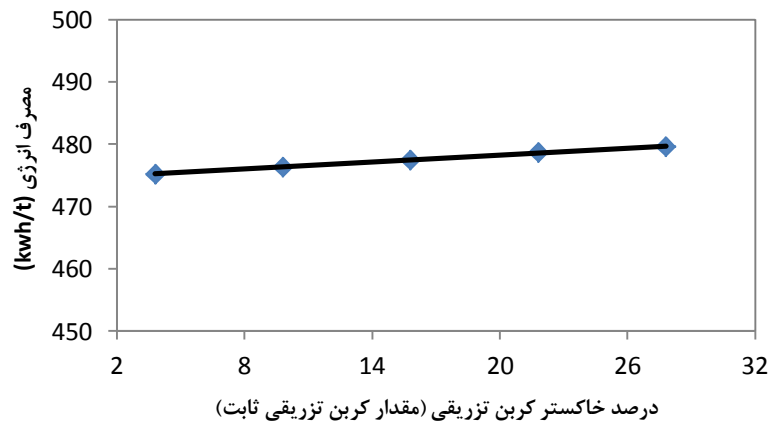


شکل ۲. تأثیر سیلیس خاکستر بر واکنش کربن و سرباره و فرآیند پفکی شدن [۹].

مقدار خاکستر کربن تزریقی ۱۵/۸ درصد می باشد. با فرض ثابت بودن ماده کربنی، این مقدار را از ۳/۸ تا ۲۷/۸ تغییر داده و محاسبات انجام می شود. با افزایش ۲۴ درصدی خاکستر کربن تزریقی، مصرف انرژی ۰/۹ درصد افزایش می یابد. زیرا از

بررسی تأثیر ترکیب شیمیایی ...

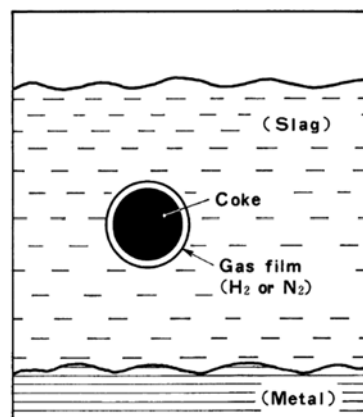
طرفی اکسیژن مصرفی کاهش پیدا می کند و از طرف دیگر با افزایش خاکستر تماس ماده کربنی با سرباره کم می شود در نتیجه پفکی شدن به خوبی انجام نمی شود. شکل ۳، تغییرات انرژی مصرفی با افزایش خاکستر کربن تزریقی را نشان می دهد.



شکل ۳. تغییرات مصرف انرژی با تغییر درصد خاکستر کربن تزریقی (مقدار کربن تزریقی ثابت)

بررسی تأثیر LOI کربن تزریقی

ترکیب مواد فرار را بیشتر هیدروکربن های سبک و سنگین تشکیل می دهند. در شکل ۴، تصویری شماتیک از نحوه فرار گرفتن مواد فرار به صورت یک لایه گازی H_2 و N_2 به روی سطح ماده کربنی مانند کک و در نتیجه آن کاهش راندمان و بازده این مواد نمایش داده شده است [۷ و ۸].

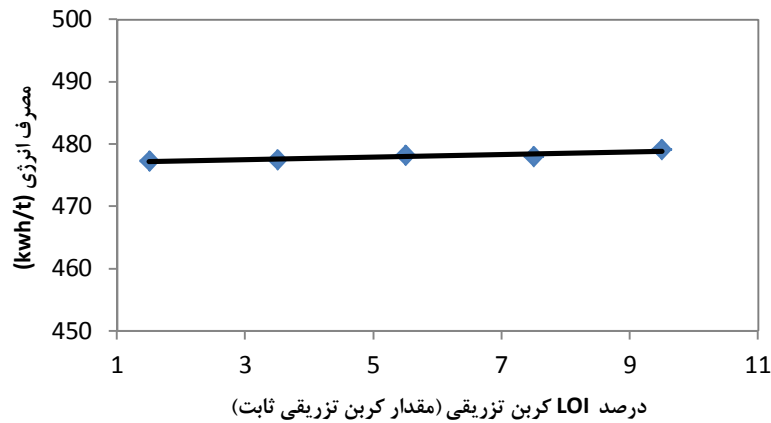


شکل ۴. تصویری شماتیک از لایه گازی شکل گرفته بر روی سطح کک به وسیله مواد فرار [۷ و ۸].

به این ترتیب واکنش های مربوط به پفکی شدن سرباره به خوبی انجام نمی گیرد. مقدار LOI کربن تزریقی ۳/۵ درصد می باشد. با فرض ثابت بودن کربن تزریقی، مقدار LOI را از ۱/۵ تا ۹/۵ تغییر داده و محاسبات انجام می شود. برای بررسی

تأثير LOI، خاکستر را ثابت در نظر می گیریم. تحت این شرایط افزایش LOI سبب کاهش کربن ثابت می شود. مقدار کربن تزریقی ثابت است. بالطبع باید اکسیژن مصرفی کاهش یابد تا فرآیند پفکی شدن به خوبی انجام شود. بدیهی است که چون خاکستر ثابت مانده نیازی به آهک بیشتری نخواهد بود زیرا ترکیب سرباره تغییر نمی کند. وزن سرباره تولیدی و تلفات آهن به صورت FeO در سرباره ثابت است بنابراین وزن مذاب ثابت خواهد بود.

همچنین با افزایش LOI تماس کربن تزریقی با سرباره کاهش می یابد. تحت این شرایط امکان احیای اکسیدهای آهن سرباره و تولید حباب های CO کم خواهد شد و پفکی شدن به خوبی صورت نمی گیرد که نتیجه آن افزایش انرژی خواهد بود. شکل ۵، افزایش ۰/۴ درصدی مصرف انرژی در اثر افزایش LOI از ۱/۵ تا ۹/۵ درصد را نشان می دهد.



شکل ۵. تغییرات مصرف انرژی با تغییر درصد LOI کربن تزریقی (مقدار کربن تزریقی ثابت)

نتیجه گیری

(۱) با افزایش خاکستر کک مصرفی از ۱۲/۷۵ تا ۲۴/۷۵ درصد اگر مقدار کک تغییر نکند، آهک مصرفی ۸/۵٪ و سرباره تولیدی ۳/۷٪ افزایش می یابد. همچنین انرژی مصرفی به واسطه کاهش کیفیت کک ۱/۳٪ افزایش می یابد.

(۲) با تغییر درصد خاکستر کربن تزریقی از ۳/۸ تا ۲۷/۸، اگر مقدار کربن تزریقی تغییر نکند مصرف انرژی ۰/۹٪ افزایش خواهد یافت.

(۳) با فرض ثابت بودن کربن تزریقی مصرفی اگر درصد LOI مربوط به آن از ۱/۵ تا ۹/۵ تغییر کند آهک مصرفی، سرباره تولیدی و وزن مذاب بدون تغییر خواهند ماند. اما از آنجایی که اکسیژن مصرفی ۱/۳٪ کاهش می یابد، حجم گاز خروجی نیز ۰/۶٪ کاهش خواهد داشت. انرژی مصرفی در این حالت ۰/۴٪ افزایش می یابد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از همکاری بی‌دریغ رئیس تحقیق و انرژی شرکت فولاد خراسان و همچنین مدیران و کارشناسان محترم واحد فولاد سازی، اپراتورهای کوره قوس، پرسنل آزمایشگاه شیمی به سبب مهیاسازی شرایط لازم برای پیشبرد اهداف پروژه و راهنمایی‌های کارگشا در طول این پروژه سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

1. M.Kirschen, V.Risonarta And H.Pfeifer, "Energy Efficiency And The Influence Of Gas Burners To The Energy Related Carbon Dioxide Emissions Of Electric Arc Furnaces In Steel Industry", Institute For Industrial Furnaces And Heat Engineering, 2009, PP.1065-1072.
2. G.Boyd, S.H.Karlson, M.Neifer And M.Ross, "Energy Intensity Improvement In Minimills", Contemporary Policy Issues, Vol.11, No.3, 1993, PP.88-100.
3. P.Crompton, "The Diffusion Of New Steelmaking Technology", Resources Policy, Vol.27, 2001, PP.87-95.
4. J.C.Ho, S.K.Chou And T.T.Chandratilleke, "Energy Audit Of A Steel Mill", Energy Conference, Vol.16, No.7, 1991, PP.1021-1991.
5. Sandberg, Bentell, Undvall, "Energy Optimisation Of Electric Arc Furnaces By Statistical Process Evaluation", 7th European Electric Steelmaking Conference, Vol.1, 2002, PP. 435-444.
6. ناصر توحیدی، تولید چدن و فولاد از آهن اسفنجی، ۱۳۶۹، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
7. M.Rahman, R.Khanna, V.Sajwalla And P.Okane, "The Influence Of Ash Impurities On Interfacial Reactions Between Carbonaceous Mterials And EAF Slag At 1550 °C", ISIJ International, Vol. 49, No. 3, 2009, PP. 329-336.
8. F.Mccarthy, V.Sahajwalla, J.Hart And N.Saha-chaudhury, "Influence Of Ash On Interfacial Reactions Between Coke And Liquid Iron", Metallurgical And Materials Transactions B, Vol. 34B, 2003, PP. 573-580.
9. R.D.Morales, H.Rodriguez-Hernandez, P.Garnica-Gonzalez And J.A.Romero-Serrano, "A Mathematical Model For The Reduction Kinetics Of Iron Oxide In Electric Furnace Slags By Graphite Injection", ISIJ International, Vol. 37, No. 11, 1997, PP. 1072-1080.