



سمپوزیوم فولاد ۸۹
۱۰ و ۱۱ اسفند ماه ۱۳۸۹
اصفهان، شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان



مطالعه و تولید بریکت خام و بریکت احیا شده و تولید چدن از لجن کنورتور ذوب آهن

محمد رضائی^۱، علی سعیدی^۲، علی سهیلی^۳، ثانی عابدینی^۴، علی نادری^۵

^۱ شرکت مهندسی روهینا پژوه

^۲ استاد دانشکده مواد دانشگاه صنعتی اصفهان

^۳ گروه مواد دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

^۴ واحد آموزش و پژوهش ذوب آهن اصفهان

چکیده

در این پژوهش استفاده از غبار کنورتور فولادسازی ذوب آهن اصفهان که به صورت لجن توسط غبارگیرها جمع آوری می‌گردد مورد نظر قرار گرفته است. این لجن حاوی درصد بالایی از اکسیدهای آهن بوده و می‌تواند یک منبع آهن‌دار مناسب به شمار آید. در این طرح با استفاده از لجن کنورتور و نرمه کک ذوب آهن اصفهان به همراه عامل‌های چسب قیر پودری و سیلیکات سدیم و سیمان آلومیناتی بریکتهائی پایدار با استحکام کافی جهت دوام در کوره های متالورژیکی تهیه گردید و پس از آزمایشات احیای حالت جامد و آزمایش فشار جهت تعیین استحکام فشاری، عملیاتی در مقیاس‌های بزرگ در کوره‌های زمینی و القائی جهت ذوب آنها به همراه قراضه‌های چدنی صورت گرفت تا میزان بازیابی آهن موجود در لجن کنورتور تعیین شود. نتایج نشان می‌دهد که میزان بازیابی حدود ۵۰ الی ۵۲٪ می‌باشد که با توجه به حجم بالای تولید و دپوی لجن کنورتور می‌توان در جهت استفاده مجدد از این پسماند با هدف حفاظت از محیط زیست و صرفه جوئی در مصرف سنگ آهن گام برداشت.

کلمات کلیدی: لجن کنورتور، بریکت.

^۱ rezaei_1950@yahoo.com

مقدمه

با سختگیرانه تر شدن مقررات زیست محیطی و هم چنین بحرانهای انرژی و اقتصادی، صنایع متالورژیکی به صورتی فعال روشهای اقتصادی بازیابی پسماندهای آهن دار را دنبال می کنند. این روشها آلودگیهای محیط زیست و هم چنین تقاضا برای منابع طبیعی و ضایعات فلزی گران قیمت را کاهش می دهند. جهت مقابله با رشد سریع قیمت ها، توسعه فرآیندهای تولید آهن که قادر به نشان دادن رفتاری انعطاف پذیر با شرایط منابع باشند، اجتناب ناپذیر است. چنین فرآیندهایی توانائی جذب نوسانات قیمت مواد اولیه و سوخت را دارا خواهند بود [۱]. انواع مختلف پسماندهای صنایع تولید فولاد به صورت سرباره ها و لجن ها عبارتند از: سرباره کوره بلند، غبار و لجن کوره بلند، سرباره کنورتور، لجن کنورتور، پوسته نورد، لجن نورد، لجن استیلن و غیره. ترکیب این مواد به طور گسترده ای تغییر می کند که بستگی به منشأ ایجاد آن دارد. اما در هر حال این پسماندها شامل برخی مواد مفید نظیر آهن، کربن، کلسیم، روی، سرب و غیره هستند که می توان آنها را بازیابی و به روش منطقی مجدداً استفاده نمود [۱]. در کنار اینها برخی از سرباره ها و لجن ها حاوی مقادیر قابل توجه فلزات سنگین هستند که این فلزات وارد زمین شده و باعث مشکلات زیست محیطی می گردد. ترکیبات خطرناک نظیر آرسنیک، کادمیوم، جیوه و غیره از نقطه نظر آلودگی حساس ترند [۱]. لذا شایسته است که عناصر مفید بازیافت شده و مورد استفاده قرار گیرد.

در کنورتور فولادسازی ذوب آهن اصفهان، ذرات جامد ریز بعد از غبارگیری مرطوب کنورتور بصورت لجن تحت عنوان لجن کنورتور بوجود می آیند. در حین این فرایند، کوره ذرات بسیار نرم اکسید آهن را متصاعد می کند که این ذرات همراه گاز خروجی وارد غبارگیر مرطوب می شود. این پسماند ممکن است حاوی مقادیر بالای Pb , Zn , CaO باشد که بستگی به نوع سنگ آهک و ترکیب شیمیایی قراضه مصرفی در حین فرایند فولادسازی دارد. به منظور حصول الزامات زیست محیطی لازم است که صنایع فولاد فرایندی برای بازیافت این ماده پسماند توسعه دهند. شواهد نشان می دهد عنصر عمده در لجن آهن می باشد و با توجه به این مسأله، این پسماند ماده مناسبی برای استفاده مجدد در صنایع آهن و فولاد می باشد. مشاهده شده است که مقدار Al_2O_3 لجن بسیار کمتر از Al_2O_3 سنگ آهن می باشد، لذا این یک مزیت برای استفاده مجدد در صنایع فولاد می باشد.

روش تحقیق

یکی از مشکلات در راستای بازیافت جامدات از صنایع مختلف مخصوصاً صنایع متالورژی، نرم (ریز) بودن آنها می باشد. حمل و نقل و کار کردن با این گونه مواد دشوار بوده و باعث آلودگی های ثانویه

می‌شود. همچنین به دلیل سطح ویژه بالای آنها، این مواد به راحتی اکسید می‌شود. یکی از راه‌های مؤثر بر غلبه بسیاری از مشکلات درشت کردن ذرات یا بهم فشردن آنها می‌باشد [۱].

در تهیه بریکت، از لجن کنورتور ذوب آهن به عنوان منبع اصلی آهن دار استفاده شده است. آنالیز لجن کنورتور ذوب آهن اصفهان در سال ۱۳۸۸ در جدول ۱ دیده می‌شود.

همانگونه که در جدول ۱ دیده می‌شود لجن کنورتور حاوی درصد بالائی از آهن می‌باشد که باعث گشته این ترکیب به عنوان منبع ارزشمندی مورد بازبایی قرار گیرد. نر مه کک شامل مواد گرانوله ای از کک بوده که نسبتاً ارزان بوده و از پسماندها محسوب می‌شود. اندازه متوسط ذرات کک کمتر از ۶ میلی متر می‌باشد. ترکیب شیمیائی نر مه کک ذوب آهن اصفهان در جدول ۲ آورده شده است.

عامل چسب نقش بسیار مهمی در فرآیند تولید بریکت ایفا می‌کنند. بریکت‌ها به واسطه تغییرات شیمی فیزیکی عامل چسب در شرایط محیط سخت می‌شوند. انواع مختلفی از این عوامل را برای ساخت بریکت‌ها بکار برده‌اند. در این تحقیق از سیلیکات سدیم و قیر پودری (gilsonite (Foundry Grade به عنوان چسب استفاده شده است. قیر پودری سطح ماشین بریکت‌سازی را روانکاری می‌کند و سایش را کاهش می‌دهد و باعث بهبود فشردگی می‌گردد [۱]. به علاوه این ماده، یک پیوند مقاوم در برابر آب بین ذرات فلزی در بریکت فراهم می‌آورد. همچنین افزودن قیر پودری باعث افزایش کربن بریکت می‌گردد و به عنوان احیا کننده کمی عمل می‌کند. به علت احتراق قیر در حین عملیات، بریکت‌ها احیا و خروج گازهای اکسید کربن و گاز کربنیک موجب افزایش تخلخل و درصد احیا می‌شود [۲].

مراحل ساخت بریکت شامل دو گروه مختلف از اجزای تشکیل دهنده آن است. در شکل ۱ نمودار تهیه بریکت مشاهده می‌شود. در گروه A از سیلیکات سدیم و قیر به عنوان عامل چسب و در گروه B از سیمان آلومیناتی به عنوان عامل چسب استفاده شده است.

نتایج و بحث

تعیین استحکام فشاری

آزمایشات فشار جهت تعیین استحکام فشاری بریکت‌ها توسط دستگاه SANTAM انجام شد. ملاحظه می‌شود استحکام بریکت‌ها با تغییر نوع و مقدار چسب بین ۳/۵ تا حدود ۶/۵ مگا پاسکال تغییر می‌کند. به عبارت دیگر بریکت‌ها حداقل نیروی فشاری حدود ۵۰۰۰ نیوتن یا ۵۰۰ کیلوگرم را می‌توانند تحمل کنند. در جدول نتایج آزمون استحکام فشاری بریکت‌ها مشاهده می‌شود. با توجه به کافی بودن استحکام و جنبه های اقتصادی نمونه های A₁ و B₁ برای انجام آزمایش های احیا در دمای بالا انتخاب شدند.

احیا در حالت جامد بریکتها

آزمایشات احیای حالت جامد به دو منظور انجام شد. اول اینکه با این آزمایشها پایداری مکانیکی بریکتها در دمای بالا و شرایط احیائی (شرایطی که گازهای CO و CO₂ از آن خارج می شود) مورد بررسی قرار گرفت. دوم اینکه احیا پذیری بریکتها و تاثیر دما بر آن و حداقل زمان لازم برای احیا مورد ارزیابی قرار گرفت. لذا نمونه های A₁ و B₁ پس از قرار گرفتن در کوره الکتریکی در دماهای ۱۱۰۰ و ۱۲۰۰ °C به مدت زمان ۳ ساعت احیا شدند.

عمل احیا توسط کربن نرمه کک و قیر موجود در بریکت انجام می شود. یک نمونه بریکت A₁ و یک نمونه بریکت B₁ در دمای ۱۱۰۰ °C به مدت زمان ۳ ساعت در داخل جعبه حاوی پودر آلومینا جهت جلوگیری از اکسیداسیون داخل کوره حرارت داده شدند. همچنین یک نمونه بریکت A₁ و یک نمونه بریکت B₁ در دمای ۱۲۰۰ °C به مدت زمان ۳ ساعت به طریق مشابه حرارت داده شدند. نمونه‌ها قبل و بعد از حرارت توزین شدند که در جدول ۶ نشان داده شده است.

کاهش وزن بریکت در هنگام واکنش به دلیل مصرف شدن کک و کاهش اکسیژن اکسیدهای آهن بوده است. پس از خارج کردن نمونه‌ها از کوره مشاهده شد که مقدار خرد شدن هر دو نمونه در دمای ۱۲۰۰ °C بسیار بیشتر از دمای ۱۱۰۰ °C درجه سانتی گراد بوده است. خرد شدن نمونه‌ها در ۱۱۰۰ °C نامحسوس است. نمونه B₁ در دمای ۱۲۰۰ °C بیشترین مقدار خرد شدن را داشته است. با توجه به بررسی های بعمل آمده بر روی پایداری مکانیکی نمونه‌ها در دمای بالا مشخص شد نمونه های گروه B که با استفاده از سیمان ساخته شده اند در دمای بالاتر از ۱۱۰۰ °C استحکام کافی نداشته و خرد می شوند. به همین جهت در آزمایشهای احیای حالت مذاب یا مصرف بریکت در ریخته گری از بریکت با چسب سیلیکات سدیم استفاده شد.

بررسی احیا شوندگی بریکت

پس از انجام احیا در کوره، درصد آهن کل و آهن فلزی نمونه های A₁ و B₁ تعیین گردید که در جدول ۶ ارائه شده است. در فرآیندهای احیا همه اکسیژن حذف نمی شود، لذا مقداری از اکسیژن به صورت وستیت باقی می ماند [۲]. به این علت از مقدار کل آهن در نمونه مقداری به صورت وستیت است. درجه فلز شدن برابر نسبت آهن فلزی به کل آهن می باشد. طبق این تعریف درجه متالیزاسیون محاسبه و در جدول ۷ گزارش شده است. ملاحظه می شود در دمای ۱۲۰۰ °C متالیزاسیون حدود ۵۰٪ بدست می آید.

تهیه چدن از بریکت در کوره القائی بزرگ

در این مرحله بریکت‌ها و سپس قراضه‌ها در بوت‌ه کوره القائی شارژ شدتند. پس از فروپاشی بریکت‌ها، آهن آنها وارد مذاب گشت و سیلیکات‌ها در سطح شناور شده تا بخشی از سرباره را تشکیل دهند. پس از سرباره‌گیری، مذاب وارد قالبهای ریخته‌گری شده و پس از سرد شدن توزین شد. نتایج آزمایش ذوب بریکت همراه با چدن در کوره القائی در جدول ۸ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که حدود ۵۰ درصد وزن بریکت مصرفی به وزن چدن اضافه شده و این نشان می‌دهد تقریباً تمامی آهن موجود در بریکت‌ها بازیافت شده است.

آنالیز و تعیین سختی

آنالیز کمی وای بلاک نمونه ریختگی کوره القائی که توسط دستگاه طیف سنج نشر نوری اندازه‌گیری شده در جدول ۹ آورده شده است. سختی اندازه‌گیری شده نمونه ریختگی با اعمال نیروی اولیه ۱۰ کیلوگرم نیرو و نیروی نهائی ۱۵۰ کیلوگرم نیرو معادل با HRC ۵۴ می‌باشد.

نتیجه‌گیری

امکان تبدیل لجن کنورتور به بریکت‌هایی با استحکام بالا به کمک سیلیکات سدیم و قیر وجود دارد. بریکتهای حاصل از لجن کنورتور می‌تواند در صنایع مختلفی نظیر تهیه چدن با کوره زمینی، القائی، دوار، قوس الکتریک، کوره بلند و کوپل مورد استفاده قرار گیرد. بریکت احیا شده در صورتی که دارای درصد کمی از سرباره و ناخالصی‌های مضر مانند گوگرد و فسفر باشد می‌تواند در کوره‌های القایی برای تولید فولاد یا چدن مورد استفاده قرار گیرد. در این کوره‌ها برای دستیابی به سرعت ذوب بالا باید درصد آهن فلزی موجود در نمونه بالا بوده و درصد عوامل سرباره ساز بریکت احیا شده کم باشد تا از حجم مفید کوره در اثر افزایش حجم سرباره کم نشود.

مراجع

- [1] R. sah, S. K.Dutta, "Effects of Binder on the Properties of Iron Ore-Coal Composite pellets" Mineral Processing and Extractive metallurgy Review, 2010, 31, pp73-85.
- [2] R.Takahashi; X. Zhang, J. Yagi, "Reduction Mechanism of Oxidized Iron-Scrap Briquette Containing Pulverized Coke During Heating" China-Japan International Academic symposium environmental Problem in Chinese Iron-Steelmaking Industries, Sendai, Japan, 6, March 2000.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی لجن کنورتور.

Fe total	FeO	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	SiO ₂	S	P
۵۱/۲۹-۵۴/۶۳	۸/۶۶-۸/۷۴	۱۰/۰۷-۱۳/۲	۰/۴۵-۰/۷۲	۰/۷۱-۰/۸۲	۲/۰۱-۲/۰۴	۱/۹۹-۲/۴۳	۰/۳۴-۰/۳۹	۰/۱۷-۰/۱۹

جدول ۲. ترکیب شیمیایی نرمه کک ذوب آهن اصفهان.

L.O.I	رطوبت	خاکستر	کربن واقعی
%۵/۸	%۴/۲	%۲۴/۳	%۶۹/۹-۷۵

جدول ۳. آنالیز شیمیایی پودر قیر جامد تهیه شده.

سیلیسیم، نیکل و عناصر کمیاب	اکسیژن	نیترژن	هیدروژن	کربن
%۰/۳	%۱/۵	%۳	۱۰٪	%۸۵

جدول ۴. درصد ترکیبات نمونه های A و B.

نمونه	آب	سیمان الومیناتی	قیر	سیلیکات سدیم	آهک	نرمه کک	لجن کنورتور
A1	%۱/۶	-	%۰/۸	%۱/۲	%۲/۴	%۱۳/۳	%۸۰/۶۴
A2	%۲/۷۱	-	%۱/۰۶	%۱/۶	%۳/۱۸	%۱۱/۶	%۷۰/۷۷
A3	%۷/۴۶	-	۲/۱۴	%۲/۸۵	%۴/۲۸	۱۱/۷۹	%۷۱/۴۵
B1	%۴/۸۱	%۱/۶	-	-	-	%۱۳/۲۵	۸۰/۳۲
B2	%۶/۹	%۳/۸۳	-	-	-	۱۲/۶۴	%۷۶/۶۲
B3	%۷/۴۵	%۷/۳۱	-	-	-	%۱۲/۰۷	%۷۳/۱۶

جدول ۵. نتایج آزمون استحکام فشاری.

نمونه	استحکام فشاری (MPa)
A1	۳/۶۶۵
A2	۳/۲۰۵
A3	۴/۶۳۸
B1	۳/۸۴۸۷
B2	۴/۵۴۹
B3	۶/۴۲

جدول ۶. مقدار کاهش وزن نمونه‌ها در دمای ۱۱۰۰ °C و ۱۲۰۰ °C.

نمونه	کاهش جرم (Δm) در ۱۱۰۰ °C	کاهش جرم (Δm) در ۱۲۰۰ °C
A ₁	۱۸/۰۱۱ gr	۲۱/۳۱۵ gr
B ₁	۲۰/۷۵۳ gr	۲۱/۵۸۳ gr

جدول ۷. نتایج آنالیز نمونه‌های A₁ و B₁ پس از احیا

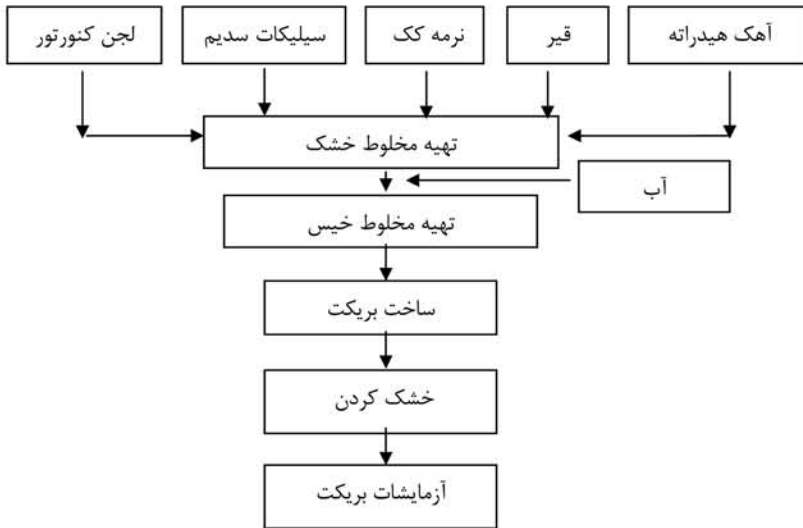
نمونه	دمای انجام آزمون	%Fe کل	%Fe فلزی	درجه فلز شدگی M.D
A ₁	۱۱۰۰	۵۹/۶۶	۱۷/۹۵	%۲۸
A ₁	۱۲۰۰	۶۷/۰۳	۳۶/۴۷	%۵۴
B ₁	۱۱۰۰	۶۴/۰۸	۲۸/۱۷	%۴۳
B ₁	۱۲۰۰	۶۶/۴۰	۳۷/۴۴	%۵۶

جدول ۸. نتایج شارژ کوره القایی با بریکتهای حاصل از لجن کنورتور.

۱۲۴ کیلوگرم	وزن قراضه چدن
۲۸/۳ کیلوگرم	وزن بریکت
۵٪ معادل ۶/۳ کیلوگرم	تلفات ذوب چدن در حالت کلی
۱۱۷/۸	وزن مذاب حاصل از قراضه با در نظر گرفتن تلفات
۱۳۱/۹	مذاب نهائی توزین شده
۱۴/۱	اختلاف وزن مذاب نهائی همراه با بریکت با مذاب حاصل از قراضه
۴۹/۸٪	نسبت اختلاف وزن مذاب نهائی به وزن بریکت اضافه شده (درصد بازیابی چدن از بریکت)

جدول ۹. آنالیز کمی نمونه ریختگی کوره القایی.

%Fe	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%MO	%Cu
۹۵/۲۱۶	۲/۰۴۵	۱/۳۹۵	۰/۴۱۹	۰/۰۹۲	۰/۰۸۰	۰/۱۶۷	۰/۱۵۸	۰/۰۱۶	۰/۲۱۷
%W	%Ti	%V	%Al	%Co	%B	%Nb	%Pb,Zn	%Sn	%Sb
۰/۰۱۰	۰	۰/۰۵۸	۰	۰/۰۱۳	۰	۰/۰۲۲	۰	۰/۰۱۶	۰/۰۳۲



شکل ۱. نمودار مراحل تهیه بریکت.