کاربرد آهن اسفنجی در تولید چدن و فولاد

نویسندگان :

خطیب الاسلام صدر نژاد

دانشکده مهندسی متالورژی دانشگاه صنعتی شریف
و دانشکده مهندسی مواد دانشگاه تربیت مدرس

جلیل وحدتی خاکی و
محمدرضا ابوطالبی

دانشجویان سابق دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

کاربرد آهن اسفنجی برای تولید چدن‌وفولاد در مقیاسهای مختلف آزمایشگاهی وصنعتی درکوره‌های‌متداول‌ذوب‌همچون کوره الکتریکی‌القائی ،کوره‌الکتریکی مقاومتی وکوره بوته‌ای زمینی بررسی وآزمایش شده‌است . اثر عوامل‌مختلف مانند مشخصات آهن اسفنجی ،دمای فلزمذاب وروش‌بارگیری بر نحوه و زمان ذوب شدن آهن اسفنجی ، ترکیب‌شیمیائی مواد مذاب و میزان‌سرباره حاصل به وقت مطالعه‌شده است ،نتایج حاصل نشان‌می‌دهد که بارکردن آهن اسفنجی‌به هردو روش منقطع و پیوسته تا میزان صددرصد امکان پذیراست وعموما" منجربه بهبود کیفیت محصول می‌شود . در عین حال ،شکلاتی از قبیل افزایش حجم سرباره وخورده شدن‌آسترنسوزکوره نیزبا برگزیدن آهن اسفنجی به‌جای شمش وفولادقراضه ، به‌خصوص در صورت به‌کارگیری روشهابارکردن منقطع‌ایجاد می‌شودکه رفع‌نکردن آنها تواند مایه‌کاهش‌بازدهی‌عملیات وخسارت‌دیدن کوره‌شود .

مقدمه

از زمان بهره برداری از نخستین واحدهای احیای مستقیم که در سراسر دنیا به سبک جدید رواج عام یافت حدود ۳۰ سال می‌گذرد[1] . در این مدت دست کم ۱۲ روش احیای مستقیم توانسته اند در بازارهای جهانی رخنه کنند که بیش ازنیمی از آنها با گاز طبیعی‌و باقی عمدتا "با سوخت جامد ، سنگ را به آهن بدل می‌کنند.[۲-۴] محصول کلیه این روشها ، جسم‌فلزی متخلخلی است به نام آهن اسفنجی.این ماده که دراثر حذف اکسیژن سنگ آهن جامد ایجادمی‌شود ، می‌تواند دارای شکلهای ظاهری گوناگونی مانند گندله Pellet ، خشته Briquette، کلوخه Lumpو پودر Powder و یامخلوطی ازآنها باشد .همه این‌شکلهامی‌توانند برای تولید محصولات آهنی همچون انواع چدن و فولاد به کار روند.[۵-۹] ازآنجاکه هیچ یک از فرایندهای احیای‌مستقیم قادر به خارج ساختن تمام اکسیژن موجود در سنگ آهن نیستند ، انجام فرایندهای بعدی ذوب و تصفیه برای‌تبدیل

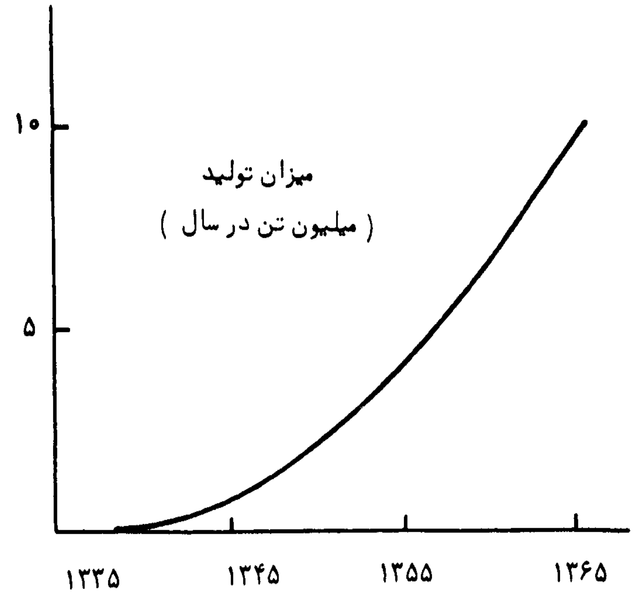
آهن اسفنجی به چدن یافولاد ضروری است .اکسیژن باقیمانده درآهن اسفنجی ، عموما " در اکسیدفرو FeO ، باطله های سنگی همراه سنگ معدن Gangue ،واکسیدهای مفید اضافه شده به بارکوره احیاء مانند CaO و MgO است . ترکیب شیمیائی یک نمونه آهن اسفنجی ، تولید شده در مجتمع فولاد اهواز ، در جدول شماره ۱ آمده است .

آهن اسفنجی عمدتا " در کوره های قوس الکتریکی برای تولید فولاد ذوب و مصرف می‌شود [۱۰و۱۲] سیر صعودی تولید سالیانه فولاد از این طریق (شکل ۱) ، نشاندهنده افزایش اهمیت آهن اسفنجی در تولید جهانی این ماده است [۴و۱۲-۱۴] . در کشور ما تولید سالانه برای حدود ۴/۵ میلیون تن فولاد از آهن اسفنجی در دو مجتمع فولاد اهواز و مبارکه ، برای سالهای آخر دهه ۱۳۶۰ ، از طریق احیای مستقیم با گاز طبیعی و ذوب و تصفیه در کوره های قوس الکتریکی سه فازه ،درنظر گرفته شده است [۱۵] .درسطح جهانی ، در سالهای اخیر ، کاربرد آهن اسفنجی در سایر کوره های ذوب ، مانندکوره های مورداستفاده در کارگاههای ریخته‌گری نیز به دقت مطالعه شده است . برای مثال می‌توان ذوب آهن اسفنجی درکوره های کوپل وکوره های الکتریکی القائی را نام برد [۷و۸] . به علاوه مطالعات فراوانی درباره برگزیدن کردن آهن اسفنجی به‌جای‌قراضه‌درمبدل‌اکسیژنی ،بارکردن‌آن‌درکوره بلند ، ذوب کردن آن درکوره های‌اجاقی OHF ، به کاربردن آن به منظورساخت‌الکترودهای آهنی پرآلیاژبرای ذوب‌مجدد الکتریکی همراه با Electro-slag Remelting قابل استفاده در تولید ورقهای مرغوب فولاد ، استفاده از آن در سمنتاسیون سولفات مس،و به کاربردن آن برای تهیه‌پودر آهن ،در سالهای اخیر آغاز شده است [۱۶-۲۰] . آزمایشهای عملی نشان داده است که افزودن ۱۰% آهن اسفنجی به بار کوره بلند می‌تواند به افزایش سرعت تولید این کوره به‌میزان ۹% و کاهش مصرف کک آن به میزان ۸/۲% منجر شود [۱۹] .

در این مقاله فرایندهای ذوب آهن اسفنجی ساخت مجتمع فولاداهواز (واحد میدرکس)دردو نوع‌کوره‌آزمایشگاهی و دو نوع کوره صنعتی‌مشابه کوره های به کار رفته‌در واحدهای ریخته گری کشور بررسی شده است . درباره اشکالات عمده ناشی از استفاده از این ماده ، بحث شده و برخی از روشهای ممکن برای حل‌آنها آزمایش شده است .

ذوب الکتریکی القائی

برای تهیه فلزمذاب ابتدائی ،نخست‌هسته‌فولادی به وزن ۱۸ کیلوگرم دریک کوره الکتریکی القائی آزمایشگاهی به ظرفیت ۲۵ کیلوگرم‌فولاد با آسترسیلیسی ذوب شد (شکل ۲) .آنگاه نمونه برداری و تعیین آنالیز شیمیائی حمام‌مذاب به شرح سطر اول جدول ۳ انجام گرفت . سپس گرم کردن‌فلز مذاب ادامه یافت تا آنکه دمای حمام به ۱۵۷۰ درجه سانتی گراد رسیده است . آنگاه ۱۵ درصد آهن اسفنجی به طریق بار کردن مداوم به فلز مذاب افزوده شد . پس از رسیدن مجدد ما به ۱۵۷۰ درجه سانتی گراد ، از فلز حاصل نمونه‌برداری شده وآنالیز شیمیائی آن بطریق کوانتومتری‌تعیین شده است .این کار با افزودن‌درصدهای بیشتر آهن اسفنجی تکرار شده و نتایج حاصل در جدول شماره ۲ ثبت شده‌است .



شکل ۱ـ تولید جهانی فولاد از طریق ذوب آهن اسفنجی‌در کوره قوس الکتریکی [۴و۱۲-۱۴]

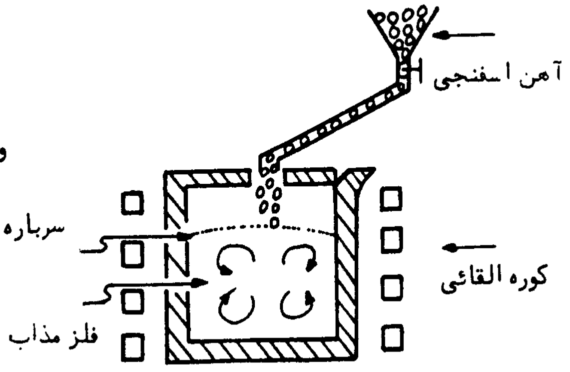
جدول ۲ـ آنالیز شیمیائی حمام مذاب حاصل از افزودن درصدهای مختلف آهن اسفنجی به فلز مذابی که از ذوب کردن هسته فولادی ابتدایی در کوره الکتریکی القائی بدون هسته ۲۵ کیلوگرمی به دست آمده است

درصد آهن اسفنجی	آنالیز شیمیائی، درصد جرمی: کربن	سیلیسیوم	منگنز	فسفر	گوگرد	کروم	نیکل	مولیبدن	مس
۰	۰/۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۴۱	۰/۰۲۱	۰/۰۲۴	۰/۰۵۴	۰/۳۱۳	۰/۰۰۵	۰/۱۴۵
۱۵	۰/۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۳۵	۰/۰۱۹	۰/۰۱۶	۰/۰۴۶	۰/۲۷۰	۰/۰۰	۰/۱۱۶
۲۵	۰/۰۳۴	۰/۰۷۱	۰/۰۱۷	۰/۰۱۴	۰/۰۱۱	۰/۰۱۵	۰/۲۱۷	۰/۰۰	۰/۰۷۵
۴۵	۰/۰۳۸	۰/۰۰۳	۰/۰۲۳	۰/۰۱۷۶	۰/۰۰۸	۰/۰۳	۰/۱۸۰	۰/۰۰	۰/۰۶۰
۶۰	۰/۰۴۹	۰/۰۰۳	۰/۰۲۶	۰/۰۱۷	۰/۰۰۷	۰/۰۲۶	۰/۱۳۶	۰/۰۰	۰/۰۳۱
۷۰	۰/۰۳۱	۰/۰۰۳	۰/۰۳۹	۰/۰۱۷	۰/۰۰۴	۰/۰۱۹	۰/۱۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰۷

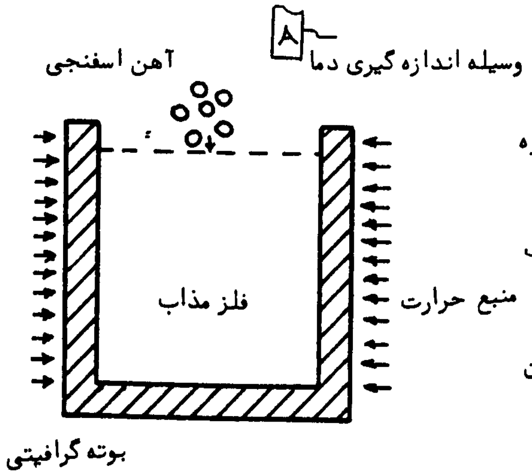
جدول ۱ ــ نمونه آنالیز شیمیائی آهن اسفنجی تولید شده به روش میدرکس در مجتمع فولاد اهواز .

ماده	فلز					باطله های سنگی						
	آهن کل	آهن احیا شده	کربن	گوگرد	درجه فلزی شدن	سیلیس SiO_2	اکسیدهای آلومینیوم وتیتانیوم Al_2O_3, TiO_2	اکسید کلسیوم CaO	اکسید منیزیوم MgO	اکسید منگنز MnO	اکسید فسفر P_2O_5
درصد وزنی	۹۲/۱	۸۵/۲۴	۱/۶	۰/۰۰۲	۹۲/۵۵	۱/۶	۱/۰۴	۰/۲۹	۰/۳۲	۰/۰۷۷	۰/۰۴۲
جمع درصد	۹۳/۷۰				۹۲/۵۵	۳/۳۷					

(جدول ۴) .



شکل ۲ـ طرح کوره و حمام مذاب و وسیله بار کردن آهـــن اسفنجی .



شکل ۳ـ طرح تجهیزات ذوب آهن اسفنجی در کوره الکتریکی مقاومتی .

اثر اندازه گندله بر سرعت ذوب در آهن اسفنجی

آهن اسفنجی دریافت شده از مجتمع فولاد اهواز (گندلـــه میدرکس Midrex Pellet) ، قطعاتی با ابعاد مختلف دارد . ابتدا این قطعات را دانه بندی کرده و سپس به صورت مجموعه های ۵۰۰ گرمی در حمام مذابی با ترکیب شیمیائی مشابه سطر اول جدول ۲ ، مستمرا " بار کرده ایم . زمان ظاهری ذوب شدن هر مجموعه گندله با روش رویت مستقیم اندازه گیری شد . میزان انرژی الکتریکی مصرف شده نیز ، برای ذوب شدن هر مجموعه گندله به دقت تعیین شـــد دمای حمام مذاب هنگام بار کردن آهن اسفنجی در تمام آزمایشها یکسان بود . اطلاعات حاصل در جدول ۳ داده شده است .

اثر درصد آهن اسفنجی بر ترکیب شیمیائی چدن نشکن

برای این دوره تحقیق به ۱۱۰۰ کیلوگرم چدن مذاب با ترکیب شیمیائی سطر اول جدول ۴ که در یک کوره القائی ۱/۵ تنی با آسترسیلیسی ذوب شده بوده ، مخلوطی از ۴۰۰ کیلوگرم آهن اسفنجی و ۸ کیلوگرم گرافیت گرانیوله مستمرا " بار شده است . سپس برای رساندن ترکیب شیمیائی حمام مذاب به حد قابل قبول برای تولید چدن نشکن ، ۱۸ کیلوگرم فروسیلیسیوم ۷۵ درصد به حمام افزوده شد . ترکیب شیمیایی چدن به دست آمده به شرح سطر دوم جدول ۴ به دست آمده است . همین آزمایش با درصدهای بیشتر آهن اسفنجی پس از تخلیه چدن مذاب به مقدار لازم ، تکرار شده و نتایج حاصل نشاندهنده کاهش میزان عناصر ناخالصی همچون گوگرد ، علیرغم محتوای ۰/۷ درصدی این عنصر در گرافیت گرانیوله ، بوده اســـت

ذوب الکتریکی مقاومتی

برای تعیین اثر دمای حمام مذاب بر مدت ذوب شدن آهن اسفنجی ، از کوره مقاومتی با بوته گرافیتی بـــه ظرفیت حدود ۸۰۰ گرم (شکل ۳) استفاده شد . با ذوب کردن ۴۰۰ گرم آهن اسفنجی در بوته گرافیتی ، ابتدا حمام مذابی اشباع شده از کربن آماده شده است .

سپس نمونه های ۲۰ گرمی حاوی گندله های هم اندازه آهن اسفنجی به حمام مذاب در دماهای مختلف افزوده شده . با مشاهده سطح مذاب و اندازه گیری زمان ، اثر دما بر مدت ذوب شدن گندله ها تعیین شده است . تعیین دمای حمام با دماسنـــج نوری و با دقت ۲۰ $\pm$ درجه سانتی گراد انجام گرفت . نتایج به دست آمده در جدول ۵ داده شده است .

ساختن چدن نشکن در کوره بوته ای

آهن اسفنجی مجتمع فولاد اهوازو شمش وارداتی سورل Sorrel با نسبتهای داده شده در جدول ۶ همراه با مقادیر محاسبه شده گرافیت گرانیوله برای رسانیدن میزان کربن به حد مطلوب در یک کوره بوته ای زمینی ، مطابق شکل ۴ ،

جدول ۳ــ اثر اندازه گندله بر زمان و انرژی لازم برای ذوب شدن ۵۰۰ گرم آهن اسفنجی در کوره الکتریکی القائی ۲۵ کیلوگرمی .

اندازه گندله (میلیمتر)	زمان ذوب شدن (ثانیه)	انرژی الکتریکی مصرفی (کیلو وات ساعت)
نرمه کوچکتر از ۱ میلیمتر	۶۰	۰/۳۶۰
۱/۸	۵۶	۰/۲۷۰
۳/۴	۴۰	۰/۱۹۸
۵	۳۵/۵	۰/۱۹۴
۸	۵۴/۵	۰/۲۹۳
۸/۵	۳۷	۰/۱۹۱
۱۰	۵۳/۵	۰/۲۶۶
۱۵	۱۰۰	۰/۵۱۳
مخلوطی از اندازه های مختلف	۵۷	۰/۳۰۲

جدول ۴ــ آنالیز شیمیایی حمام مذاب حاصل از افزودن درصدهای مختلف آهن اسفنجی به چدن مذاب موجود در کوره القائی ۱/۵ تنی .

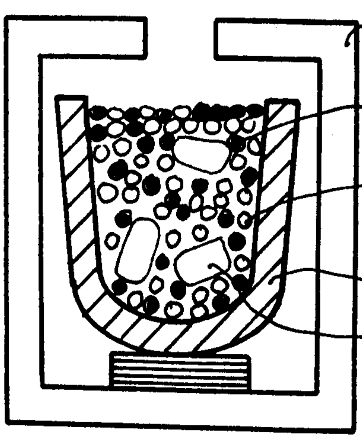
درصد آهن اسفنجی	آنالیز شیمیایی (درصد جرمی)						
	کربن	سیلیسیوم	منگنز	فسفر	گوگرد	کروم	نیکل
۰	۳/۷۵	۱/۴۵	۰/۲۲۳	۰/۱۲۶	۰/۰۳	۰/۰۴۸	۰/۰۴۳
۲۶/۵	۳/۴	۰/۹۲۶	۰/۱۵۲	۰/۱۰۹	۰/۰۲۹	۰/۰۳۵	۰/۰۳۹
۵۳	۳/۷۱	۱/۷	۰/۱۱۳	۰/۰۸۸	۰/۰۲۶	۰/۰۲۷	۰/۰۳۸
۶۵	۳/۴۴	۱/۲	۰/۰۸۵	۰/۰۷۲	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲	۰/۰۳۵

جدول ۵ ــ اثر دمای حمام مذاب بر زمان ذوب شدن گندله های آهن اسفنجی در کوره الکتریکی مقاومتی با بوته گرفایتی .

دمای حمام (درجه سانتی گراد)	زمان ذوب شدن ۲۰ گرم گندله آهن اسفنجی (ثانیه)
۱۴۶۰	۱۹۵
۱۵۰۰	۵۲
۱۵۳۰	۴۸
۱۵۵۰	۲۹
۱۵۷۵	۵

جدول ۶ــ تأثیر میزان آهن اسفنجی درباره کوره بوته‌ای بر آنالیز شیمیائی محصول .

ترکیب بار (درصد جرمی)		آنالیز شیمیائی محصول (درصد جرمی)								
آهن اسفنجی سورل	شمش	کربن	سیلیسیوم	منگنز	فسفر	گوگرد	کروم	نیکل	منیزیوم	مس
۳۰	۷۰	۲/۲۵	۳/۲	۰/۱۱	۰/۰۳۱	۰/۰۱۹	۰/۰۲۹	۰/۰۵۷	۰/۰۴۲	۰/۰۱۹
۳۵	۶۵	۲/۶۵	۳/۵	۰/۱۶	۰/۰۴۱	۰/۰۲۵	۰/۰۲۱	۰/۰۴۵	۰/۰۳۵	۰/۰۱۵
۴۵	۵۵	۳/۵۱	۲/۸۵	۰/۱۱	۰/۰۲۹	۰/۰۲۵	۰/۰۳۹	۰/۰۳۵	۰/۰۳۱	۰/۱۱۰
۵۰	۵۰	۳/۲	۲/۲۵	۰/۰۹۱	۰/۰۳۱	۰/۰۲۲	۰/۰۳۸	۰/۰۴۵	۰/۰۳۵	۰/۲۱۰
۶۰	۴۰	۳/۴	۲/۵۲	۰/۱۹	۰/۰۳۶	۰/۰۲۲	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۶۱
۶۵	۳۵	۲/۸۰	۲/۹۰	۰/۰۸۱	۰/۰۴۸	۰/۰۲۳	۰/۰۳۵	۰/۰۳۶	۰/۰۵۱	۰/۰۱۳
۷۰	۳۰	۲/۶۵	۳/۳۴	۰/۱۶	۰/۰۳۹	۰/۰۲۳	۰/۰۳۱	۰/۰۲۸	۰/۰۴۵	۰/۰۴۵
۷۵	۲۵	۲/۶۰	۲/۴۰	۰/۱۳	۰/۰۴۳	۰/۰۲۱	۰/۰۲۵	۰/۰۴۳	۰/۰۳۹	۰/۰۴۹
۱۰۰	۰	۲/۵۰	۳/۵۰	۰/۱۱	۰/۰۳۷	۰/۰۲۴	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۰/۰۴۹	۰/۰۶۱



شکل ۴ــ بار کردن آهن اسفنجی ، گرافیت گرانیوله و شمش سورل در کوره بوتـــه ای زمینـــــــــــــی

بار می‌شود .سپس بارتا مرحله ذوب شدن گرم می‌شود . برای تصحیح درصد سیلیسیوم ، فروسیلیسیوم ۷۵% به بوته افزوده می‌شود .آنگاه عمل تلقیح توسط فروسیلیکومنیزیوم به روش غوطه ورسازی انجام می‌گیرد .اثرافزایش درصد آهن اسفنجی برآنالیز چدن مذاب در جدول ۶ آمده است . این اطلاعات نشاندهنده نوسان محتوای عناصر مضردرحد قابل قبول برای تولید چدن نشکن است . تاثیر افزایش درصد آهن اسفنجی دربار کوره برمیزان سرباره حاصل طی عملیات ذوب ، درشکل ۵ رسم شده است .

بحث و نتیجه گیری

استفاده از آهن اسفنجی در تهیه فولاد و چدن نه تنها امکان پذیراست ،بلکه در مواردی نیز به بهبود عملیات تولید می‌انجامد . مثلا " یکنواختی در شکل و ابعاد که حمل و نقل و بار کردن پیوسته را میسر می‌سازد ، باعث ساده شدن عملیات ذوب درآهن اسفنجی می‌شود . همچنین به دلیل یکنواختی آنالیز شیمیایی آهن اسفنجی و عاری بودن آن از عناصر مضر ،تنظیم ترکیب شیمیایی و کاهش میزان عناصرمضر محصول ، در صورت استفاده از آهن اسفنجی به آسانی امکان پذیر خواهد شد (جداول ۲و۴) .

به دلیل‌عاری بودن از ناخالصیهای مضرمانند قلع ، مس، سرب ،انتیموان و آرسنیک که معمولا " همراه آهن قراضه وارد کوره های ذوب می‌شوند ،آهن اسفنجی ،فرآورده مناسبی برای ساختن چدنها و فولادهای با حساسیت بالا نسبت به حضور این عناصر ، است . برای مثال ، کاربرد آهن اسفنجی درتولید چدن نشکن را می‌توان نام برد که به دلیل‌حساسیت ساختمان داخلی این چدن نسبت به عناصرکاربید زا ازقبیل کروم ، وانادیوم ، مولیبدن ، بور و نیز عناصر مخل تشکیل گرافیت کروی مانند سرب ، تیتانیوم ، آلومینیوم ،انتیموان ، بیسموت ،آرسنیک وزیر کونیوم مایه برتری آهن اسفنجی‌نسبت به آهن قراضه وآهن خام‌در صنایع ریخته گری‌شده است [۵–۷] به علاوه استفاده توام آهن اسفنجی و آهن قراضه ، امکان مصرف قراضه های ارزان قیمت (درجه ۲و۳) را نیز فراهم می‌سازد . مزیت دیگر به کاربردن آهن اسفنیجی ، به ویژه هنگام تولید چدن نشکن ، مقدار نسبتا "کم گوگرد و فسفردر آهن اسفنجی است که می‌تواند باعث حذف عملیات تصفیه و نتیجتا "کاهش هزینه ها شود .آهن اسفنجی با درجه‌خلوص بالا را همچنین می‌توان از طریق نوردسرد و یا گرم مستقیما " به تسمه های فولادی با کیفیت بالا تبدیل کرد [۱۷و۱۸]

برتری دیگرآهن اسفنجی ،ترکیب شیمیائی‌مشخص ونسبتا "یکنواخت‌آن است که سبب سهولت به کار بستن‌آن درفرایندهای مختلف تولیدفولاد و چدن می‌شود . به‌علاوه به دلیل‌ثبات نسبی قیمت آهن‌اسفنجی ،امکان برنامه‌ریزی دراز مدت برای استفاده از آن وجود دارد .همچنین در شرایطی که‌به‌دلیل کاهش عرضه آهن قراضه در بازار ،قیمتها به شدت‌تغییریابند ،آهن‌اسفنجی‌می‌تواند به عنوان‌جایگزین آهن قراضه به کار رود . چنین شرایطی ممکن است در صورت راه اندازی کامل مجتمعهای فولاد اهواز و مبارکه درسالهای پایانی دهه ۱۳۶۰ ، چنانچه ورود آهن قراضه به کشورانجام نشود ، پیش آید . آن گاه گسترش مصرف آهن اسفنجی در کوره های ذوب آهن و فولاد کشور ، می‌تواند به رفع مشکل کمبود قراضه کمک کند .

یکی دیگر ازفوائد به کاربردن آهن اسفنجی ،امکان بار کردن مداوم آن در کوره های ذوب است (شکل ۲) . بار کردن مداوم‌آهن اسفنجی درکوره های قوس الکتریکی ، برای مثال ، توانسته است باعث افزایش بازدهی تولید و کاهش انرژی مصرفی شود [۲۱–۲۶] .وانگهی به کارگیری آهن اسفنجی در کوره های ذوب امکان تولید فولادهایی را که تهیه آنها با استفاده از قراضه های معمولی دشوار است ، فراهم می‌سازد [۲۵و۲۷] . به عنوان مثال تولید فولادهای بسیارتمیز Ultra Clean Steel از طریق متالورژی پاتیل Ladle Metallurgy را می‌توان نام برد [۲۴] . احیای‌نهایی اکسیژن باقیمانده در آهن‌اسفنجی با کربن موجود در آن‌در هنگام ذوب ، سبب ایجاد جوشش کربن در فلز مذاب‌وخارج شدن ازت موجود در مذاب می‌شود [۲۴–۲۶] . کاهش نیتروژن باقیمانده در فولاد ، باعث بهبود خواص مکانیکی قطعات ریخته شده‌از جمله افزایش چقرمگی Toughness و کاهش تردی فولاد می‌شود .تاثیر میزان آهن اسفنجی موجوددربار کوره ذوب ،بردرصد عناصر همراه مذاب ،در شکل ۶ ، نمایش داده شده است [۲و۲]

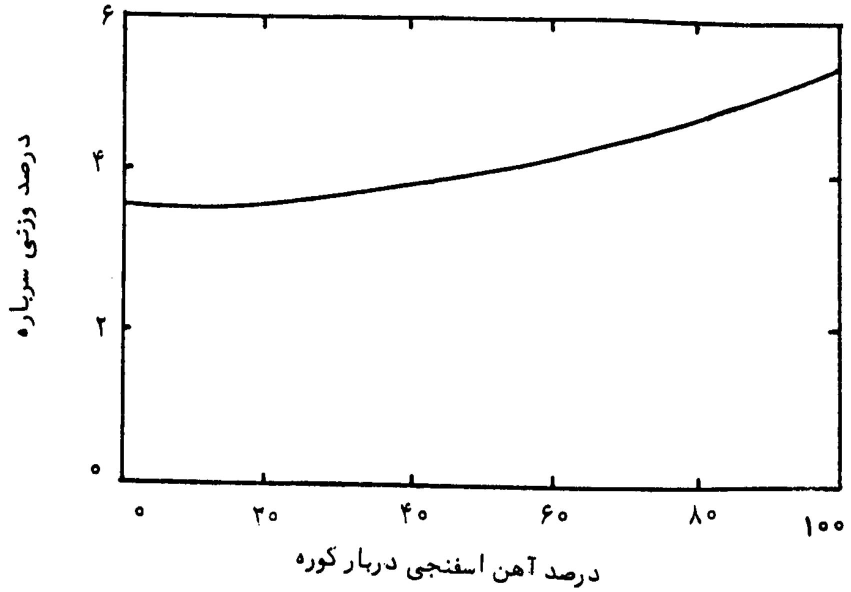
با وجود برتریهای نامبرده ، محدودیتهائی نیز در استفاده از آهن اسفنجی در کوره های ذوب فولاد و چدن وجود دارد .تولید سرباره نسبتا "زیادناشی‌ازوجودباطله‌های سنگی Gangue و اکسیدآهن (شکل۵) ،سبب کاهش بازدهی عمل ذوب و افزایش میزان خوردگی دیواره های دیرگداز می‌شود . البته در کوره های قوس الکتریکی ، تولید حجم بزرگی‌ازسرباره کف‌آلود ناشی از خروج گازهای حاصل ازانجام

فرایند احیای نهایی ،سبب حفظ آستر دیرگداز کوره ازتشعشع مستقیم قوس ها می‌شود [۲۹] . همچنین ایجاد سرباره فعال در اثر خروج گازها می‌تواند سبب کاهش زمان ذوب مواد بارشده وافزایش بازدهی کوره شود [۳۰و۳۱] اگرچه دومورداخیرازمحاسن استفاده از آهن اسفنجی است ، لکن مشکلات مربوط به خارج ساختن سرباره از کوره های ذوب به ویژه کوره های القائی را باید جزء محدودیتهای مربوط به استفاده از این ماده تلقـی کرد . در اینجا یادآور می‌شود که تاثیر افزایش سرباره ، بسته به نوع کوره تغییر میکند . مثلا " در کوره کوپل Cupola کـه دو فاز سرباره و فلز از هم جدا بوده و از دو مسیر مختلف مستمرا " بیرون می‌آیند ، سرباره اضافی مسئله چندان مهمی پدید نمی‌آورد .بلکه تنهاسبب افزایش جزئی درمیزان سوخت و کاهش مختصر در سرعت ذوب شدن مواد می‌شود . [۳۱-۳۶] وجود سرباره اضافی در کوره های القائی مسئله انگیزتراست . زیرا در صورت افزایش ضخامت قشر سرباره ، ادامه بار کردن مواد جامد به علت کندی ذوب شدن آنها در هنگام تماس با این قشر ، فرایند را با اشکال مواجه خواهد ساخت . ضرورت سرباره گیری میانی Intermediate Deslagging در این گونه موارد ، سبب اتلاف وقت و افزایش انرژی مصرفـــی خواهد شد [۵-۸] .

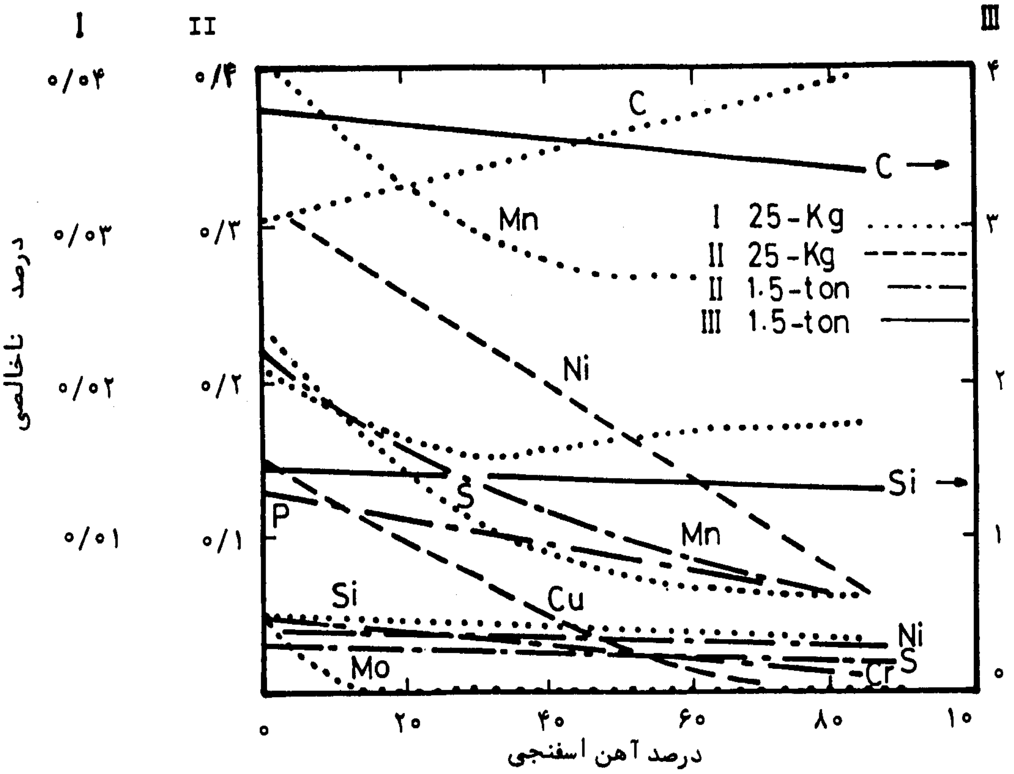
نتیجـــه

توفیق دربرگزیدن آهن اسفنجی به جای آهن قراضه و ششمهای سورل Sorrel (جداول ۲، ۴، ۶) همراه با بهبود نسبی آنالیز شیمیائی فلز مذاب ، نشاندهنده برتری کاربرد آهن اسفنجی در تولید فولاد و چدنهای ویژه مانند چدن نشکن است . تولید نسبتا " کم سرباره ، در صورت به کارگیری روش بارگیری و آنالیز شیمیائی مناسب ، نشان‌دهنده امکان حذف مشکلات ومحدودیتهای موجود در استفاده از این ماده در تولید فولاد و چدن است .این مسئله با وجود گزارشهای مکرردرباره‌مشکل‌تولید سرباره‌درکاربردآهن‌اسفنجی [۷و۲۴و۲۶] ، براساس نتایج حاصل از انجام آزمایشهای ذکر شده دراین گزارش تاحد مطلوبی قابل رفع تشخیص داده می‌شود .

از فوائد دیگر به کاربردن آهن اسفنجی ، امکـــان تخفیف میزان‌کربن دهی‌به چدنهای مذاب‌درصورت دسترسی به آهن اسفنجی پرکربن است . این موضوع به ویژه در شرایط کشور ما که از گرافیتهای وارداتی برای افزایش کربن چدن‌در ریخته‌گریها استفاده می‌شود ، در صورت نتیجه بخش بودن آزمایشهای مربوط به افزایش درصدکربن آهن اسفنجی‌در کوره های احیای مستقیم ، بسیار مطلوب خواهد بود . بــــه علاوه میزان نسبتا "کم سرباره حاصل از ذوب پیوسته آهن اسفنجی در کوره القائی (شکل ۶) ، نشان می‌دهد که بسیاری از مشکلات مربوط به بارگیری منقطع آهن اسفنجی ، همچون نقصان بازدهی ذوب و خورده شدن آستر کوره ، در صورت به کارگیری روش بارکردن پیوسته به سادگی قابل رفع خواهد بود . در خاتمه چنین می‌توان‌نتیجه گرفت که علیرغــــــم محدودیتهای موجود در به کارگیری آهن اسفنجی ، فوائد فراوان کاربردآن برای تولیدفولاد وچدن به‌سادگی می‌تواند ادامه تحقیق درباره استفاده ازاین ماده را توجیه کند .



شکل ۵ ــ تغییر میزان سرباره در اثر افزایش محتوای آهن اسفنجی دربار کوره .



شکل ۶ ــ تاثیر میزان آهن اسفنجی دربار کوره القایی بر محتوای عناصر همراه فلز مذاب .

فهرست منابع

۱- صدرنژاد : سمینار ذوب آهن، اصفهان، ۱۹ تا ۲۱ مهر ماه ۱۳۵۹.

۱۵- دفتر فنی کل، مجتمع فولاد اهواز. برنامه زمانبندی مراحل و نصب و راه اندازی مجتمع فولاد اهواز.

۱۶- صدر نژاد، "زمینه های نوبرای تحقیق در فولاد": سمینار علمی و فنی فولاد، ۵ تا ۷ اردیبهشت ۱۳۶۶، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۶۶.

17- Ahier & Singer, "High Strength Carbon Steel direct from high purity Sponge Iron": Iron and Steel International, Oct. 1983, 159-163.

18- Ahier & Singer, "Processing of High Purity Sponge Iron Pellets to Hot and Cold Rolled Strip":Metals Technology, Nov. 1983, 448-451.

19- Ostrowski & Stephenson, "Use of DRI in Ironmaking": DRI, Tech. & Econom. of Prod. & Use, 128-133,1980.

20- Pamachandran, "Sources of Metallic Iron for the Special Steel Industry": Tool & Alloy Steels, Jan. 1984, 5-8.

22- Sadrnezhaad: Iron and Steel International, 1981, 309-314.

23- Ganguly, "Continuous Feeding of Sponge Iron in Electric Arc Furnace": Tool & Alloy Steels, March & April 1982, 83-87.

24- Brabi, "The benefits and drawbacks of using sponge iron in electric arc steelmaking": Iron & Steel Interna-

2- Cunningham and Stephenson, "Direct Reduction Proceesses": Direct Reduced Iron, Technology and Economics of Production and Use, 64-95, 1980.

3- Dancy: I&SM, May 1983, PP 36-42.

4- Feinman, "Direct Reduction Technology": Metallurgical Treatises, Ed Tien & Elliott, TMS AIME, 211-228, 1983.

5- Pietch: British Foundryman, 1976, PP 89-93.

6- Pietch: A.F.S. International Cast Metals Journal, June 1976,43-76.

7- Handerson, "Use of DRI in Foundries": DRI Technology and Economics of Production and Use, 119-127,1980.

8- Pietch: Modern Casting, Sep. 1976, 50-55.

9- Brown: Iran and Steel Engineer, June 1976, 37-46.

10- Moore: Journal of Metals,April 1983, 53-62.

11- Reddy, "Use of DRI in Steelmaking": DRI, Tech. & Econom. of Prod. & Use, 1980.

12- I&SM, April 1986, 13.

13- I&SM, April 1985, 10.

14- I&SE, June 1976.

tional, August 1976, 257-262.

25- Sibakin, Hookings & Roeder, "Electric Arc steelmaking with Continuously Charged Reduced Pellets": Journal of the Iron and Steel Institute, Oct. 1967. 1005-1017.

26- Ganguly & Aswath: Tool & alloy steels, July 1983, 245-254.

27- Rodriguez, Carrillo and Jackson, "Concepts Relevant to Steelmaking with HYL Metallized Pellets": Iron and Steel Engineer, Jan 1977, 57-60.

28- Brown & Reddy: I&SM, Dec: 83, 34-40.

29- Brown & Reddy, "Electric arc furnace steelmaking with sponge iron": Ironmaking & Steelmaking, 1979,24-31.

30- Sadrnezhaad and Elliott: Iron and Steel Internationa, 1980, 327-404.

31- Elliott, Nauman and Sadrnezhaad: Proceedings of the Int. Iron and Steel Congress, TMS-AIME, Chicago, Ill.,April 1978, 397-404.

32- Geck & Maschlanka: Foundry Trade Journal, Nov. 1976, 969-989.

33- Ali & Chatterjee: Tool & alloy steels, July 1982, 235-241.

34- Hafner & Clow: Trans. of American Foundrymen's. Vol 76, 1968, 53-59.

35- Korolev, Lekakh, Bely, Bernado and Dovornichenco: Steel in the USSR, Vol 8, 1978, 57-59.

36- Udupa, Ghosh and Chattergee: Indian Foundry Journal, Jan 1985,26-28.