خوردگی شیمیایی نسوزهای اسیدی و بازی مورد استفاده در کوره‌های القایی ذوب چدن و فولاد

(قسمت دوم)

■ مهندس سید رضا میر محمدزاده نودهی
■ شرکت فنی مهندسی فولادسازان گیلوان

بخش دوم

۳- فرسایش یا خوردگی جداره نسوز سیلیسی (SiO_2) از طریق واکنش‌های شیمیایی

خوردگی جداره نسوز سیلیسی از طریق واکنش‌های شیمیایی بین عناصر و ترکیبات مذاب چدن با جداره معمولا به دو صورت ذیل صورت می‌گیرد:

الف- فرسایش یا خوردگی جداره سیلیسی از طریق واکنش‌های شیمیایی مستقیم عناصر مذاب با جداره.

ب- فرسایش یا خوردگی جداره سیلیسی از طریق واکنش‌های شیمیایی بین ترکیبات سرباره و شلاکه موجود در مذاب با جداره.

۱-۳- فرسایش یا خوردگی جداره سیلیسی از طریق واکنش‌های شیمیائی مستقیم عناصر مذاب با جداره .....

به علت این که مکانیزم انجام این نوع خوردگی از طریق واکنش‌های شیمیائی بین دو فاز (فاز ذوب و لایه جداره نسوز) می‌باشد بنابراین ابتدا به بررسی مختصر درباره شیمی این دو فاز (شیمی مذاب چدن و شیمی جداره نسوز) پرداخته می‌شود.

منظور از شیمی مذاب چدن‌ها عناصر تشکیل دهنده مذاب می‌باشد که با توجه به آنالیز نوع مذاب مورد نیاز، از عناصری از قبیل کربن، سیلیسیم، منگنز، گوگرد، فسفر، کرم، قلع، نیکل، منیزیم و مولیبدن تشکیل شده است (البته قابل ذکر است عناصر دیگری نظیر وانادیم، نیوبیم و تیتانیم ... نیز ممکن است در تولید بعضی از قطعات استفاده شود. ولی درصد تولید این نوع قطعات بسیار بسیار ناچیز می‌باشد) و منظور از شیمی جداره نسوز ترکیب آن می‌باشد که از سیلیس و اکسید بر تشکیل شده است.

با مطالعه دیاگرام Ellingham – Richardson جهت بررسی چگونگی انجام واکنش شیمیایی بین عناصر مذاب و جداره سیلیسی نتیجه می‌گیریم که عموماً دو عنصر کربن و منیزیم در شیمی مذاب چدن‌ها می‌توانند در شرایط خاص به صورت‌های ذیل با جداره سیلیسی وارد واکنش شیمیایی مخرب شوند:

الف- عنصر کربن: این عنصر در شرایط خاص می‌تواند با سیلیس جداره وارد واکنش شیمیایی شده و سیلیس جداره را احیا کند در نتیجه باعث خورده شدن جداره کوره شود. این واکنش در منابع مختلف با نام‌های متفاوتی از جمله جوشش کربن یا جوشش سیلیس بیان می‌گردد.

ب- عنصر منیزیم: این عنصر نیز می‌تواند با سیلیس جداره وارد واکنش شیمیایی شده و باعث خورده شدن جداره کوره گردد. این پدیده غالبا در تهیه ذوب چدن داکتیل که از برگشتی چدن نشکن استفاده می‌شود صورت می‌گیرد.

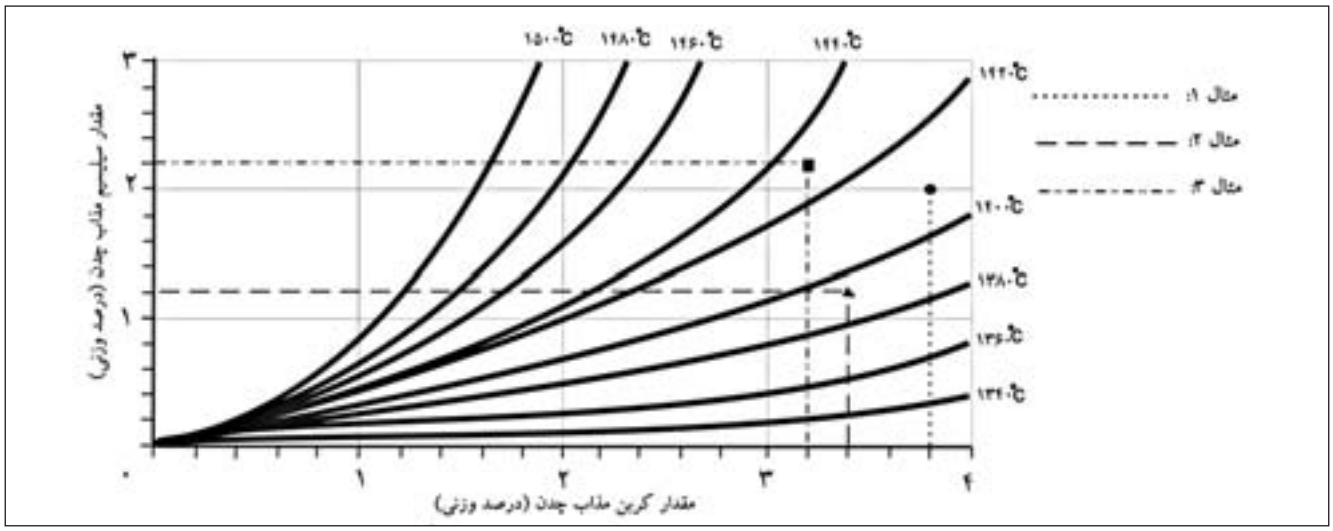
۱-۲-۳- واکنش احیاءسیلیس جداره نسوز توسط کربن مذاب (واکنش جوشش کربن)

گاهی اوقات جهت نگهداری و یا تهیه انواع چدن‌ها در کوره‌های القائی با جداره سیلیسی در شرایط خاص (در شرایطی که درصدهای کربن، سیلیسیم و دمای مذاب مناسب باشد) واکنش احیاء سیلیس جداره نسوز توسط کربن مذاب به شکل ذیل صورت می‌گیرد:

$$2C(\text{موجود در مذاب}) + SiO_2(\text{موجود در جداره و مذاب}) \longrightarrow Si(\text{انتقال به مذاب}) + 2CO(\text{گاز})$$

با انجام این واکنش شیمیایی خوردگی شدید جداره نسوز صورت گرفته و در نتیجه کاهش عمر جداره نسوز را در برخواهد داشت.

جهت جلوگیری از خوردگی جداره نسوز از طریق جوشش کربن باید مقادیر کربن با سیلیسیم و دمای مذاب به گونه‌ای کنترل شوند که شرایط ترمودینامیکی واکنش جوشش کربن فراهم نگردد. بدین منظور با توجه به مقادیر کربن، سیلیسیم و دمای مذاب و پارامترهای ترمودینامیکی، نمودار ۱ طراحی شده تا بوسیله آن بتوان دمای مناسب جهت نگهداری ذوب چدن با توجه به مقادیر کربن و سیلیسیم در کوره را انتخاب کرد.



▲ نمودار ۱- نمودار تعادلی ایزوترام‌های احیاء سیلیس جداره توسط کربن مذاب

روش استفاده از نمودار تعادلی احیاء سیلیس جداره بوسیله کربن مذاب

ابتدا مقادیر سیلیسیم، کربن را روی محورهای نمودار مشخص می‌کنیم .

محل تلاقی دو خط عمود بر هم مقادیر سیلیسیم، کربن، دمای تعادل (Te) را نشان می‌دهد. در این دما واکنش جوشش کربن در حالت تعادل است.

برای این که واکنش جوشش کربن انجام نگیرد باید دمای نگهداری مذاب زیر دمای تعادل باشد در نتیجه هر دمایی که زیر درجه حرارت تعادل انتخاب گردد جهت کنترل مذاب مناسب خواهد بود و جوشش کربن صورت نمی‌گیرد. [۷و۱]

۲-۱-۳- واکنش احیاء سیلیس جداره نسوز توسط عنصر منیزیم مذاب

معمولاً در تهیه ذوب چدن داکتیل از انواع برگشتی‌های داکتیل استفاده می‌شود که معمولاً در این نوع برگشتی‌ها انواع مختلفی از ترکیبات منیزیم وجود دارد که اثر سه ترکیب یا عنصر و بر جداره به صورت ذیل می‌باشد:

۱-۲-۱-۳- اکسید منیزیم: این ترکیب در شرایط مناسب با جداره واکنش شیمیایی داده و باعث ضخیم شدن جداره می‌گردد.

۲-۲-۱-۳- سولفید منیزیم: این ترکیب در شرایط مناسب با جداره واکنش شیمیایی داده و باعث خوردگی و نازک شدن جداره می‌گردد. چگونگی تاثیر این ترکیب در قسمت بعد تشریح می‌گردد.

۳-۲-۱-۳- منیزیم خالص: این عنصر در شرایط مناسب با جداره واکنش شیمیایی داده و باعث خوردگی و نازک شدن جداره می‌گردد. چگونکی تاثیر این عنصر به شکل ذیل می‌باشد:

هنگامی که در تهیه مذاب چدن نشکن از برگشتی این نوع چدن استفاده می‌شود مقداری منیزیم خالص به مذاب وارد می‌گردد و عنصر منیزیم طبق نمودار Ellingham-ichardson می‌تواند با سیلیس جداره واکنش شیمیایی مطابق با فرمول زیر داده و بدین ترتیب باعث احیاء سیلیس جداره شود. در نتیجه باعث خوردگی جداره می‌گردد:

$$Mg \text{ (در مذاب)} + SiO_2 \text{ (در جداره و مذاب)} \rightarrow$$
$$Si \text{(انتقال به مذاب)} + MgO \text{ (انتقال به مذاب)}$$

مطابق این واکنش اثرات مخربی به صورت همزمان در دو فاز واکنش (فاز مذاب و لایه جداره نسوز) صورت می‌گیرد که عبارتند از:

۴-۲-۱-۳- خوردگی شیمیایی شدید جداره (اثر مخرب در فاز جداره):

همانطور که از فرمول شیمیایی ملاحظه می‌گردد با انجام این واکنش سیلیس جداره توسط منیزیم مذاب احیاء شده و بدین ترتیب از فاز جداره جدا می‌گردد و در نتیجه با گذشت زمان فرآیند نازک شدن جداره صورت می‌گیرد.

۵-۲-۱-۳- تغییر آنالیز مذاب و افزایش آلودگی آن (اثر مخرب در شیمی فاز مذاب):

با انجام این واکنش به صورت همزمان دو اتفاق در محیط مذاب ایجاد می‌گردد. اولاً مقداری سیلیسیم که ناشی از احیاء سیلیس جداره است وارد محیط مذاب می‌گردد در نتیجه مقدار سیلیسیم مذاب را افزایش می‌دهد. ثانیاً اکسید منیزیم تولید شده وارد مذاب می‌شود و آلودگی مذاب را افزایش می‌دهد.

شایان ذکر است به علت این که مقدار منیزیم خالص در قطعات برگشتی بسیار ناچیز بوده و همچنین بعد از ذوب برگشتی‌ها درصد زیادی از این منیزیم ترکیب می‌گردد بنابراین تاثیر منیزیم خالص بسیار ناچیز می‌باشد.[۱]

۲-۳- فرسایش یا خوردگی جداره نسوز سیلیسی (اسیدی) از طریق واکنش‌های شیمیایی بین ترکیبات شلاکه با جداره

همانطور که قبلا ذکر گردید سرباره و شلاکه چدن‌ها از ترکیباتی مانند اکسیدسیلیسیم، اکسیدآلومینیم، اکسیدمنگنز، اکسیدآهن، اکسیدمنیزیم، سولفیدمنیزیم، اکسیدکلسیم و ... تشکیل شده است که مقدار و درصد این ترکیبات با توجه به نوع شارژ، مواد آلیاژی و... مورداستفاده متغیر می‌باشد اما در مجموع چدن‌ها غالبا دارای

سرباره اسیدی می‌باشند. هر یک از ترکیبات موجود در سرباره اثرات متفاوتی در جداره نسوز سیلیسی دارند به طور مثال ترکیباتی مانند اکسید آلومینیم و اکسید منیزیم باعث ضخیم شدن جداره می‌شوند و ترکیباتی مانند سولفیدمنیزیم، اکسیدآهن، اکسید منگنز و اکسیدکلسیم باعث خوردگی و کاهش ضخامت جداره می‌گردند بنابراین معمولا ترکیبات تشکیل دهنده سرباره و شلاکه چدن‌ها را می‌توان با توجه به چگونگی اثرشان در جداره نسوز سیلیسی به دو گروه بزرگ تقسیم کرد:

۱.ترکیباتی که باعث خوردگی و نازک شدن جداره نسوز سیلیسی می‌گردند.

۲.ترکیباتی که باعث ضخیم شدن (Build Up) جداره نسوز سیلیسی می‌گردند. (در این مقاله به فرآیند ضخیم شدن جداره پرداخته نمی‌گردد).

حال به طور جداگانه به تشریح چگونگی فرآیند نازک شدن و خوردگی جداره سیلیسی از طریق واکنش‌های ذیل می‌پردازیم:

۱. خوردگی و نازک شدن جداره سیلیسی از طریق واکنش با اکسید آهن

۲. خوردگی و نازک شدن جداره سیلیسی از طریق واکنش با اکسید منگنز

۳. خوردگی و نازک شدن جداره سیلیسی از طریق واکنش با سولفیدمنیزیم

لازم به ذکر است اکسید کلسیم یکی از مضرترین ترکیباتی است که با جداره اسیدی وارد واکنش شیمیایی شده و باعث خوردگی آن می‌گردد اما به دلیل این که مقدار این ترکیب در سرباره بسیار ناچیز است در نتیجه خوردگی جداره توسط این ترکیب آن چنان محسوس نمی‌باشد بنابراین از تشریح چگونگی اثر این ترکیب بر جداره سیلیسی خودداری می‌گردد.

۱-۲-۳- خوردگی و نازک شدن جداره سیلیسی از طریق واکنش شیمیایی با اکسید آهن

اکسید آهن با نقطه ذوب 1370^0C با سیلیس جداره با نقطه ذوب $1713\ ^0C$ در بالای دمای 1400^0C واکنش شیمیایی داده و ترکیبی به نام فایالایت (Fayalite) با نقطه ذوب 1217^0C مطابق فرایند ذیل تولید می‌کند.

$$2FeO(\text{موجود در مذاب}) + SiO_2(\text{جداره}) \rightarrow 2FeO \cdot SiO_2\ (\text{فایالایت})$$

به علت این که فایالایت تولید شده دارای نقطه ذوب پایین تری نسبت به دمای مذاب چدن‌ها می‌باشد در نتیجه هنگامی که این ترکیب در بالای دمای 1400^0C تشکیل گردید به صورت مذاب در آمده و به راحتی از جداره کوره جدا شده و وارد مذاب می‌گردد و بدین ترتیب باعث خورده شدن و نازک شدن جداره و همچنین آلودگی مذاب می‌شود.

همانطور که از چگونگی تولید فایالایت مشاهده می‌گردد می‌توان نتیجه گرفت که:

۱.به علت این که این ترکیب در دمای بالای 1400^0C تشکیل می‌گردد بنابراین با افزایش دمای ذوب، احتمال تشکیل این ترکیب بیشتر شده و در نتیجه فرآیند خورده شدن جداره افزایش می‌یابد.

۲.با افزایش اکسیدآهن در مذاب احتمال برخورد اکسیدآهن با سیلیس جداره بیشتر شده در نتیجه تولید فایالایت نیز افزایش می‌یابد بنابراین سرعت فرآیند خورده شدن جداره نیز افزایش می‌یابد.به علت این که تشکیل فایالایت از طریق یک واکنش شیمیایی انجام می‌گیرد بنابراین بهترین اقدام جهت جلوگیری از آن، بررسی عوامل کاهش دهنده واکنش می‌باشد بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فرآیند کاهش واکنش تشکیل فایالایت بر دو اصل زیر استوار است:

۱-۱-۲-۳- کنترل دمای مذاب:

همانطور که ذکر گردید واکنش تشکیل فایالایت و در نتیجه خورده شدن جداره در بالای دمای 1400^0C انجام می‌گیرد بنابراین با کنترل و جلوگیری از افزایش بی جهت دمای مذاب به بالای دمای 1400^0C می‌توان از انجام این واکنش جلوگیری کرد. این مهم با مدیریت فرآیند اضافه کردن شارژ متوالی به مذاب و همچنین کنترل توان اعمال شده به کوره قابل انجام می‌باشد.

۲-۲-۳- افزایش مقدار اکسیدآهن در مذاب:

اکسیدآهن می‌تواند به چند روش ذیل در مذاب افزایش یابد:

الف- واکنش مذاب چدن با اکسیژن موجود در اتمسفر:

در طول فرآیند تهیه مذاب چدن در کوره‌های القایی همواره بین مذاب و اتمسفر هوا تماس برقرار می‌باشد در نتیجه همیشه مقداری اکسیژن موجود در اتمسفر هوا به داخل مذاب نفوذ کرده و پس از طی مراحلی به حالت اتمی تبدیل شده و در نتیجه با آهن موجود در مذاب چدن واکنش می‌دهد و مقداری FeO تولید می‌گردد. در این شرایط جهت کاهش مقدار FeO در مذاب از طریق انجام واکنش شیمیایی بین آهن و اکسیژن هوا بهتر است حتی المقدور از تلاطم بی جهت مذاب در کوره جلوگیری گردد تا مقدار کمتری اکسید آهن در مذاب تولید شود.

ب- اکسیداسیون شارژ فلزی جامد با سطوح زیاد در هنگام ذوب:

یکی از مهمترین بخش‌های فرآیند تهیه مذاب انتخاب و استفاده بهینه از انواع قراضه می‌باشد. در این رابطه اندازه و چگالی قراضه در اکسایش مواد جامد در هنگام اجرای فرایند تهیه مذاب بسیار مهم می‌باشد. در واقع هر چه چگالی قراضه بیشتر و اندازه آن کوچکتر باشد میزان فروروی آن در مذاب بیشتر شده در نتیجه میزان اکسیداسیون آن از طریق واکنش با اتمسفر کاهش می‌یابد بنابراین پیشنهاد می‌شود جهت کاهش اکسید آهن از این طریق، از قراضه با چگالی نزدیک به چگالی مذاب و با اندازه ۷۰-۶۰ درصد اندازه قطر کوره استفاده گردد.

پ- استفاده از قراضه‌های زنگ زده در شارژ کوره:

قراضه‌های زنگ زده که حاوی مقدار بسیار زیادی اکسید آهن

می‌باشند از دیرباز مورد اســتفاده ریخته‌گران بوده است. استفاده از این نوع قراضه باعث می‌شــود که مقدار اکســید آهن در مذاب بیشــتر شده و در نتیجه احتمال واکنش شیمیایی بین اکسیدآهن و جــداره دیرگداز افزایش یابد بنابراین ایــن عامل باعث می‌گردد ســرعت خوردگی جداره بســیار شــدید گــردد در نتیجه توصیه می‌گردد جهت اســتفاده از قراضه‌های زنــگ‌زده در صورت امکان این قراضه شــات بلاســت شــوند و یا در مراحل پایانی تهیه ذوب به کوره اضافه گردند تا زمان کمتری برای واکنش اکســید آهن و جداره دیرگداز بوجود بیاید.

ت- استفاده از اکسید آهن در مذاب جهت سوزاندن بعضی از عناصر:

گاهی اوقات در هنگام آلیاژسازی و تهیه مذاب با آنالیز مناسب بایــد مقدار بعضی از عناصــر در مذاب کاهش یابــد در این حالت روش‌های متعددی وجود دارد که متناســب با شــرایط باید روش مناســب را انتخاب کرد. یکی از روش‌هــای کاهش مقدار بعضی از عناصر موجود در مذاب اســتفاده از روش سوختن این عناصر یعنی ترکیب این عناصر با اکســیژن و ســپس خارج کــردن محصولات واکنش از محیط مذاب می‌باشــد. گاهی اوقات در این روش جهت تامین اکســیژن مورد نیــاز از اضافه کردن اکســید آهن به مذاب اســتفاده می‌کنند. ایــن روش که امروزه متداول نمی‌باشــد دارای چندین عیب مهم می‌باشد که عبارتند از:

۱. افزایش آلودگی مذاب و در نتیجه افزایش ضایعات واحد تولیدی:

اکســید آهن که به مــذاب اضافه می‌گردد باعــث افزایش مقدار شــلاکه و ترکیبات ناخواســته در مــذاب می‌گردد و این اکســیدها می‌تواننــد در هنگام باراریزی وارد قالب شــده و باعث افزایش درصد ضایعات قطعات شوند.

۲. افزایش تلفات همه عناصر:

هنگامی که اکسیدآهن به مذاب اضافه می‌شود نه تنها عنصری که پیش بینی شــده مقدار آن کاهش یابد ســوخته می‌شود بلکه به همــراه آن نیز مقادیــری متفاوت از غالب عناصر نیز ســوخته می‌شــود که این امر نه تنها در افزایش آلودگی اثر دارد بلکه باعث افزایش تلفات عناصر دیگر شده و موجب می‌شود برای جبران آن عناصــر به مذاب فروآلیاژهای متناســب با آن عناصر اضافه شــود. [۷و۶و۲و۱]

۲-۲-۳- خوردگی و نازک شــدن جداره سیلیســی از طریق واکنش شیمیایی با اکسید منگنز

اکســید منگنز با نقطه ذوب ۱۷۸۵°C با ســیلیس جداره با نقطه ذوب ۱۷۱۳°C در بالای دمای ۱۴۰۰°C واکنش شــیمیایی داده و یک ترکیبی به نام تفوریت (Teforite) با نقطه ذوب ۱۳۴۵°C مطابق فرایند ذیل تولید می‌کند:

(تفوریت) $2MnO .SiO_2$ ← (در جداره) SiO_2 + (در مذاب) $2MnO$

به علت این که تفوریت تولید شده دارای نقطه ذوب پایین‌تری نســبت به دمای مذاب چدن‌ها می‌باشــد بنابراین هنگامی که این ترکیب در بالای دمای ۱۴۰۰°C تشکیل گردید به صورت مذاب در آمده و به راحتی از جداره کوره جدا شــده و وارد مذاب می‌گردد و بدین ترتیب باعث خورده و نازک شــدن جداره و همچنین آلودگی مذاب می‌گردد.

همانطور که از چگونگی تولید تفوریت مشــاهده می‌گردد می‌توان نتیجه گرفت که:

الــف- به علت این کــه این ترکیب در بــالای دمای ۱۴۰۰°C تشــکیل می‌گردد بنابراین با افزایش دمای ذوب احتمال تشــکیل این ترکیب بیشــتر شــده و در نتیجه فرآیند خورده شــدن جداره افزایش می‌یابد.

ب- با افزایش اکســید منگنز در مذاب احتمال برخورد اکســید منگنز با ســیلیس جداره بیشتر شــده در نتیجه تولید تفوریت نیز افزایــش می‌یابد بنابراین فرآیند خورده شــدن جداره نیز ســریعتر می‌گردد.

به علت این که تشــکیل تفوریت از طریق یک واکنش شــیمیایی انجام می‌گیرد در نتیجه بهترین روش جهت جلوگیری از آن بررســی عوامل کاهش دهنده واکنش می‌باشــد بنابراین فرایند کاهش واکنش تشکیل تفوریت بر دو اصل زیر استوار است:

الف- کنترل دمای مذاب

همانطورکــه ذکــر گردید واکنش تشــکیل تفوریــت و در نتیجه خورده شــدن جداره در بــالای دمای ۱۴۰۰ انجــام می‌گیرد بنابراین با کنترل و جلوگیــری از افزایش بی‌جهت دمای مذاب به بالای دمای ۱۴۰۰می‌توان از انجام این واکنش جلوگیری کرد.این مهم با مدیریت فرآینــد اضافه کردن شــارژ متوالی به مــذاب و همچنین کنترل توان اعمال شده به کوره قابل انجام می‌باشد.

ب- کاهش مقدار اکسید منگنز در مذاب:

بهترین روش جهت کاهش مقدار اکســید منگنز در مذاب افزودن فروآلیاژ این عنصر و قراضه و برگشــتیی حاوی منگنز بالا به کوره در مراحل پایانی فرایند تهیه مذاب می‌باشد. [۷و۶و۲و۱]

۲-۲-۳- خوردگی و نازک شــدن جداره سیلیســی از طریق واکنش شیمیایی با سولفید منیزیم

ســولفید منیزیم در مــذاب چدنی که دارای ۱٪ سیلیســیم و ۰/۰۲٪ گوگرد اســت مطابــق واکنش ذیل در دمــای ۱۵۳۸°C با سیلیس جداره سیلیسی وارد واکنش شده و باعث احیاء و در نتیجه خورده شدن جداره سیلیسی می‌گردد.

(گاز) $[Si]+S_2$ + (جامد) $2\,Mgo$ ← (جداره) Sio + (در مذاب) $2Mgs$

همانطــور که از چگونگی واکنش فوق مشــاهده می‌گردد می‌توان نتیجه گرفت که:

الف- بهترین روش جهت جلوگیری از واکنش مخرب فوق کنترل دمای مذاب و جلوگیری از افزایش بی‌رویه آن می‌باشد.

ب- کنتــرل مدت زمــان تماس بین ســولفید منیزیم در مذاب با جداره سیلیســی از طریق افزودن برگشــتی چدن داکتیل در مراحل آخر تهیه مذاب. [۴و۳]

بخش سوم

۴-خوردگی شیمیایی نسوزهای بازی مورد استفاده در کوره‌های القایی

تهیه و تولید مذاب فولاد در کوره‌های القایی با دیرگداز بازی امروزه بسیار متداول می‌باشد. دلایل متعددی در انتخاب نسوز با خواص بازی در کوره‌های القایی جهت تهیه مذاب فولاد وجود دارد که مهمترین آنها عبارتند از:

۴-۱-دمای دیرگدازی بسیار بالای نسوزهای بازی:

تماس مستقیم و مداوم مواد دیرگداز با گرما و جریانات گرمایی از شرایط بسیار طبیعی و کاربردی این مواد می‌باشد بنابراین یکی از مهمترین خواص نسوزها، مقدار دیرگدازی آنها با توجه به شرایط کاربردی می‌باشد. در فرآیند تهیه مذاب فولاد به علت این که دمای ذوب و تخلیه فولادها (Tapping Temperature) معمولا بسیار بالا می‌باشد بنابراین باید مواد دیرگدازی را جهت کوره انتخاب کرد که در دمای تخلیه فولاد پایدار بوده و به نقطه نرم شوندگی (Softneing) نرسد. در این رابطه بعضی از انواع دیرگدازهای اسپینلی خانواده $MgO _ Al_2O_3$ بسیار مناسب می‌باشند زیرا نه تنها در دمای تهیه مذاب فولاد پایدار بوده و به نقطه نرم شوندگی که باعث کاهش شدید عمر جداره می‌شود، نمی‌رسند بلکه دارای دیگر خواص مورد نیاز نیز می‌باشند.

۴-۲- بازی بودن سر باره فولادها و در نتیجه تناسب شیمیایی آن با نسوزهای بازی:

تناسب شیمیایی بین سرباره مذاب تولید شده در کوره با نسوز مورد مصرف یکی از مهمترین عوامل تاثیرگذار در مقدار و سرعت خوردگی جداره می‌باشد. در رابطه با مذاب فولادها عموما ترکیب شیمیایی سرباره بازی بوده و به عبارت دیگر شاخص درجه بازی سرباره در فولادها بزرگتر از ۱ می‌باشد ($B>1$) بنابراین اگر در فرایند تهیه فولاد در کوره‌های القایی از نسوزهای بازی استفاده گردد، تناسب شیمیایی بین سرباره فولادها و نوع نسوز مصرفی باعث می‌شود که کمترین مقدار خوردگی در هنگام تولید فولاد متوجه دیرگداز گردد.

نکته قابل توجه دراین رابطه این است که بعضی از ترکیبات سرباره که خاصیت بازی دارند مانند اکسید منگنز و اکسید آهن نیز با نسوز بازی وارد واکنش شیمیایی شده و باعث خوردگی و فرسایش جداره نسوز می‌گردند ولی تاثیر منفی آنها نسبت به ترکیبات اسیدی مانند اکسید سیلیسیم بسیار کمتر است.

۴-۳-هدایت حرارتی بسیار بالای نسوزهای بازی نسبت به نسوزهای اسیدی:

یکی دیگر از عوامل بسیار مهم در انتخاب نسوزهای بازی جهت تهیه مذاب فولاد در کوره‌های القایی بالا بودن هدایت حرارتی این نسوزها نسبت به نسوزهای اسیدی می‌باشد. هدایت حرارتی مناسب نسوزهای بازی باعث افزایش ایمنی کوره می‌شود در واقع هدایت حرارتی بالا به دو طریق ایمنی کوره را افزایش می‌دهد:

۴-۳-۱- با افزایش هدایت حرارتی مقاومت به شوک حرارتی افزایش می‌یابد:

با افزایش مقدار هدایت حرارتی جداره، مقاومت به شوک حرارتی افزایش یافته در نتیجه احتمال بروز و اشاعه ترک در جداره کاهش می‌یابد، این عامل باعث می‌شود نفوذ مذاب فولاد به جداره از طریق ترک کاهش یافته بنابراین ایمنی کوره نیز افزایش یابد.

۴-۳-۲-با افزایش هدایت حرارتی ضخامت لایه پودری جداره نسوز کاهش کمتری می‌یابد:

با افزایش هدایت حرارتی جداره نسوز، ضخامت لایه پودری یا زینتر نشده که به عنوان لایه ایمن کوره و کویل در مقابل نفوذ مذاب می‌باشد کاهش کمتری می‌یابد در نتیجه ایمنی کوره از این طریق افزایش می‌یابد.

۴-۴- لایه‌ها در جداره نسوز:

پس از فرآیند زینتر جرم نسوز و استفاده از آن، در جداره دیرگداز کوره ۴ لایه به ترتیب از سمت مذاب به کویل کوره تشکیل می‌شود که عبارتند از:

۴-۴-۱- لایه کاری (Working Layer):

قسمتی از نسوز جداره که در تماس دائمی با مذاب بوده و به علت نفوذ مذاب و شلاکه به داخل ان به صورت مخلوطی از مذاب و نسوز و به رنگ سیاه ظاهر می‌گردد. این لایه بسیار ترد و شکننده بوده و در نتیجه قابلیت ایجاد و اشاعه ترک در آن بسیار زیاد می‌باشد.

۴-۴-۲- لایه زینتر شده (Sintered Layer):

بعد از لایه کاری، لایه زینتر شده قرار دارد که دارای ضخامت بیشتری نسبت به لایه کاری می‌باشد. این لایه نیز مانند لایه کاری بسیار ترد و شکننده بوده و در نتیجه قابلیت ایجاد واشاعه ترک در آن بسیار زیاد می‌باشد.

۴-۴-۲- لایه نیمه زینتر شده (Half Sintered Layer):

این لایه ترد و شکننده که فرآیند زینتر در آن به طور کامل انجام نشده از یک طرف به لایه زینتر شده و از طرف دیگر به لایه پودری محدود می‌گردد، این لایه نیز بسیار ترد و شکننده می‌باشد. در این لایه دانه‌های درشت نسوز که در زمینه یکسان قرار دارد قابل مشاهده می‌باشد.

۴-۴-۳- لایه پودری (Unsintered or Powder Layer):

این لایه در مجاورت کویل کوره قرار دارد و به علت این که فرایند زینتر در آن انجام نگرفته است به شکل پودرمی‌باشد. مهمترین وظیفه این لایه متوقف کردن مذاب نفوذ کرده از طریق ترک به دیرگداز در جهت جلوگیری از برخورد با کویل می‌باشد.

هر چه مقدار و ضخامت این لایه بیشتر باشد احتمال عبور مذاب نفوذ کرده از آن کمتر می‌گردد و در نتیجه ایمنی کوره نیز بیشتر می‌شود. ضخامت و مقدار این لایه به عوامل متعددی مانند مقدار هدایت حرارتی خاک نسوز، نوع و مقدار هدایت حرارتی لایه ایزولاسیون بین لایه دیرگداز و کویل، دمای کاری کوره و ... بستگی دارد. در واقع هر چه هدایت حرارتی خاک نسوز بیشتر می‌گردد به علت این که از تمرکز حرارتی جلوگیری به عمل می‌آید در نتیجه ضخامت این لایه نیز بیشتر

می‌شـود. در رابطه با مقایسـه هدایت حرارتی نسوزهای بازی و اسیدی این نکته قابل ذکر اسـت که هدایت حرارتی نسوزهای بازی چند برابر نسوزهای اسیدی می‌باشد و چون دمای ذوب و تخلیه فولادها بسیار بالا می‌باشد بنابراین ضخامت لایه پودری و در نتیجه ایمنی کوره‌ها نیز در هنگام استفاده از نسوزهای بازی جهت تولید فولاد بیشتر می‌گردد و این نکته یکی دیگر از عوامل اسـتفاده از نسوزهای بازی به جای نسوزهای سیلیسی در تولید فولاد می‌باشد.

بعد از توضیح مختصر درباره علت اسـتفاده از نسـوز با خاصیت بـازی جهت تهیه مذاب فولاد ابتدا نسـوزهای بازی متداول را در این رابطه معرفی کرده و سپس به بررسی چگونگی فرسایش و یا خوردگی جداره نسـوز بازی از طریق واکنش‌های شیمیایی با عناصر و ترکیبات فولاد مذاب می‌پردازیم. [۹]

۵-انواع نسوزهای بازی مورد استفاده در تهیه فولاد

غالبا جهت تهیه مذاب فولاد در کوره‌های القایی از دو گروه نسـوز ذیل جهت لایه دیرگداز کوره استفاده می‌گردد:

جرم نسوز با اکسید منیزیم (MgO) بالا

جرم‌های نسوز اسپینلی از خانواده Al_2O_3-MgO

جهت آشـنایی بیشتر به تشریح مختصر هر یک از جرم‌های نسوز فوق الذکر می‌پردازیم:

۵-۱- جرم نسوز با اکسیدمنیزیم بالا:.....

این نوع نسـوز از قدیمی‌ترین نسوزهای مورد استفاده جهت تولید و ذوب فولاد در کوره‌های القایی می‌باشد اما امروزه به تدریج با توسعه تولید انواع فولادها و مشـکلاتی که جهت اسـتفاده از این جرم نسوز بوجود آمده، کاربرد این نسـوز بسـیار محدود گشته و گروه نسوزهای اسپینلی به تدریج جایگزین این نوع نسوزها گشته‌اند. مهمترین کاربرد جرم‌های نسـوز بااکسید منیزیم بالا، جهت تهیه مذاب فولاد با منگنز بالا می‌باشد.

۵-۲- جرم‌های نسوز اسپینلی از گروهAl_2O_3-MgO:.....

ایـن نوع جرم نسـوز به علت خواص بسـیار مناسـب و در نتیجه محدودیت‌های کاربردی کمتر،امروزه در صنعت فولاد بسـیار متداول گشته‌اند.

این نوع از نسـوزها به دو گروه بـا آنالیز متفاوت و ماکزیمم دمای کاربردی گوناگون تقسیم می‌شوند:

۵-۳- نسـوزهای اسـپینلی بـا مقـدار اکسـید منیزیـم بـالا ($MgO-Al_2O_3$):.....

این نوع نسوزها با توجه به آنالیز به گروه‌های متفاوت با کاربردهای ویژه تقسیم می‌شوند.

۵-۴- نسـوزهای اسـپینلی بـا مقـدار اکسـید آلومینیـم بـالا (Al_2O_3-MgO):.....

این نوع نسـوزها به علت خواص بسیار مناسب و در نتیجه کاربرد بسـیار زیاد در جهت تولید انواع فولادها در شرایط گوناگون به عنوان بهترین نوع نسوز در خانواده نسوزهای بازی شناخته شده‌اند.[۹]

۶-فرسایش یا خوردگی جداره نسوزاسپینلی از طریق واکنش‌های شیمیایی

بـه علت این که امروزه در صنعت ذوب فـولاد در کورهای القایی بیشـتر از نسوزهای اسپینلی استفاده می‌گردد بنابراین در این قسمت فقط به خوردگی این نسوزها پرداخته می‌شود.

خوردگی شـیمیایی جداره نسوز اسـپینلی از طریق واکنش‌های شـیمیایی عناصر و ترکیبات مذاب فولاد، معمـولا به دو صورت ذیل صورت می‌گیرد:

- فرسـایش یا خوردگی جداره نسوز اسـپینلی از طریق واکنش‌های شیمیائی مستقیم عناصر مذاب با جداره
- فرسایش یا خوردگی جداره نسوز اسپینلی از طریق واکنش‌های شـیمیایی بین ترکیبات سـرباره و شـلاکه موجود در مذاب با جداره

۶-۱- فرسایش یا خوردگی جداره نسوز اسپینلی از طریق واکنش‌های شیمیایی مستقیم عناصر مذاب با جداره.....

بـه علت ایـن که مکانیـزم انجام ایـن خوردگـی از طریق واکنش‌هـای شـیمیایی بین دو فـاز ذوب و لایه جداره نسـوز اسـپینلی می‌باشد بنابراین ابتدا به بررسی مختصر درباره شیمی این دو فاز پرداخته می‌شود:

منظور از شـیمی مذاب فولادها عناصر تشـکیل دهنده مذاب می‌باشـد کـه در واقع بـا توجه به آنالیـز نوع مذاب مـورد نیاز از عناصری مانند کربن، سیلیسیم، منگنز، گوگرد، فسفر، کروم، نیکل و مولیبدن با درصدهای مختلف تشکیل شده است. (البته قابل ذکر اسـت عناصر دیگری نظیر وانادیم، نیوبیـم، تیتانیم و ... نیز ممکن اسـت در تولید بعضی از قطعات استفاده شود ولی درصد تولید این نوع قطعات بسـیار ناچیز می‌باشد) و منظور از شیمی جداره نسوز ترکیب آن می‌باشد که از اکسید آلومینیو و اکسید منیزیم تشکیل شده است.

بـا مطالعـه دیاگـرام Richardson –Elingham جهت بررسـی چگونگی انجام واکنش شـیمیایی بین عناصر مذاب و جداره بازی نتیجـه می‌گیریم که عموما هیچ عنصـری در مذاب فولادهایی که به صورت متداول تولید می‌شـوند، نمی‌توانند به صورت مسـتقیم با جداره اسـپینلی وارد واکنش شیمیایی مخرب شده و در نتیجه باعث خوردگی آن شـوند بنابراین فرسایش و یا خوردگی شیمیایی جداره نسوز اسـپینلی عموما توسط واکنش مستقیم عناصر داخل مذاب فولاد با جداره نسوز صورت نمی‌گیرد.

۶-۲- فرسایش یا خوردگی جداره نسوز اسپینلی از طریق واکنش‌های شیمیایی بین ترکیبات شلاکه و سرباره با جداره بازی .....

فولادها غالبا دارای سـرباره بازی می‌باشند که با توجه به شرایط مختلـف تولید مذاب از ترکیبات متفاوتی تشـکیل شـده اسـت که مهمترین آنها اکسیدآهن و اکسیدمنگنز می‌باشد.

این دو ترکیب می‌تواند در شـرایط خاص با جداره نسـوز اسپینلی کوره واکنش شیمیایی داده و باعث خوردگی جداره نسوز کوره گردند.

۳-۶- خوردگی و نازک شدن جداره نسوز اسپینلی از طریق واکنش شیمیایی با اکسید آهن و اکسید منگنز.....

اکسید آهن با نقطه ذوب 1370^0C و اکسید منگنز با نقطه ذوب 1785^0C با جداره نسوز اسپینلی واکنش شیمیایی داده و ترکیباتی به نام‌های هرسینیت (Hercinite) و گالاگسیت (Galaxite) با نقطه ذوب 1450^0C مطابق واکنش ذیل تولید می‌کند:

$$FeO/\ MnO + Al_2O_3\ .\ Mg\ O \longrightarrow (Fe.\ Mn\ .Mg)\ O\ .Al_2O_3$$

این ترکیب در دمای ذوب فولادها ذوب شده و از جداره نسوز جدا می‌گردد بدین ترتیب یکی از واکنش هایی که شناخته شده و تاثیر بسیارزیادی در کاهش عمر جداره نسوز دارد صورت می‌گیرد بنابراین جهت جلوگیری از این واکنش باید دمای مذاب و مقادیر اکسید آهن و اکسید منگنز تحت کنترل باشد.[۹]

نتیجه گیری:

یکی از عوامل مهمی که تاثیر بسیار زیادی در عمر جداره نسوز کوره‌های القایی دارد، واکنش‌های شیمیایی بین مذاب و جداره نسوز می‌باشد. جلوگیری از کاهش عمر جداره نسوز از طریق این واکنش‌ها میسر نمی‌گردد مگر با شناخت کامل از عوامل ایجاد کننده این واکنش‌ها که غالبا به چگونگی اپراتوری کوره مربوط می‌گردد، بنابراین مدیریت صحیح کوره در هنگام تولید شرط لازم جهت کاهش عمر جداره نسوز از طریق این نوع واکنش‌ها می‌باشد.

تشکر و قدردانی:

بدین وسیله از جناب اقای دکتر نجم الدین عرب که در نگارش و ویرایش این مقاله به اینجانب کمک نمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

منابع:

1-"Effects of iron slags on refractories in coreless induction furnace." D.C Williams Allied mineral products. Inc. AFS trasaction, 1998, vol 23, pp 433-436

2-"How to minimize lining wear in coreless induction furnace when melting iron." Mike Jackson, Senior engineer Calderys refractory solutions, U.K. Indian foundry journal. Vol 52, No.5/ May, 2006

3-"Mass transport of Carbon, Sulfur and Moisture through a silica lining "W.J. Duca Manufacturing, Inc ,Boardman. Ohio. AFS trasaction, 2009, pp 6733-679

4-"Refractory Considerations for Melting Ductile Iron" Pete Satre , Manager product services , Allied Mineral Products.

5-"Refractory for Steel Melting " Timothy M.Green and David C. Williams , Allied Mineral Products, Inc.

6-"Lining Wear in acid coreless induction furnace" BCIRA Broadsheet 148.

7-"Refractory Handbook" edited by: Charles A. Schacht.

۷-آسیب‌های شیمیایی جداره سیلیسی کوره‌های القایی بدون هسته در ذوب چدن. ابراهیم حاجی-مجله ریخته‌گران ایران، سال ششم، زمستان ۶۴

۸- آشنائی با مواد نسوز یا دیرگداز(۲) مهرداد نونهال- مجله ریخته‌گران ایران، سال دوم، پائیز ۶۰

۹- مدارک فنی شرکت RHI