

بررسی تاثیر افزودن کاربید و اکسید کلسیم به فلز مذاب بر جدایش آخال آلومینایی از مجرای ورودی قالب در ریخته گری پیوسته فولاد

حمید دوست محمدی^{۱*}

۱. بخش مهندسی مواد و متالورژی و پژوهشکده صنایع معدنی دانشگاه شهید باهنر کرمان (hd@uk.ac.ir)

چکیده	مشخصات مقاله
<p>امروزه بیش از ۹۰ درصد از فولادها به روش ریخته گری پیوسته تولید می شوند. یکی از مشکلات اصلی در این روش مسدود شدن مجرای ورود مذاب به قالب توسط آخال آلومینایی موجود در فولاد مذاب است. در این پژوهش اصلاح ترکیب شیمیایی آخال آلومینایی به فازهای ثانویه کلسیم آلومینایی مورد بررسی قرار گرفت. دو ترکیب کاربید و اکسید کلسیم در دو سری ذوبهای آزمایشی به فلز مذاب افزوده گردید و ترکیب شیمیایی فازهای ثانویه توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی همراه با آنالیز عنصری کمی و کیفی بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش اکسید کلسیم به سطح مذاب، فازهای کلسیم آلومینایی در حین تصفیه فلز مذاب تشکیل می گردند. علاوه بر آن مشخص گردید که افزایش کاربید کلسیم تاثیر چندانی بر تشکیل فازهای کلسیم آلومینایی نداشته و میزان کافی از اکسید کلسیم سرباره به تنهایی برای جلوگیری از مشکل مسدود شدن مجرای ورود مذاب به قالب کافی است.</p>	<p>تاریخچه مقاله: دریافت: ۲۸ مرداد ۹۲ دریافت پس از اصلاح: ۵ مهر ۹۲ پذیرش نهایی: ۹ مهر ۹۲</p> <p>کلمات کلیدی: ریخته گری پیوسته فولاد مسدود شدن مجرای ورودی مذاب فازهای کلسیم آلومینا آخال آلومینا</p>
حقوق ناشر محفوظ است.	* عهده دار مکاتبات

۱- مقدمه

در کارخانه‌های فولادسازی مدرن، فرایند فولاد سازی با ذوب قراضه در کوره‌ی قوس الکتریکی آغاز می‌گردد. در این کوره مواد افزودنی نظیر سرباره ساز به مذاب اضافه می‌شود. مذاب فولاد حاوی اکسیژن متعاقباً از کوره قوس به درون پاتیل تخلیه شده و در برخی از موارد توسط آلومینیوم اکسیژن زدایی می‌گردد. درست در همان زمان تخلیه در برخی کارخانه‌ها کاربرد کلسیم با باور جلوگیری از انسداد مجاری ورود مذاب در ریخته‌گری پیوسته به مذاب افزوده می‌شود. مذاب اکسیژن زدایی شده متعاقباً در کوره‌ی پاتیلی که از این پس کوره-پاتیل (Ladle Furnace یا به صورت خلاصه LF) خوانده می‌شود تحت عملیات تکمیلی تصفیه قرار می‌گیرد تا بدین ترتیب اکسیدهای شناور (که اصطلاحاً آخال اکسیدی یا به طور خلاصه آخال خوانده می‌شوند) تا جای ممکن از مذاب حذف شده، میزان گوگرد کاهش یافته و دما و ترکیب شیمیایی مذاب تنظیم گردد. مذاب فولاد نهایتاً جهت ریخته‌گری توسط یک پاتیل به درون تاندیش دستگاه ریخته‌گری پیوسته منتقل می‌شود. روند کلی تولید فولاد در جای دیگر آمده است [۱].

در حین ریخته‌گری پیوسته فولاد کشته شده با آلومینیوم، ذرات ریز آخال آلومینایی معلق در مذاب با سطح مجرای ورودی مذاب به قالب تماس پیدا می‌نمایند. پس از این تماس، کشش سطحی بین مذاب و آخال باعث چسبیدن آخال به سطح مجرای ورود مذاب می‌گردد. تماس و اتصال مداوم ذرات آخال باعث می‌شود تا لایه‌ی آلومینای رسوب کرده در این قسمت به تدریج ضخیم گردد تا جایی که عبور فولاد مذاب از میان آن به آسانی انجام نشده و جریان مذاب نامنظم شود [۲،۳]. زمانی که لایه‌ی آلومینایی رسوب نمود، جریان مذاب فشرده شده و باعث می‌گردد تا فولاد مذاب نتواند با سرعت تعیین شده از مجرا عبور نماید. رسوب در مجرا همچنین باعث می‌شود تا جریان سیال نامتقارن شده و با فشار به درون حوضچه مذاب پائین خود وارد گردیده و در نتیجه از شناور شدن آخال جلوگیری نماید [۴].

یکی از روشهای پیشنهادی برای جلوگیری از ایجاد (جدایش) رسوب آلومینایی افزودن کلسیم به مذاب و تبدیل آخال آلومینایی به فازهای کلسیم آلومینا می‌باشد. یکی از انواع آخال کلسیم آلومینایی با ترکیب شیمیایی $C_{7}A_{12}$ در دمای فولادسازی به صورت مذاب می‌باشد [۵،۶] و می‌تواند از مجرای نازل به راحتی عبور کرده واز انسداد مجرا تا حد زیادی

جلوگیری نماید. روش دیگر تزریق حبابهای ریز در درون مسیر جریان برای ایجاد جداری که مانع از تماس بین ذرات آخال آلومینایی با سطح نسوز سوراخ نازل و سوراخ سلاید گیت گردد، می‌باشد [۴].

در بعضی از کارخانه‌های فولادسازی با این باور که کاربرد کلسیم می‌تواند از مسدود شدن مجرای ورود مذاب به قالب جلوگیری نماید، در حین تخلیه مذاب از کوره قوس الکتریکی مقادیر کمی کاربرد کلسیم می‌افزایند. در این پژوهش تاثیر افزودن این ماده و همچنین اضافه کردن اکسید کلسیم به صورت سرباره بر اصلاح ترکیب شیمیایی آخال آلومینایی به منظور جدایش و نجسبیدن آخال آلومینایی به دیواره مجرای ورودی مذاب مورد بررسی قرار گرفته‌است.

۲- روند عملی

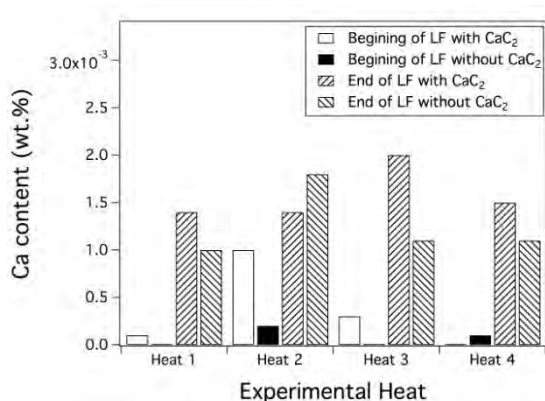
۱-۲- روش آماده سازی ذوبهای آزمایشی

در ابتدا قراضه های فلزی در کوره قوس الکتریکی ذوب شدند. پس از سرباره سازی و تنظیم ترکیب شیمیایی، مذاب از طریق مجرای خروجی پایین کوره به پاتیل منتقل گردید. در حین خروج مذاب از کوره قوس در سری اول ذوبهای آزمایشی به آن کلسیم به فرم CaC_2 افزوده شد. سپس پاتیل به کوره-پاتیل منتقل شده و به ترتیب عملیات اکسیژن زدایی، سرباره سازی و آلیاژسازی بر روی مذاب انجام گردید. در انتهای فرایند مذاب دارای ترکیب شیمیایی کربن ۰/۳، سیلیسیم ۰/۴، منگنز ۱/۳، کروم ۰/۱۷، آلومینیوم ۰/۰۳ درصد وزنی و مابقی آهن می‌باشد. در انتها پس از تنظیم دمای نهایی مذاب (۱۵۸۰ درجه سانتی‌گراد) پاتیل به کارگاه ریخته‌گری منتقل گردید.

افزودن کلسیم به فلز مذاب از طریق دو روش صورت گرفت. در چهار ذوب ابتدایی (سری اول ذوبهای آزمایشی) روش اول و برای چهار ذوب بعدی (سری دوم ذوبهای آزمایشی) از روش دوم افزودن کلسیم استفاده شد. در روش اول در مرحله اول کلسیم به فرم CaC_2 در حین خروج مذاب از کوره قوس و پس از آن در مرحله دوم کلسیم به صورت CaO در سرباره کوره-پاتیل به سطح مذاب افزوده شد. در روش دوم کاربرد کلسیم به مذاب خروجی از کوره قوس اضافه‌نشده و فقط اکسید کلسیم به سطح مذاب افزوده شد. در هر دو روش مذاب به مدت ۹۰ دقیقه با اکسید کلسیم سرباره در تماس بوده و جذب کلسیم سرباره در این مدت صورت گرفته است. شایان ذکر است که در اغلب کارخانه‌های مدرن

بررسی تاثیر افزودن کاربید و اکسید کلسیم به فلز مذاب بر جدایش آخال آلومینایی ...

تفکیک هر ذوب آزمایشی برای نمونه‌های گرفته شده از ابتدای کوره-پاتیل و انتهای آن آورده شده است. با توجه به نتایج شکل ۱ می‌توان تایید کرد که میزان کلسیم در همه ذوبها افزایش یافته‌است. به بیان دقیق تر کلسیم توانسته است هم از طریق سرباره (اکسید کلسیم) و هم از طریق افزودن شدن در حین تخلیه مذاب از کوره قوس (کاربید کلسیم) به فلز مذاب وارد گردد. این مطلب در مورد هر دو سری ذوب آزمایشی صادق است. تنها تفاوت سری اول ذوبهای آزمایشی و سری دوم ذوبهای آزمایشی میزان کلسیم اولیه فلز مذاب در ابتدای فرایند کوره-پاتیل است.



شکل (۱) میزان کلسیم مذاب در نمونه های ابتدا و انتهای کوره-پاتیل برای دو سری ذوب آزمایشی

با توجه به اینکه نمونه ابتدای کوره-پاتیل درست قبل از افزودن سرباره‌سازها به سطح مذاب گرفته شده است، می‌توان نتیجه گرفت که وجود کلسیم در این نمونه‌ها در اثر افزودن CaC₂ درست قبل از ورود پاتیل به قسمت کوره-پاتیل می‌باشد.

به طور کلی نتایج آنالیز عنصری نمونه‌های ابتدا و انتهای کوره-پاتیل نشان داد که کلسیم سرباره در طول فرایند تصفیه به فلز مذاب وارد می‌شود و میزان آن در انتهای فرایند کوره-پاتیل افزایش می‌یابد.

۳-۲- آنالیز فازهای ثانویه (آخال)

به منظور بررسی دقیق تر کلسیم ورودی به فلز مذاب نمونه‌های گرفته شده از فلز مذاب از ابتدا و انتهای فرایند کوره-پاتیل مورد بررسی‌های کمی و کیفی با میکروسکوپ الکترونی روبشی قرار گرفتند. نتیجه بررسی زمینه فلزی نمونه‌ها نشان داد که میزان کلسیم محلول در زمینه فولاد جامد بسیار ناچیز می‌باشد و این عنصر به صورت فازهای ثانویه کلسیم دار با اندازه بسیار کوچک در زمینه فلزی فولاد پخش

فولادسازی، سرباره‌سازی فرایندی ضروری و همیشه همراه با افزودن اکسید کلسیم (به عنوان یکی از اجزاء اصلی سرباره) صورت می‌گیرد. علاوه بر آن مواد افزوده شده برای سرباره-سازی (سرباره‌سازها) در تمام ذوبهای آزمایشی وزن و ترکیب شیمیایی یکسان داشته‌اند. جدول ۱ میزان و روش افزودن کلسیم به ذوبهای آزمایشی را به تفکیک شماره ذوب نشان می‌دهد. در این جدول ستون مربوط به اکسید کلسیم نشان دهنده اکسید کلسیم در سرباره‌ساز اضافه‌شده به سطح مذاب می‌باشد.

جدول (۱) میزان و روش افزودن کلسیم به ذوبهای آزمایشی

CaO in slag formers (wt.%)	CaC ₂ (wt.%)	شماره ذوب
۵۸-۵۹	۰/۱	۱
۵۸-۵۹	۰/۱	۲
۵۸-۵۹	۰/۱	۳
۵۸-۵۹	۰/۱	۴
۵۸-۵۹	-	۵
۵۸-۵۹	-	۶
۵۸-۵۹	-	۷
۵۸-۵۹	-	۸

۳-۱- نمونه‌برداری و آنالیز آخال

از هر ذوب آزمایشی دو نمونه از فولاد مذاب به ترتیب در ابتدا و انتهای فرایند تصفیه مذاب در کوره-پاتیل به شکل لالی پاپ تهیه شد. نمونه‌های گرفته شده از فلز مذاب جهت تعیین ترکیب شیمیایی با روش آنالیز عنصری X-ray fluorescence (XRF) و همچنین برای آنالیز آخال مورد استفاده قرار گرفتند. آنالیز آخال به روش دوبعدی [۷] و بر روی سطح مقطع نمونه‌ها انجام پذیرفت. در این روش مورفولوژی، اندازه و ترکیب شیمیایی آخال با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Camscan مجهز به Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) انجام پذیرفت. برای تعیین ترکیب شیمیایی آخال از روشهای آنالیز نقطه‌ای، میکرو منطقه‌ای و نگاشت عنصری استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

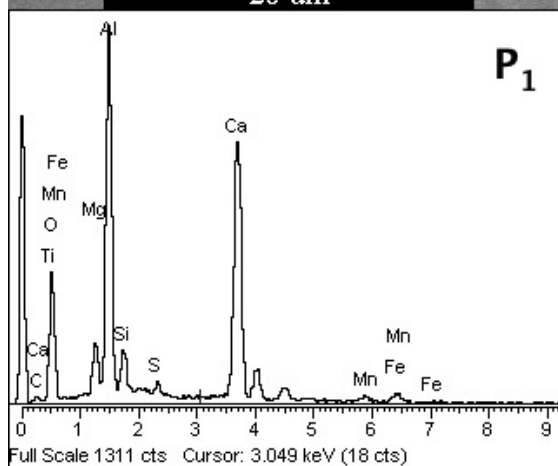
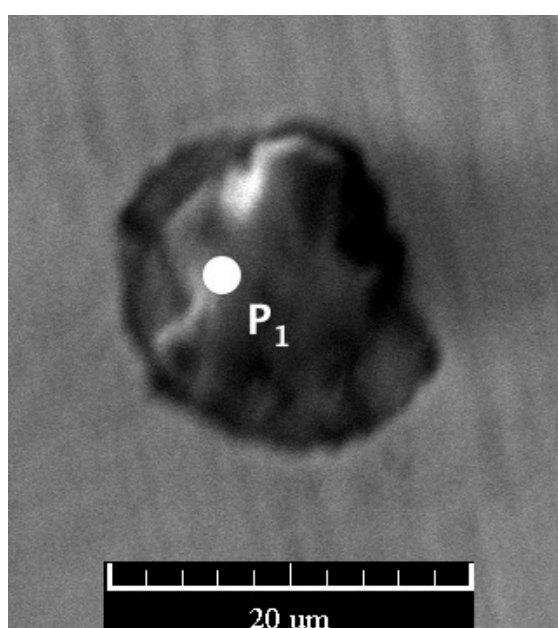
۳-۱- تغییرات کلسیم مذاب

برای بررسی میزان کلسیم وارد شده به مذاب نمونه‌هایی از فولاد مذاب تهیه و مورد بررسی‌های کوانتومتری به روش XRF قرار گرفتند. مقدار کلسیم نمونه‌ها در شکل ۱ به

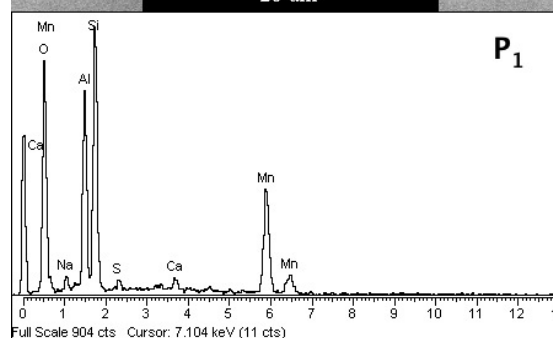
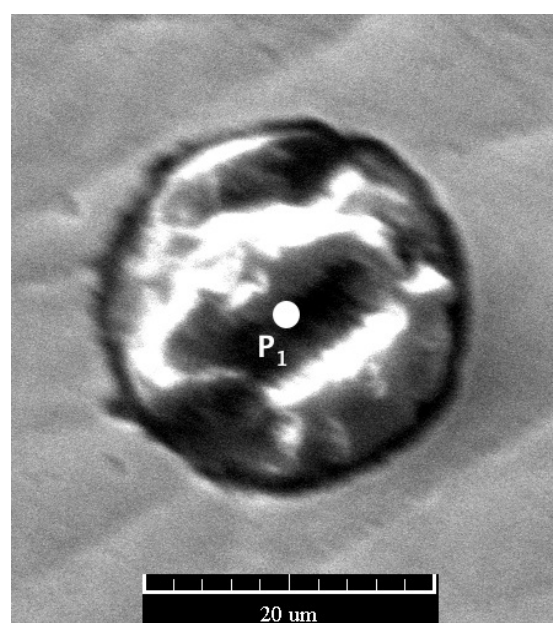
با گذشت زمان در کوره-پاتیل و تکمیل فرآیند تصفیه مذاب آخال کلسیم دار دچار تغییر ترکیب شیمیایی می‌شوند بدین ترتیب که می‌توان آخال نمونه‌های گرفته شده از انتهای فرایند کوره-پاتیل را تکامل یافته آخال ابتدای فرایند تصفیه دانست و آنها را به چهار دسته اکسیدهای الف) آلومینیم-کلسیم، ب) آلومینیم-کلسیم-منیزیم، ج) آلومینیم-کلسیم-سیلیسیم و د) آلومینیم-کلسیم-سیلیسیم-منیزیم تقسیم کرد. شکل ۳ تصویر میکروسکوپ الکترونی از یک آخال نوع چهارم انتهای فرایند کوره-پاتیل را به همراه طیف آنالیز عنصری نقطه مشخص شده P_1 نشان می‌دهد.

شده است. این فازهای ثانویه کلسیم دار در اغلب موارد همراه با عناصر اکسیژن و یا گوگرد بودند که از این پس در این مقاله به صورت آخال نافلزی کلسیم دار و یا فازهای ثانویه کلسیم دار نامیده می‌شوند. با بررسی بیشتر آخال ها در نمونه‌های فلزی مشخص گردید که ترکیب شیمیایی آخال در ابتدا و انتهای فرایند کوره-پاتیل متفاوت است.

از نظر ترکیب شیمیایی آخال کلسیم دار ابتدای کوره-پاتیل را می‌توان به سه دسته الف) اکسید کلسیم ، ب) اکسید آلومینیم-کلسیم (فازهای کلسیم آلومینایی) و ج) اکسید آلومینیم-کلسیم-سیلیسیم تقسیم کرد. شکل ۲ نمونه ای از آخال نوع سوم را همراه طیف آنالیز عنصری آن نشان می‌دهد.



شکل (۳) تصویر میکروسکوپ الکترونی یک آخال کلسیم دار مشاهده شده در نمونه انتهای کوره-پاتیل به همراه طیف آنالیز عنصری نقطه P_1

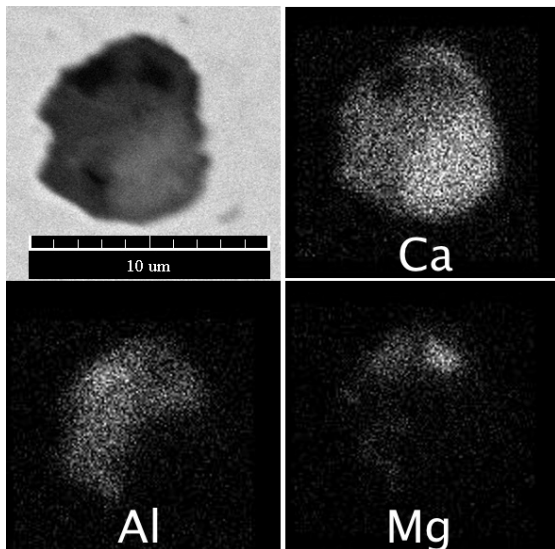


شکل (۲) تصویر میکروسکوپ الکترونی یک آخال کلسیم دار مشاهده شده در نمونه ابتدای کوره-پاتیل به همراه طیف آنالیز عنصری نقطه P_1

باشد. از دیدگاه ترمودینامیکی هر دو مکانیزم اول و دوم برای تشکیل فاز کلسیم آلومینا از واکنش بین اکسید کلسیم و یا کلسیم محلول در فلز مذاب با آلومینای جامد محتمل می باشند [۱۳-۹]. با توجه به مطالب ذکر شده در مورد مکانیزم های پیشنهادی و به منظور تعیین دقیق مکانیزم غالب نیاز به انجام آزمایشات بیشتر و همچنین محاسبات ترمودینامیکی تعادل می باشد که فراتر از اهداف این مقاله است.

۳-۴- سینتیک تشکیل فازهای کلسیم آلومینا

شکل ۴ نگاشت عنصری یک آخال کلسیم آلومینایی را نشان می دهد. این آخال در نمونه گرفته شده از انتهای فرایند کوره-پاتیل می باشد و عناصر کلسیم، آلومینیوم و منیزیم در آن نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشخص می گردد که این فاز ثانویه کلسیم دار از دو قسمت اصلی تشکیل شده است. قسمت اول سمت چپ شامل اکسید کلسیم آلومینا و قسمت دوم سمت راست-پایین که اکسید کلسیم می باشد. اگر از سمت راست-پایین آخال به سمت بالا-چپ یک خط رسم نمایید آنگاه این خط جهت واکنش اکسید کلسیم را با اکسید آلومینیم نشان می دهد. بر اساس شکل ۴ می توان مکانیزم پیشنهادی دوم را در به وجود آمدن این آخال مکانیزم غالب دانست.



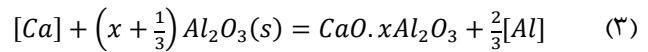
شکل (۴) تصویر میکروسکوپ الکترونی یک آخال کلسیم دار مشاهده شده در نمونه انتهای کوره-پاتیل به همراه نگاشت عنصری عناصر **Mg, Ca, Al**

به منظور بررسی سینتیک فرایند احیاء آلومینا، میانگین نسبت Ca/Al در فازهای ثانویه کلسیم دار ابتدا و انتهای

۳-۳- مکانیزم های پیشنهادی تشکیل فازهای کلسیم آلومینا

به منظور بررسی مکانیزم تشکیل فازهای ثانویه کلسیم دار در ادامه با توجه به منبع اولیه کلسیم و نحوه قرار گرفتن کلسیم در فلز مذاب دو مکانیزم برای تشکیل فازهای ثانویه کلسیم دار پیشنهاد می گردد.

در مکانیزم اول کاربید کلسیم [۸] و یا اکسید کلسیم [۹،۱۰] در فلز مذاب تجزیه شده و در آن حل می گردد [۱۰،۱۱] سپس کلسیم محلول با انجام واکنش با اکسید آلومینیوم در فلز مذاب، فازهای کلسیم آلومینا را به وجود می آورد. واکنشهای پیشنهادی به صورت زیر می باشند:

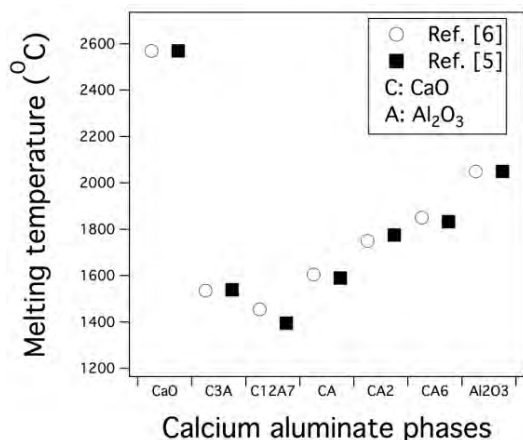


در این واکنش ها [] به معنای محلول بودن عنصر در فلز مذاب است.

در مکانیزم پیشنهادی دوم اکسید کلسیم از سرباره وارد فلز مذاب می گردد و سپس با اکسید آلومینیم جامد در فلز مذاب واکنش داده و فازهای کلسیم آلومینایی را به وجود می آورد. در یک پژوهش آزمایشگاهی امکان انجام واکنش بین اکسید کلسیم و اکسید آلومینیم در دماهای بین ۱۳۵۰ تا ۱۶۰۰ درجه سانتی گراد بررسی گردید [۱۳]. نتایج این پژوهش نشان داد که اکسید کلسیم با اکسید آلومینیم در دماهای بالاتر از ۱۴۰۵ درجه واکنش داده و فازهای کلسیم آلومینایی را تشکیل می دهد. در این مکانیزم محصول واکنش فاز محلول جامد کلسیم آلومینا خواهد بود.

در این پژوهش با توجه به افزودن کاربید کلسیم به مذاب در سری اول ذوبهای آزمایشی می توان پیشنهاد کرد که واکنش (۱) در مکانیزم پیشنهادی اول می تواند انجام پذیرد. علی احوال با توجه به میزان کم کاربید کلسیم افزوده شده و همچنین تاثیر کم آن بر نتایج آنالیز عنصری در شکل ۱ می توان نتیجه گرفت که افزودن کاربید کلسیم تاثیر به سزایی در تشکیل فازهای ثانویه کلسیم دار در فلز مذاب نداشته است. علاوه بر آن، نتایج آنالیز عنصری کلسیم و مقایسه سری اول ذوبهای آزمایشی با سری دوم به خوبی نشان می دهد که منبع اصلی تشکیل فازهای کلسیم دار اکسید کلسیم سرباره می

آلومینای جامد تشکیل می‌گردند. دمای ذوب فازهای کلسیم آلومینا مستخرج از دو مرجع [۵،۶] در شکل ۶ نشان داده شده است. در این شکل به منظور خلاصه نویسی از نشانه های C به جای CaO و A به جای Al_2O_3 استفاده گردیده است.

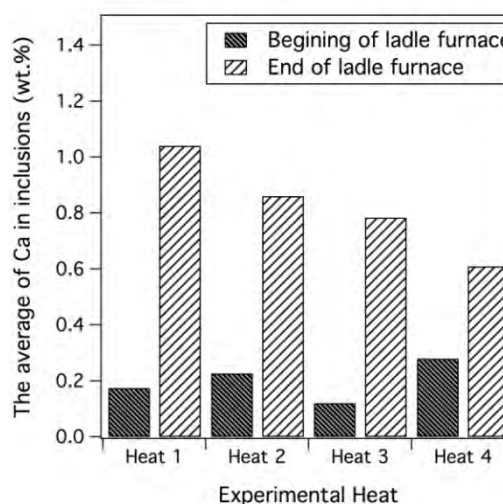


شکل (۶) دمای ذوب فازهای کلسیم آلومینا بر طبق مراجع [۵،۶]

در بین ترکیبات کلسیم آلومینا فاز C_7A_{12} کمترین دمای ذوب را دارد (حدود ۱۴۰۰ درجه سانتی گراد) و این فاز در گستره دمایی فولادسازی (۱۵۰۰-۱۶۰۰ درجه سانتی گراد) مذاب می‌باشد. در صورتیکه ترکیب آخال آلومینایی به ترکیب C_7A_{12} اصلاح گردد، فلز مذاب از مجرای ورودی قالب به راحتی عبور کرده و مجرای ورودی قالب مسدود نخواهد شد. شایان ذکر است که این مطلب در مورد همه فازهای مذاب کلسیم آلومینا در گستره دمایی فولاد سازی صحیح می‌باشد. به عنوان مثال دو فاز دیگر C_3A و CA که در نزدیکی دمای ۱۶۰۰ درجه سانتی گراد مذاب هستند می‌توانند فازهای مناسبی برای ریخته‌گری فولادهای کم آلیاژ (با دمای ریخته‌گری حدود ۱۶۰۰ درجه) به حساب آیند.

در پژوهش دیگری از نویسنده [۱۵] فازهای مذاب کلسیم آلومینا با توجه به میزان اکسید کلسیم سرباره در دو دمای ۱۵۰۰ و ۱۶۰۰ درجه سانتی گراد با استفاده از روش ترمودینامیک محاسباتی Calphad محاسبه گردید (شکل ۷). نتایج این پژوهش نشان داد که در صورت وجود حداقل ۴۰ و ۵۰ درصد اکسید کلسیم در سرباره (به ترتیب در دماهای ۱۵۰۰ و ۱۶۰۰ درجه سانتی گراد) فازهای کلسیم آلومینای مذاب تشکیل می‌گردند. با توجه به اینکه در این پژوهش اکسید کلسیم استفاده شده در سرباره‌سازها برای تمامی ذوبها حدود ۵۸ درصد سرباره سازها (بر طبق آنالیز XRF اکسید کلسیم سرباره انتهایی فرایند کوره-پاتیل حدود ۴۵-۵۳ درصد

فرایند کوره-پاتیل محاسبه گردید. نتایج این محاسبه نشان داد که این نسبت با گذشت زمان در طی فرایند تصفیه مذاب در کوره-پاتیل افزایش می‌یابد. به بیان دقیق‌تر از دیدگاه سینتیکی فرایند احیاء آلومینا به صورت تدریجی انجام پذیرفته است. شکل ۵ میانگین نسبت Ca/Al را در آخال نمونه های ابتدای کوره-پاتیل در مقایسه با انتهای آن نشان می‌دهد.



شکل (۵) میانگین نسبت Ca/Al در فازهای ثانویه کلسیم دار در ابتدا و انتهای ذوبهای آزمایشی

با توجه به شکل ۵ نسبت Ca/Al آخال در انتهای کوره پاتیل بین ۰/۶ تا ۱ می‌باشد. بالا بودن این نسبت به معنای غنای آخال از کلسیم و موفق بودن تبدیل آخال آلومینایی به کلسیم آلومینایی می‌باشد. با توجه به واکنش (۳) هر چه مقدار X کمتر باشد (بالا بودن نسبت Ca/Al در آخال) احیاء آخال آلومینایی بیشتر صورت گرفته و آخال جامد به آخال مذاب کلسیم آلومینا (با نسبت بالای Ca/Al) تبدیل می‌گردد.

۳-۵- جداسازی آخال آلومینایی از مجرای ورود مذاب به قالب

یکی از عوامل اصل تاثیرگذار بر مسدود شدن نازل‌های ریخته‌گری پیوسته چسبیدن آخال آلومینایی فولاد مذاب به دیواره مجرای ورود مذاب به قالب ریخته‌گری پیوسته فولاد می‌باشد [۳،۱۴]. یکی از روشهای پیشنهادی بر طرف کردن این مشکل اصلاح ترکیب شیمیایی آخال آلومینایی جامد به آخال کلسیم آلومینایی مذاب می‌باشد. با اضافه شدن کلسیم به آلومینا، فازهای کلسیم آلومینایی با دمای ذوب پایینتر از

۴- نتیجه گیری کلی

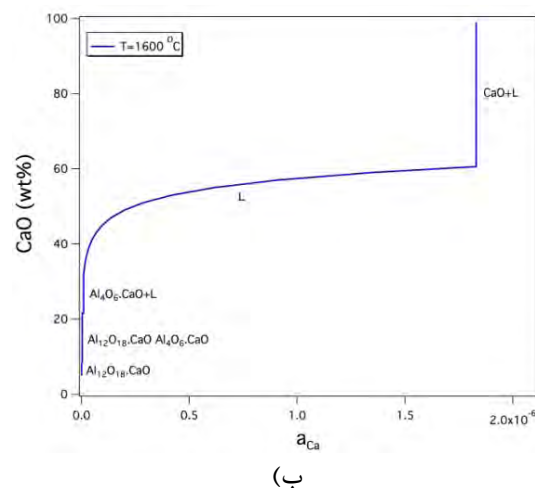
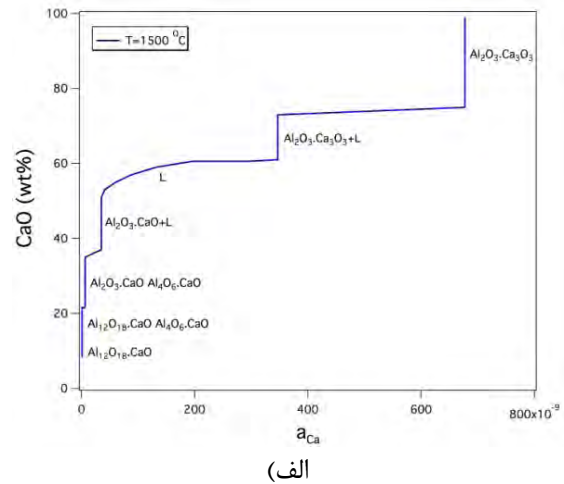
در این پژوهش تاثیر افزودن کلسیم به دو شکل کاربید کلسیم قبل از فرایند کوره-پاتیل و اکسید کلسیم به صورت سرباره در حین فرایند تصفیه مذاب در کوره-پاتیل بر اصلاح ترکیب شیمیایی آخال به منظور جلوگیری از مسدود شدن مجرای ورود مذاب به قالب در ریخته گری پیوسته مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که اضافه کردن اکسید کلسیم که جزء فرایند فولادسازی می باشد برای تشکیل فازهای کلسیم دار ثانویه مذاب به منظور جلوگیری از مسدود شدن مجرای ورود مذاب به قالب کافی می باشد و نیازی به افزودن کاربید کلسیم قبل از شروع فرایند کوره-پاتیل نیست. علاوه بر آن نتایج کلی زیر نیز حاصل گردیدند.

- در اثر واکنش بین آلومینای جامد در فلز مذاب و ترکیبات کلسیم دار، فازهای کلسیم آلومینایی به شکل فاز ثانویه (آخال) به وجود می آیند
- استحاله تبدیل آلومینا به کلسیم آلومینا استحاله ای است که با گذشت زمان در کوره-پاتیل انجام می پذیرد
- نسبت بالای Ca/Al در فازهای کلسیم آلومینا سبب تشکیل ترکیباتی با دمای ذوب پایین تر از ۱۶۰۰ (دمای فولادسازی) می گردد
- در حین ریخته گری پیوسته فولاد وجود ترکیبات مذاب کلسیم آلومینا سبب جدایش آخال آلومینایی از دیواره مجاری ورد مذاب به قالب می گردد

مراجع

- [1] H. Doostmohammadi, M. Andersson, A. Karasev, and P. Jönsson (2010) "Use of Computational Thermodynamic Calculations in Studying the Slag/Steel Equilibrium during Vacuum Degassing", *steel research international*, 81, 31-39
- [2] Y. Sahai, T. Emi (2008) "Tundish Technology For Clean Steel Production", World Scientific Publishing Company
- [3] M. S. Lukavaya and G. G. Mikhailov (2008) "Factors affecting the clogging of submerged nozzles during continuous casting of steel." *Russ. Metall*, 698-699
- [4] M. J. Zhang, H. Z. Gu, A. Huang, H. X. Zhu and C.J. Deng (2011) "Physical and mathematical modeling of inclusion removal with gas bottom-blowing in continuous casting tundish.", *Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy*, 47, 37-44
- [5] V. D. Eisenhuttenleute (1995) "Slag Atlas", Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf

می باشد) بوده است می توان نتیجه گرفت که فازهای کلسیم آلومینای مذاب به خوبی تشکیل شده اند و دلیل مسدود نشدن مجرای ورود مذاب به قالب در ذوب های آزمایشی نیز همین امر می باشد.



شکل (۷) پیش بینی ترمودینامیکی فازهای مذاب کلسیم آلومینا بر حسب درصد Ca سرباره در دمای الف) ۱۵۰۰ درجه سانتی گراد و ب) ۱۶۰۰ درجه سانتی گراد [۱۵]

از طرف دیگر نتایج آنالیز آخال نشان داد که اکثر آخال کلسیم آلومینایی کروی شکل (و یا شکلی نزدیک به کره) دارند. از آنجا که کره دارای کمترین سطح بین احجام هندسی منظم می باشد در نتیجه انرژی سطحی آن نیز کمترین است، بنابراین می توان نتیجه گرفت که پایدارترین مورفولوژی برای آخال مذاب شکل کره می باشد. پس آخال کلسیم آلومینای کروی مشاهده شده در این پژوهش در دمای فولاد سازی مذاب بوده اند.

- [11] A. Costa e Silva (2008) "Calcium and magnesium thermodynamics in steel and its impacts on secondary steelmaking: a computational thermodynamics approach.", *Rev. Met. Paris* 105, 181-193
- [12] B. Song and Q. (1998) "Equilibrium of calcium vapor with liquid iron and the interaction of third elements." *Metallurgical and Materials Transactions B*, 29, 415-420
- [13] M. Lind and L. Holappa (2010) "Transformation of Alumina Inclusions by Calcium Treatment.", *Metall and Materi Trans B*, 41, 359-366
- [14] A. G. Levada, D. N. Makarov, V. N. Artyushov, A. G. Zyryanov, and V. P. Sosnin (2009) "Clogging of submerged nozzles in casting aluminum-bearing steel.", *Steel Transl.*, 39, 1084-1085
- [6] R. Kiessling (1978) "Non-metallic inclusions in steel", *The Metals Society*, London
- [7] H. Doostmohammadi, A. Karasev and P. Jonsson (2010) "A Comparison of a Two-Dimensional and a Three-Dimensional Method for Inclusion Determinations in Tool Steel.", *steel research international steel research int.*, 81, 398-406
- [8] A. A. Svyazhin, E. Krushke and A. G. Svyazhin (2004) "The use of calcium carbide in the production of low-carbon steel.", *Metallurgist*, 48, 557-561
- [9] K. Taguchi, H. Ono-Nakazato, D. Nakai, T. Usui and K. Marukawa (2003) "Deoxidation and Desulfurization Equilibria of Liquid Iron by Calcium.", *ISIJ international*, 43, 1705-1709
- [10] J. H. Park, S. B. Lee and D. S. Kim (2005) "Inclusion control of ferritic stainless steel by aluminum deoxidation and calcium treatment." *Metallurgical and Materials Transactions B*, 36, 67-73
- [۱۵] حمید دوست محمدی (۱۳۹۱)، "بررسی تاثیر سرباره بر ترکیب شیمیایی آخال کلسیم آلومینایی به کمک مدل سازی ترمودینامیکی"، دومین همایش صنایع معدنی، کرمان، ایران، ۵۴۴-۵۴۶

Effect of the Addition of Calcium Carbide and Calcium Oxide to Melt on the Separation of Clogged Alumina in Continuous Steel Casting

Hamid Doostmohammadi^{1,*}

1. Department of Materials Engineering and Metallurgy, Mineral Industries Research Center, Shahid Bahonar University of Kerman (hd@uk.ac.ir)

ABSTRACT

Today, more than 90% of world steel production accounts for continuous casting method. One of the main problems of this method is alumina nozzle clogging. In this study, modification of alumina inclusions into the calcium aluminate phases was investigated. Calcium carbide and calcium oxide were added to the steel melt and hence chemical composition of secondary phases was studied using a Scanning Electron Microscope. Both qualitative and quantitative analyses were performed. The results showed that the addition of calcium oxide to the surface of the killed aluminum molten metal leads to the gradual formation of the calcium aluminate phases. Furthermore, the addition of calcium carbide does not have the considerable effect on the formation of calcium aluminate phases and in turn, calcium oxide in the top slag prevents the nozzle clogging problem.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: Aug. 19, 2013

Revised: Sept. 27, 2013

Accepted: Oct. 1, 2013

Key words:

Continuous casting of steel

Nozzle clogging

Calcium aluminates phases

Alumina inclusion

All right reserved.

* Corresponding author