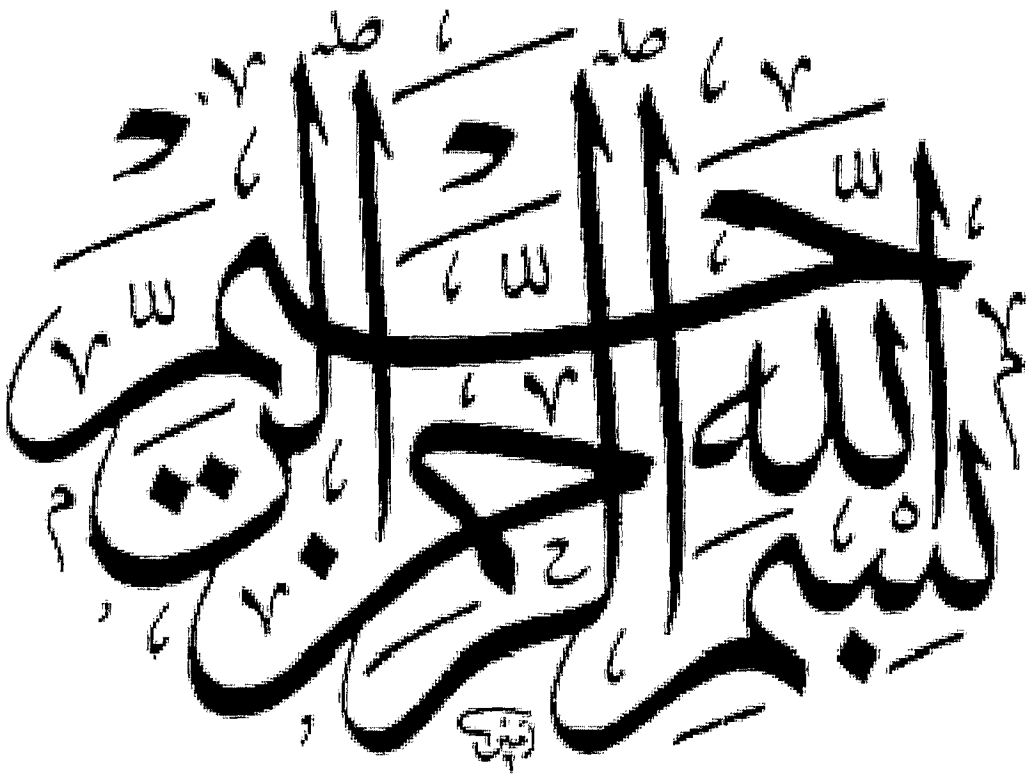


٩٢٩٢٨

پژوهشگاه مواد و انرژی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مواد
(سرامیک)

بررسی علل تخریب دیرگداز دولومیتی مورد استفاده در پاتیل فولاد سازی شرکت ذوب آهن اصفهان

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
۱۳۸۷ /۳/ ۷

نوید کدخدائی

استادان راهنما:
دکتر زیارتعلی نعمتی
دکتر محمد حسن امین

۱۳۸۵

۹۳۹۲۸

تقدیم به :

پدر و مادرم

به نام خداوند جان و خرد

سپاسنامه

حمد و سپاس خداوند را، آفریدگار دانش که علم را به انسان آموخت و شوق فراگیری دانش را در ضمیرش همچو شمعی فروزان بر افروخت. درود و سلام بر آن رسول نازنین که سفارش کرد دانش اندوزی را ز گهواره تا گور.

اکنون که پروژه حاضر رو به اتمام نهاده است، شایسته است که مراتب سپاس قلبی و قدردانی خویش را از فرهیختگان و بزرگوارانی که مرا در انجام این پروژه مساعدت نمودند، ابراز نمایم.

۱- استادان گرامیم آقای دکتر زیارتعلی نعمتی و آقای دکتر محمد حسن امین که اگر نبود راهنمائیها و هدایتهای ارزنده‌شان انجام این پروژه میسر نمی‌نمود.

۲- کلیه پرسنل محترم شرکت ذوب آهن اصفهان در بخشهای تحقیق و توسعه، آزمایشگاه مرکزی و قسمت تعمیرات نسوز؛ بویژه آقای مهندس جولازاده (مدیریت محترم تحقیق و توسعه)، آقای مهندس صالحی (سرپرست بخش تعمیرات نسوز) و مهندس موحدی (سرپرست آزمایشگاه نسوز) به دلیل حسن توجه و همکاری ارزنده‌شان در انجام این پروژه.

۳- کلیه دوستان و همکاران در بخشها و پژوهشکده‌های مختلف پژوهشگاه مواد و انرژی بویژه آقای مهندس جباری که با همکاری خویش، انجام این پروژه را بر من تسهیل نمودند.

۴- دوستان گرانقدرم در پژوهشکده سرامیک پژوهشگاه مواد و انرژی آقایان مهندس مباشرپور، مهندس عباسیان و مهندس ذاکری، همچنین آقای مهندس منیعی در شرکت سوخت اتمی راکتورهای ایران (FMP) به دلیل زحمات و همکاریهای ارزنده‌شان در انجام این پروژه.

در پایان وظیفه خود می‌دانم از پدر و مادر بزرگوارم اولین آموزگارانم و نیز دیگر آموزگارانم از کودکی تا کنون که با عشق، ایثار و فداکاری مرا بدین پایه رساندند تشکر و سپاسگزاری نمایم. همچنین از دیگر عزیزانی محقی که نامشان در این مقال گنجانده نشده است، تشکر و قدردانی می‌نمایم. در پایان نیز از حضرت حق مددی خواهم و توفیقی در راستای پیشرفت و اعتلای میهن عزیزمان ((**ایران**)).

نوید کدخدایی

زمستان ۱۳۸۵

چکیده

دیرگدازهای دولومیتی به علت مقاومت مطلوب در برابر سرباره‌های قلیایی و بهبود کیفیت فولاد تولیدی در نتیجه حذف فسفر و گوگرد، به‌طور گسترده در صنایع فولادسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در صنعت فولاد ایران نیز دیرگدازهای دولومیتی با توجه به مزایای ذکر شده و قیمت نسبتا مطلوب و گستردگی منابع طبیعی آن به‌طور گسترده‌ای مورد مصرف واقع می‌شوند. به‌گونه‌ای که شرکت ذوب آهن اصفهان در حال حاضر در پاتیل‌های فولاد سازی ثانویه (LF) منحصرا از آجرهای دیرگداز دولوما – قطرانی استفاده می‌کند. البته معایبی از جمله هیدراته شدن در مجاورت هوا و مقاومت نسبتا ضعیف در برابر شوک‌های حرارتی، استفاده از این دیرگداز را با محدودیت‌هایی مواجه می‌سازد. لذا تخریب دیرگدازهای دولومیتی بر اثر عوامل مختلف، موجب کاهش راندمان شده و مشکلات فراوانی را برای واحدهای فولاد سازی ایجاد می‌کند.

در این پژوهش علل تخریب دیرگداز دولوما – قطرانی مورد استفاده در پاتیل‌های فولادسازی شرکت ذوب آهن اصفهان مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور ریز ساختار دیرگداز در ناحیه‌های مختلف توسط میکروسکپ نوری و میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به اسپکتروسکپی اشعه‌ی ایکس (EDX) مورد مطالعه قرار گرفت. آنالیز کیفی دیرگداز در تماس با مذاب و سرباره و فازهای فرعی تشکیل شده، به کمک دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD) و آنالیز شیمیایی سرباره توسط اسپکتروسکپی فلورسانس پرتو ایکس (XRF) تعیین گردید. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تخریب در ناحیه‌ی کف پاتیل و جداره نزدیک به کف پاتیل بر اثر عوامل فیزیکی ناشی از برخورد مذاب، و تخریب در آجرهای بدنه‌ی پاتیل در ناحیه تماس با مذاب بر اثر ترک‌های ناشی از شوک‌های حرارتی و نفوذ مذاب به درون این ترک‌ها می‌باشد. همچنین مشاهده گردید که تخریب در ناحیه آجرهای خط سرباره بر اثر خوردگی شیمیایی ناشی از واکنش با سرباره می‌باشد. مشاهده شد بر اثر واکنش فازهای موجود در سرباره نظیر FeO و SiO_2 با CaO موجود در دولوما، فاز زود ذوب کلسیم فریت نظیر $CaFeO_3$ و فاز ترد و شکننده دی کلسیم سیلیکات (C_2S) تشکیل می‌گردد. که تشکیل این فازها از علل اصلی تخریب و خوردگی دیرگداز دولوما – قطرانی در تماس با سرباره فولادسازی محسوب می‌گردد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مروری بر منابع مطالعاتی	۱
مقدمه (انواع، خواص و کاربرد دیرگدازهای دولومیتی)	۱
۱-۱ مواد اولیه مصرفی	۲
۱-۲ انواع دیرگدازهای دولومیتی	۳
۱-۳ نقش و اهمیت کربن در دیرگدازهای دولومیتی	۵
۱-۴ کاربرد دیرگدازهای دولومیتی در صنایع مختلف	۶
۱-۵ مزایا و معایب دیرگدازهای دولومیتی	۸
فصل دوم: بررسی خوردگی دیرگدازها	۱۰
مقدمه	۱۰
۲-۱ انواع خوردگی و عوامل مؤثر بر خوردگی دیرگدازها	۱۰
۲-۱-۱ عوامل مکانیکی و فیزیکی	۱۱
۲-۱-۲ عوامل ترمومکانیکی	۱۲
۲-۱-۳ عوامل شیمیایی (خوردگی)	۲۱
جمع بندی عوامل مؤثر بر انحلال و خوردگی دیرگدازها	۲۵
۲-۲ روش‌های ارزیابی خوردگی دیرگدازها	۲۸
۲-۳ خوردگی دیرگدازهای اکسید – کربن	۳۱
۲-۴ مروری بر فعالیتهای صورت گرفته در زمینه خوردگی دیرگدازهای دولومیتی	۳۳
فصل سوم: روش تحقیق	۳۷
۳-۱ تهیه نمونه‌ها	۳۷
۳-۲ آماده سازی نمونه‌ها برای آزمایش	۴۰
۳-۳ روش انجام آزمایش‌ها و تجهیزات مورد استفاده	۴۰
فصل چهارم : نتایج و مشاهدات	۴۴
فصل پنجم : بحث و بررسی نتایج	۶۸
۵-۱ بررسی مکانیزم تخریب دیرگداز پاتیل بر اثر عوامل فیزیکی و مکانیکی	۶۹

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۵-۲ بررسی مکانیزم تخریب دیرگداز پاتیل بر اثر شوکهای حرارتی	۷۱
۵-۳ بررسی مکانیزم تخریب دیرگداز پاتیل بر اثر عوامل شیمیایی (خوردگی)	۷۳
فصل ششم : نتیجه گیری	۸۱
مراجع	۸۴

فهرست جدول‌ها

شماره		صفحه
۴-۱	آنالیز شیمیایی دیرگداز دولوما- قطران مصرفی	۴۵
۴-۲	خواص فیزیکی و مکانیکی دیرگداز دولوما – قطران	۴۵
۴-۳	آنالیز ترکیب شیمیایی مذاب فولاد	۵۰
۴-۴	آنالیز شیمیایی سرباره‌ی پاتیل فولاد سازی	۵۱

فهرست شکل‌ها

شماره **صفحه**

۱-۱ تغییر چگالی کلی و تخلخل در دولوما بر حسب دمای پخت..... ۳

۱-۲ نمودار وضعیت مکانیکی تنشها در دیرگداز به هنگام گرم و سرد شدن سریع..... ۱۳

۲-۲ کاهش استحکام مواد سرامیکی پس از تنشهای تغییر دما..... ۱۷

۲-۳ کاهش استحکام و استحکام پسماند نمونه‌های Al_2O_3 با درصدهای متفاوت تخلخل بنابر تنش‌های متغیر دمایی..... ۱۸

۲-۴ ساختار کریستالی هگزاگونالی گرافیت..... ۱۹

۲-۵ جهتگیری متفاوت ورقه‌های گرافیتی در بوته گرافیتی..... ۲۰

۲-۶ شمای کلی نفوذ مذاب (سرباره) در یک زمینه دیرگداز..... ۲۲

۲-۷ محصولات واکنش سرباره با دیرگداز..... ۲۳

۲-۸ رشد لایه جامد بین دیرگداز وسرباره که منجر به انحلال غیر مستقیم می شود..... ۲۵

۲-۹ ریز ساختار شماتیک دیرگدازها..... ۲۶

۲-۱۰ رفتارهای متفاوت خیس‌شدگی..... ۲۸

۲ ـ ۱۱ شمای کلی آزمایش‌های خوردگی معمول..... ۲۹

۲ – ۱۲ شمای شماتیک مشاهده خوردگی در موقعیت بوسیله اشعه X..... ۳۱

۲-۱۳ مکانیزم شماتیک خوردگی دیرگدازهای اکسیدی حاوی کربن..... ۳۲

۲-۱۴ حرکت سرباره در خط سرباره بر اثر پدیده مارانگونی..... ۳۶

۳-۱ شمای کلی فلوچارت تحقیقاتی..... ۳۸

۳-۲ پاتیل فولادسازی و قسمتهای مختلف آن..... ۳۹

۳-۳ تصویر شماتیک نمونه آجر در تماس با سرباره و تهیه نمونه‌های کوچکتر..... ۴۲

۴-۱ تصویر میکروسکپ نوری از ریز ساختار آجر سالم دولوما – قطران..... ۴۶

۴-۲ تصویر میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM) از ریزساختار دیرگداز دولومایی..... ۴۶

۴-۳ اسپکتروسکپی اشعه X دیرگداز دولومایی در شکل (۴-۲)..... ۴۷

۴-۴ الگوی پراش XRD نمونه دولومایی..... ۴۷

۴-۵ اسپکتروسکپی اشعه X فاز زمینه روشن در نقطه A..... ۴۸

فهرست شکل‌ها

شماره		صفحه
۴-۶	اسپکتروسکپی اشعه X فاز تیره در نقطه B	۴۹
۴-۷	تصویر آجر دولومایی در کف پاتیل تخریب شده بر اثر برخورد مذاب	۵۲
۴-۸	تصویر آجر دولومایی در جداره نزدیک به کف پاتیل، تخریب شده بر اثر پاشش مذاب	۵۲
۴-۹	تصویر آجر سالم دولوما – قطرانی	۵۳
۴-۱۰	تشکیل ترک در دیرگداز دولوما – قطرانی بر اثر شوک حرارتی	۵۳
۴-۱۱	تصاویر میکروسکوپ نوری از دیرگداز دولومایی بدنه پاتیل در تماس با مذاب	۵۴
۴-۱۲	تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از نفوذ مذاب در دیرگداز دولومایی	۵۵
۴-۱۳	آنالیز EDX ناحیه روشن زمینه در شکل (۴-۱۲)	۵۶
۴-۱۴	آنالیز EDX فاز تیره رنگ پراکنده در زمینه در شکل (۴-۱۲)	۵۶
۴-۱۵	آنالیز EDX فاز سفید رنگ در شکل (۴-۱۲)	۵۷
۴-۱۶	الگوی XRD نمونه دولومایی در تماس با مذاب فولاد	۵۸
۴-۱۷	تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از نفوذ مذاب در دیرگداز دولومایی	۵۹
۴-۱۸	آنالیز نقطه‌ای (EDX) نقطه A	۵۹
۴-۱۹	تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از دیرگداز دولومایی در تماس با مذاب با بزرگنمایی ۱۶۰۰ برابر	۶۰
۴-۲۰	نمای کلی آجر دولومایی در تماس با سرباره و ناحیه واکنش کرده	۶۰
۴-۲۱	الگوی XRD نمونه دولومایی خط مذاب – سرباره	۶۱
۴-۲۲	دیرگداز دولومایی در دو ناحیه مختلف پاتیل در تماس با سرباره	۶۲
۴-۲۳	آنالیز نقطه‌ای (EDX) منطقه M	۶۳
۴-۲۴	آنالیز نقطه‌ای منطقه C	۶۳
۴-۲۵	آنالیز نقطه‌ای منطقه A	۶۴
۴- ۲۶	آنالیز نقطه‌ای منطقه B	۶۴
۴-۲۷	دیرگداز دولومایی در فاصله‌ای دورتر از سطح تماس با سرباره	۶۵
۴-۲۸	الگوی پراش XRD دیرگداز دولومایی در فاصله‌ای دورتر از سطح تماس با سرباره	۶۶

فهرست شکل‌ها

شماره **صفحه**

۵-۱ انواع فرسایش در دیرگدازها..... ۶۹

۵-۲ تصویر شماتیک تخریب دیرگداز ناحیه کف پاتیل..... ۷۰

۵-۳ تصویر شماتیک نفوذ مذاب در ترک و توسعه آن..... ۷۳

۵-۴ حمله موضعی سرباره در خط سرباره..... ۷۴

۵-۵ خوردگی شماتیک دیرگداز دولومیتی توسط سرباره..... ۷۵

۵-۶ مدل شماتیک واکنش اکسیداسیون کربن در دیرگداز دولوما – قطران..... ۷۶

۵-۷ نمودار فازی سیلیس (SiO_2) با اکسید کلسیم (CaO)..... ۷۸

۵-۸ خوردگی شماتیک دیرگداز دولومایی توسط سرباره پاتیل فولادسازی..... ۸۰

فصل اول
مروری بر منابع مطالعاتی

مقدمه

دولومیت نخستین بار توسط شخصی به نام دولومیه[1] در سال ۱۷۹۹ میلادی به‌صورت یک کانه مجزا معرفی گردید. و به افتخار او منطقه کوههای تیرول[2] جنوبی را که شامل مقادیر زیادی از این نوع کانی بود، دولومیت نامیدند. لیکن استفاده از دولومیت به عنوان ماده نسوز اولین بار توسط سیدنی توماس[3] در سال ۱۸۷۸ میلادی متداول گردید. در سال ۱۸۸۵ میلادی کمپانی استیتلی[4] از دولومیت سوخته استفاده نمود. سرانجام در سال ۱۹۳۰ میلادی اولین آجرهای پخته شده دولومیتی به مرحله تولید رسید، اما پیشرفت تکنولوژی تهیه نسوزهای دولومیتی در طی جنگ جهانی دوم در نتیجه مطالعات و تلاش‌های کمیته پوشش‌های کوره‌های قلیائی در انگلستان بود. که نتیجه مطالعات انجام شده توسط این کمیته، از طرف انستیتو آهن و فولاد منتشر گردید. در نهایت با توسعه صنایع فولاد سازی ، نسوزهای دولومیتی نیز توسعه و پیشرفت نمودند [۱].

در کشورهای صنعتی نظیر انگلستان و آلمان دولومیت سالیان متمادی به عنوان یک ماده نسوز مطلوب مصرف شده است و هنوز هم سالانه چند هزار تن تولید و مصرف می شود [۲].

---

1. Dolomieu
2. Tyrol
3. Sydney Thomas
4. Steetly Company

در سال ۱۹۸۱ میلادی برای اولین بار رتگرز[1] نشان داد که دولومیت از کربنات کلسیم و منیزیم با فرمول شیمیایی $(Ca,Mg)(CO_3)_2$ تشکیل شده است [۱].

به‌طور تئوری دولومیت خالص حاوی ۴۵/۷ درصد $MgCO_3$ (۲۱/۸۵ درصد MgO) و ۵۴/۳ درصد $CaCO_3$ (۳۰/۴ درصد CaO) می‌باشد. اما در عمل ترکیب دولومیتی که در صنایع نسوز کاربرد دارد با این ترکیب تفاوت دارد و معمولا محتوی ناخالصی‌های اکسیدی نظیر چون Al_2O_3, Mn_3O_4, SiO_2, Fe_2O_3 و گاهی اوقات ترکیبات قلیائی می‌باشد [۳].

خواص دولومیت براساس میزان زینتر شدن، ترکیب شیمیایی و ساختار منیرالوژی، نوع و توزیع ناخالصی‌ها بررسی می‌گردد [۳]. دولومیت خالص به صورت طبیعی سفید رنگ است ولی در حضور ناخالصی‌های مختلفی همچون اکسید آهن و اکسید آلومینیوم به رنگهای متنوعی چون زرد کم رنگ، خاکستری، آبی، سبز و یا حتی سیاه و کدر قهوه‌ای در می‌آید [۴]. برخی اکسیدها مانند MnO و FeO در دولومیت خام در شبکه کریستالی دولومیت قرار دارند و یا به صورت کانی آزاد مثل SiO_2 و Al_2O_3 وجود دارند.

۱-۱ مواد اولیه مصرفی

اصطلاح دولوما توسط کمیته پوشش‌های کوره‌های بازی (قلیائی) به دولومیت کلسینه شده اطلاق شد.این ماده مرکب اکسیدی $(CaO.MgO)$ از دولومیت به وجود می آید. دولوما اساسا با انجام واکنش زیر تولید می‌گردد [۵].

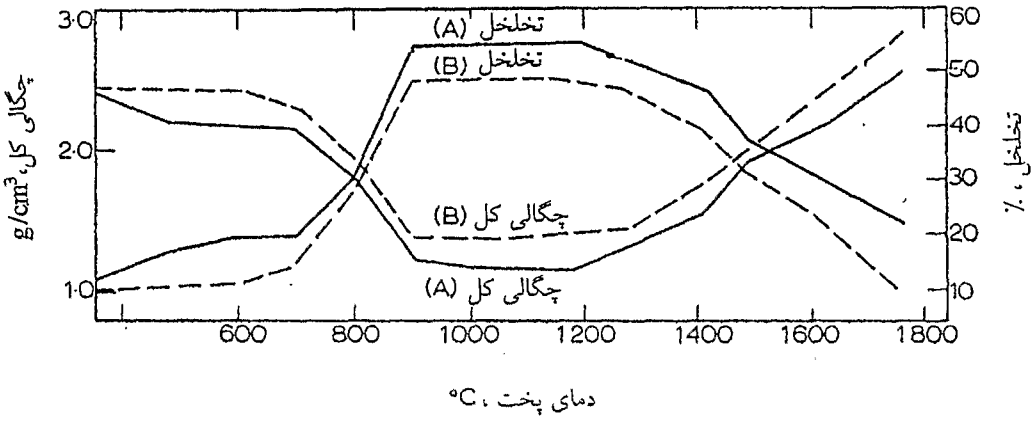
$$(Ca,Mg)(CO_3)_2 \xrightarrow{900^{O}C} (CaO.MgO) + 2CO_2 \uparrow \qquad (۱-۱)$$

اگر این واکنش به محض خروج CO_2 (حدود 900^0C) متوقف گردد، محصول واکنش میل ترکیبی زیادی با آب داشته و متخلخل خواهد بود. لذا نمی تواند به این صورت در ساخت آجر دیرگداز به‌کار رود . بنابراین محصول را باید در درجه حرارتهای نسبتا بالا حدود ۱۷۰۰ درجه سانتیگراد حرارت داد، که دراین صورت تخلخل حداکثر به ۱۵٪ خواهد رسید. به‌طوریکه محصول می‌تواند هفته‌ها بدون خراب شدن انبار شود. برای رسیدن به وزن مخصوص حجمی[2] $2/5\ g/cm^3$ دمای 1700^0C به بالا

1. Rutgers
2. Bulk Density

احتیاج است. شکل (۱-۱) اثر دمای پخت بر وزن مخصوص حجمی و تخلخل[1] را بر دو نمونه دولومایی A و B نشان داده است [۶].

همانطوریکه ملاحظه می گردد، دولومیت از دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد شروع به کلسینه شدن می‌نماید. به‌طوریکه در دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد دولومیت کاملا به منیزیا (MgO) و اکسید کلسیم (CaO) تجزیه می گردد. در واقع دولومیت که کربنات مضاعف کلسیم و منیزیم می باشد، کاملا کلسینه شده و تمام CO_2 آن خارج می گردد. در درجه حرارت بالاتر این اکسیدها شروع به رشد کریستالی می کنند، و در واقع زینترینگ انجام می گیرد. هرچه دما بالاتر رود زینترینگ بیشتر انجام می گیرد و وزن حجمی افزایش و تخلخل کاهش می‌یابد.



شکل ۱-۱: تغییر چگالی کلی و تخلخل در دولوما بر حسب دمای پخت [۶]

۱-۲ انواع دیرگدازهای دولومیتی

آجرهای دولومیتی بر اساس روش تولید به سه گروه تقسیم می‌شوند:

الف) آجرهای پخته شده نیمه تثبیت شده[2]

ب) آجرهای پخته شده تثبیت شده[3]

ج) پخته نشده متصل شده به وسیله قیر یا قطران[4] (تمپر شده و یا تمپر نشده)

---

1. Porosity
2. Fired Semi stable Bricks
3. Fired Stabilized Bricks
4. Un Fired Tar - Bonded Doloma Bricks

در میان آجرهای فوق نوع آخر اکنون بیش از همه تولید شده و در صنایع فولاد سازی از آن استفاده می‌شود [۱].

در این قسمت به توضیح مختصر سه گروه فوق اکتفا می‌شود.

۱-۲-۱ دیرگدازهای دولومیتی پخته شده نیمه تثبیت شده

ساخت این نوع آجرها شامل خردکردن و دانه بندی کردن دولوما، مخلوط کردن با ۱۱-۴ در صد قیر یا قطران و متراکم کردن تحت فشار های بالا در حدود $6 - 5\ KN / cm^3$ به صورت گرم می باشد. سپس آجرهای ساخته شده در کوره تونلی با دمای حدود $1750 - 1650\ C^o$ پخته می‌شوند و پس از سرد شدن مجددا آنرا بوسیله قیر یا قطران پوشش می دهند تا تخلخل‌های باقیمانده آن پر شود (برای افزایش مقاومت آنها در برابر هیدراته شدن در هنگام ذخیره سازی). آجرهای بدون مرحله اخیر فقط چند هفته قادر به مقاومت هستند اما در صورت قیر اندود شدن مقاومت آنها حتی به ۶ ماه می‌رسد [۷و۱].

۱-۲-۲ دیرگدازهای دولومیتی پخته شده تثبیت شده

روش ساخت این آجر به صورت زیر می باشد:

ماده اولیه تثبیت شده (دولوما) پس از خرد کردن و دانه بندی مخلوط می‌شود. معمولا دانه بندی شامل ۶۰ درصد دانه درشت، ۱۰ درصد دانه متوسط و ۳۰ درصد دانه ریز می‌باشد. به جهت خودگیری مخلوط در حین پرس حدود ۴٪ آب به آن اضافه می‌شود سپس با پرس هیدرولیک با فشاری حدود $15000 - 10000\ psi$ ($1000 - 700\ kg/cm^2$) شکل داده می‌شود عمل پخت در کوره های تونلی با درجه حرارت $1450 - 1350\ ^oC$ انجام گرفته و بایستی حدود ۲۴ ساعت در این دما بماند. در صورتی که دما پائین بوده یا زمان کمتری حرارت داده شود آجر حاوی مقدار زیادی آهک آزاد بوده و در هنگام ذخیره سازی تجزیه می‌شود [۷].

۱-۲-۳ دیرگدازهای دولومیتی پخته نشده قطرانی

این نوع آجرها و بلوک‌های متصل شده توسط قیر یا قطران از نظر ترکیب شیمیایی بسیار متفاوت هستند و از ۱۰۰٪ دولومیت تا ۱۰۰٪ منیزیت تغییر می کنند.

مواد اولیه پس از خرد کردن و دانه بندی نمودن با قیر یا قطران به حالت گرم مخلوط شده (درجه حرارت مورد استفاده بستگی به نوع قیر و قطران و ویسکوزیته آن دارد) و در مخازن گرم در دمای حدود ۱۰۰ درجه سانتیگراد ذخیره می‌شود. سپس بلوک ها یا آجرها با پرس های هیدرولیک با فشار حدود ۱۸۰۰۰ psi شکل داده می‌شوند.

آجرهای شکل داده شده معمولا تمپر می‌شوند. عمل تمپر در کوره تونلی با درجه حرارت ۲۵۰ - ۳۵۰ C^o انجام می‌گیرد و معمولا آجرها ۲۴ ساعت در این دما نگهداری می‌شوند [۱].

۱-۳ نقش و اهمیت کربن در دیرگدازهای دولومیتی

همانگونه که پیشتر بیان شد قیر یا قطران در تولید دیرگدازهای دولومیتی به‌عنوان بایندر و اتصال دهنده مصرف می‌شوند. این بایندر در اولین سیکل حرارت دهی آجر سوخته و بخارات حاصل از آن با شدت از سطح گرم آجر عبور کرده و خارج می‌شوند. بنابراین کربن باقیمانده در خلل و فرج رسوب می‌کند. اهمیت کربن باقیمانده در خلل و فرج آجر به این دلیل است که کربن در برابر سرباره های فولاد سازی مقاوم بوده و مانع از نفوذ اکسید آهن و سیلیس به داخل آجر می‌شود. علت این امر آن است که کربن دارای زاویه ترکنندگی بزرگی با اکسیدهای سرباره مذاب است. به‌صورتیکه کربن بوسیله سرباره‌های مذاب خیس نشده و مانع از ورود سرباره به آجر می‌شود. البته لایه خیلی نازکی از سطح گرم آجر به دلیل نفوذ اکسیژن، عاری از کربن شده و سرباره در آن نفوذ می‌کند. عمل اکسید کردن کربن به‌وسیله اکسید آهن سرباره هم می‌تواند صورت گیرد. پس از چندین سیکل کار کردن آجر دیرگداز ممکن است لایه سرباره نفوذ کرده، کنده شده و به جای آن لایه نازک جدیدی طبق آنچه گفته شد بوجود آید. در اینحالت سایش اتفاق می‌افتد که این نوع سایش یکنواخت بوده و باعث می‌شود ضخامت در نقاط مختلف آجر نیز یکنواخت باشد.

در صورتیکه عامل جلوگیری از ترشوندگی مانند کربن در آجر وجود نداشته باشد عمل نفوذ سرباره مذاب آنقدر به داخل حفره ادامه می یابد تا سرباره مذاب منجمد شود. در این حالت عمق نفوذسرباره به‌مراتب بیشتر شده و نهایتا ضخامت لایه سرباره نفوذی در پشت سطح گرم آجر بیشتر می‌شود. که این پدیده منجر به تغییرات شدید ترکیبات شیمیایی در این ناحیه می‌شود. طبیعی است که میزان جذب اکسید آهن و سیلیس در آجرهای بدون کربن روی خواص سطح خارجی آجرها نظیر مقاومت گرم و

انبساط حرارتی و دانسیته آجر اثر می‌گذارد. لذا به مرور زمان سطح آجر به‌صورت پوسته پوسته کنده می شود. در این حالت سایش نسوز به‌صورت غیر یکنواخت بوده و مشکل بتوان مدلی برای پیش‌بینی میزان سایش آن ارائه داد.

۱-٤ کاربرد دیرگدازهای دولومیتی در صنایع مختلف

دولومیت از نظر اقتصادی ارزان‌تر از بسیاری از فرآوردهای نسوز بوده و کارکرد بهتری نیز دارد. بنابراین مصارف صنعتی متعددی پیدا نموده است. این دیرگداز به دلیل بالا بودن درجه حرارت سرویس دهی و مقاومت مطلوب در برابر اثرات شیمیایی محصولات کوره، عمدتا نسبت به سایر فرآورده های نسوز برتری دارد. به‌طور کلی کاربرد عمده آجرها و جرمهای دیرگداز دولومیتی در صنایع آهن و فولاد، سیمان و کوره‌های پخت آهک است. که در صنعت متالورژی در کنورتورهای فولادسازی، کوره‌های قوس الکتریکی و انواع پاتیل‌های ریخته‌گری کاربرد دارند [۸].

۱-٤-۱ کاربرد نسوزهای دولومیتی در کنورتورهای فولادسازی

در پوشش جداره درونی کنورتور توماس از آجرهای دولومیتی قیردار استفاده می‌شود. همچنین جهت پوشش درونی کوره‌های الکتریکی و کنورتور .L.D نیز از این آجرها استفاده می‌شود [۸].

از نسوزهای دولومیتی قیر و قطرانی در دیواره ها و کف استفاده می‌گردد. همچنین در کنورتورهای فولاد سازی مدرن از جمله AOD [1] و VAD [2] که برای تولید فولادهای زنگ نزن پرکروم و نیکل بکار می‌رود نیز استفاده می‌شود [۹]. جهت کاهش سایش کف در کنورتورهای کف دم از آجرهای دولومیت – گرافیتی با پیوند قیردار استفاده می گردد [۹].

۱-٤-۲ کاربرد نسوزهای دولومیتی در کوره‌های قوس الکتریکی

استفاده از جرمهای کوبیدنی دولومیتی از قدیم در قسمت کف (حمام) این کوره‌های قوس الکتریکی متداول بوده است. در سالهای اخیر مخصوصا در مورد کوره‌هایی که تخلیه مذاب از ته صورت

1. Argon Oxygen Desulfurisation
2. Vacuum Argon Degassing

می‌گیرد از آجر پخته شده دولومیتی قیر تزریقی هم استفاده می‌ود و متوسط عملکرد این آجرها به ۳۰۰۰ شارژ رسیده است [۱۰].

۱-٤-۳ کاربرد نسوزهای دولومیتی در پاتیل‌های فولاد سازی

امروزه دیگر پاتیل در ریخته‌گری فولاد یک وسیله انتقال ساده حمل فولاد مذاب بین خط تولید فولاد و شمش ریزی نیست بلکه استفاده از پاتیل‌های مدرن بسیار متنوع‌تر شده و به تناسب این تنوع، لایه نسوز آنها هم از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌عنوان مثال امروزه بسیاری از مراحل تولید فولاد به تدریج در پاتیل انجام می‌گیرد. به‌طوریکه به عملیات در پاتیل، متالوژی ثانویه یا متالورژی پاتیل اطلاق می‌شود [۱۱]. با بکارگیری مؤثر نسوزهای دولومیتی در بدنه‌ی پاتیل‌ها از اثرات نامطلوب مواد نسوز شاموتی نظیر جذب اکسیژن توسط فولاد کاسته شده، و توانایی حذف فسفر و گوگرد بهبود یافته است [۱۲].

انواع نسوزهای دولومیتی که در پاتیلهای مختلف استفاده می‌گردد عبارتنداز:

نسوزهای دولومیتی پخته شده نوع استاندارد در پاتیل‌های متالورژی ثانویه، نسوزهای نپخته اتصال قیردار و اتصال رزین‌دار در پاتیل‌های معمولی و نسوزهای دولومیت – گرافیتی با اتصال قیردار در آستر پاتیل‌ها [۱۰].

آجرهای دولومیتی در شرکت ذوب آهن ایران نیز کاربرد دارد و در لایه کاری پاتیل از آن استفاده می‌شود. و با جانشین کردن این نسوزها بجای آجر شاموتی راندمان کاری از ۱۰ ذوب به بالای ۵۰ ذوب رسیده است [۱۳].

۱-٤-٤ کاربرد نسوزهای دولومیتی در صنایع سیمان

نسوز منطقه پخت کوره‌های دوار سیمان بایستی دارای مقاومت شیمیایی بالایی در مقابل حمله کلینکر قلیایی نیمه مایع، مقاومت در برابر فشارهای مکانیکی کوره و فشارهای حرارتی باشد. تا چندی پیش آجرهای با آلومینا بالا که دارای ۸۰-۶۰ درصد آلومینا (Al_2O_3) بودند در کوره های دوار با ظرفیت پایین (۵۰۰-۳۰۰ تن در روز) به نحو مطلوب جواب می‌دادند. ولی با رواج کوره‌های دوار دارای بازده اقتصادی و حرارتی بالا امروزه از آجرهای دولومیتی و منیزیتی استفاده می‌شود. آجرهای نسوز

دولومیتی مورد استفاده از نوع دولومیت زینتر شده (پخته شده) می‌باشند که برای جلوگیری از هیدراته شدن، به این نوع آجرها در صنعت سیمان قیر تزریق می‌کنند. از خواص عمده این آجرها بالا بودن نسوزندگی تحت بار و مقاومت بسیار بالا در مقابل فازهای مذاب قلیایی است. همچنین مقاومت شیمیایی آنها در برابر واکنش با کلینکر، به خاطر سخت شدن فاز مایع توسط CaO موجود در آجر آنچنان بالاست که از نفوذ عمقی به داخل آجر پیشگیری می‌شود. آجرهای دولومیتی پخته شده بخاطر نسبت قیمت به عمر مطلوب و قابل توجه، سالهاست که در منطقه پخت کوره های دوار سیمان مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۴].

۱-٤-۵ کاربرد نسوزهای دولومیتی در کوره‌های دوار پخت آهک و دولومیت

از آجرهای دولومیتی پیوند مستقیم در منطقه زینترینگ (پخت) کوره های دوار پخت آهک و دولومیت نیز استفاده می‌گردد. آجرهای دولومیتی پخته شده غنی از منیزیت MgO جهت این کاربری مناسب‌تر هستند [۳].

۱-۵ مزایا و معایب دیرگدازهای دولومیتی

۱-۵-۱ مزایای دیرگدازهای دولومیتی

مزایای دیرگدازهای دولومیتی به صورت زیر بیان شده است [۱۶و۱۵]:

- آزاد کردن اکسیژن کم در مذاب فولاد
- پایداری نسبتا بالا تحت خلاء و در اتمسفر احیاء
- مقاومت بالا در برابر نفوذ سرباره‌های قلیایی
- تولید فولاد تمیز با سولفور کم
- قابلیت حذف ناخالصیها (گوگرد) از فولاد به دلیل CaO موجود در ترکیب دولومیت
- عدم تغییر عناصر آلیاژی
- پوشش پذیری خوب در کوره های پخت سیمان
- قیمت مناسب در مقایسه با دیگر نسوزها

۱-۵-۲ معایب دیرگدازهای دولومیتی

- حساسیت در برابر آبدار شدن (هیدراتاسیون[1])

- مقاومت کم در برابر سرباره‌های اسیدی

- ویژگی خاص در دیرگدازهای دولومیتی پیوند کربنی. پس از سوختن کربن، سرباره به شدت در منافذ موجود نفوذ می‌کند و سبب کنده شدن قسمتهایی از دیرگداز که سرباره در آن نفوذ کرده است می‌شود.

- واکنش مقداری از CaO، SO_3 و CO_2 موجود در کوره سیمان و تشکیل نمک‌های مربوط به آنها [۶].

1. Hydration