به نام خدا

مرکز دانلود رایگان
مهندسی متالورژی و مواد

---

www.Iran-mavad.com

IREFCO

ISO 9001 : 2000
Certificate No. 231958

شرکت فرآورده‌های نسوز ایران

مازرس فن

فن آوری تولید پرکدازهای صنعتی

مؤلفان

مهندس سعید لقمانی - مهندس مهدی لقمانی

مخصوص کارکنان شرکت

مرکز آموزش

سال ۱۳۸۱

www.Iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ایرضی رجبی

فهرست مطالب

عنوان صفحه

پیش گفتار آقای دکتر نظیری زاده

پیش گفتار مؤلفان

مقدمه

فصل اول - تعریف، دسته بندی و خواص دیرگدازها

۱-۱- تعریف دیرگدازها ۱

۱-۲- دسته بندی دیرگدازها ۱

۱-۲-۱- دسته بندی مواد دیرگداز از نظر شکل عرضه به مشتری ۱

۱-۲-۲- دسته بندی مواد دیرگداز از نظر خاصیت هدایت حرارتی ۳

۱-۲-۳- دسته بندی مواد دیرگداز از نظر شیمیایی ۴

۱-۳- آشنایی با انواع فرآورده‌های دیرگداز ۴

۱-۳-۱- آجرهای سیلیسی ۶

۱-۳-۲- آجرهای آلومینوسیلیکاتی (شاموتی) ۶

۱-۳-۳- آجرهای آلومینی ۷

۱-۳-۴- آجرهای منیزیتی ۸

۱-۳-۵- آجرهای منیزیت - کرومیتی ۹

۱-۳-۶- آجرهای منیزیت کربنی ۹

۱-۳-۷- آجرهای دولومیتی ۱۰

فصل دوم - آشنایی با مواد اولیه دیرگداز

کلیات ۱۲

۲-۱- مواد اولیه سیلیسی ۱۲

۲-۲- مواد اولیه آلومینو سیلیکاتی ۱۵

www.Iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۲-۳- مواد اولیه آلومینی ۱۶
۲-۴- مواد اولیه کرومیتی ۱۶
۲-۵- مواد اولیه منیزیتی ۱۸
۲-۶- مواد اولیه دولومیتی ۱۹
۲-۷- سایر انواع مواد اولیه ۲۰

فصل سوم - فرآیند تولید فرآورده‌های دیرگداز

۳-۱- آشنایی با مراحل تولید انواع دیرگدازها ۲۴
۳-۲- آماده سازی مواد ۲۴
الف - آسیابها و دانه بندی ۲۴
ب - توزین و مخلوط سازی ۲۸
پ - سایر تجهیزات آماده سازی ۲۹
۳-۳- شکل دهی ۲۹
الف - شکل دهی دستی ۲۹
ب - شکل دهی توسط دستگاه پرس ۲۹
پ - شکل دهی به روش اکستروژن ۳۰
ت - شکل دهی به روش قطعه ریزی ۳۰
۳-۴- خشک کردن و پخت ۳۰
الف - خشک کن‌ها و تجهیزات عملیات حرارتی ۳۱
ب - کوره‌های پخت ۳۱
۳-۵- بسته بندی ۳۲

فصل چهارم - روشهای تعیین و آزمایش خواص دیرگدازها

کلیات ۳۳

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۴-۱- خواص حرارتی ۳۳
الف - نسوزندگی ۳۳
ب - نسوزندگی تحت بار *(RUL)* ۳۵
پ - مدول شکست گرم *(HMOR)* ۳۵
ت - تغییرات خطی دائمی *(PLC)* ۳۷
ث - انبساط حرارتی ۳۷
ج - پایداری در برابر شوکهای حرارتی ۳۷
چ - هدایت حرارتی ۳۸
۴-۲- خواص مکانیکی ۴۰
الف - کنترل توزیع دانه بندی مواد ومخلوطها ۴۰
ب - میزان تخلخل و جرم حجمی ۴۰
پ - مقاومت مکانیکی سرد *(CCS)* ۴۱
ت - مدول شکست *(MOR)* ۴۳
ث - مقاومت در برابر سایش ۴۳
۴-۳- خواص شیمیایی و ساختاری ۴۴
الف - ترکیب شیمیایی ۴۴
ب - ساختار فازی ۴۴
پ - پایداری در برابر نفوذ سرباره و مذاب ۴۵
ت - پایداری در برابر هیدراته شدن ۴۵

- ضمائم ۴۷
- فهرست منابع فارسی ۶۰
- فهرست منابع لاتین ۶۱

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

پیش‌گفتار دکتر نظیری‌زاده

جای بسی خرسندی و خوشحالی است که مؤلفان عزیز که سالها در صنعت دیرگداز تجربه و حضور داشته‌اند نسبت به مکتوب نمودن و تألیف کتاب آموزشی «فن آوری تولید دیرگدازهای صنعتی» همت گماشته و بطور ظریف و دقیق این کتاب با ارزش را به رشتهٔ تحریر درآورده‌اند.

صنعت دیرگداز علی‌رغم تصوّر ساده‌ای که از آن وجود دارد، در باطن بسیار حساس و پیچیده است و تنوع مواد اولیه و محصولات نهایی و تنوع محل کاربرد در کوره هایی با شرایط کاملاً متفاوت، این صنعت را به صنعتی بسیار پیچیده، گسترده و پویا تبدیل نموده که از این لحاظ با سایر صنایع به هیچ عنوان قابل مقایسه نمی‌باشد.

بعنوان یک محقق که سالها در خارج از مرزهای کشور به فعالیت علمی مشغول بوده است باید اعتراف نمایم که مهمترین نقطه ضعف ایرانیان را در عدم انتقال دانش و تجربیات و عدم مستند سازی معلومات و اطلاعات و انتقال آن به نسلهای آینده می‌دانم.

آنچه مسلم است ایرانیان از نظر هوش و استعداد به اعتراف همگان در مرتبهٔ بالایی در جهان قرار دارند و شهر اصفهان نیز در ادوار گذشته مهد صنعت و هنرمعماری، پل سازی و کاشی سازی بوده است لیکن بخاطر انتقال سینه به سینهٔ تجربیات و عدم مکتوب سازی اطلاعات و تجربیات توسط اساتید برجستهٔ این فنون، به تدریج پیشرفتها و دستاوردهای مهم دچار توقف و فراموشی گردیده است. لذا تدوین کتاب حاضر می‌تواند حسن آغازی جهت مستندسازی و ارائه تجربیات صنعتگران و انتقال علم و تکنولوژی به نسل‌های بعدی باشد.

اینجانب مطالعهٔ کتاب آموزشی «فن آوری تولید دیرگدازهای صنعتی» را به کلیه دوستان و همکاران در صنعت نسوز توصیه نموده و برای مؤلفان عزیز آرزوی موفقیت بیشتر در کار و زندگی مسئلت می‌نمایم.

دکتر مرتضی نظیری زاده

شهریور ۱۳۸۰ - اصفهان

www.Iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

پیش‌گفتار مؤلفان

بدون شک دوران حاضر که به عصر تحول و انفجار اطلاعات شهرت یافته از درخشانترین زمانهای تاریخ بشری است که در آن سرعت تحولات به قدری زیاد شده که کوچکترین غفلتی موجب عقب ماندگی زیاد از کاروان علم و فن آوری می‌گردد.

صنعت تولید مواد دیرگداز به دلیل آن‌که یکی از تامین‌کنندگان اصلی ملزومات مورد نیاز صنایع مادر از جمله فولاد، سیمان، آلومینیم، مس، سرب، روی، شیشه و بطور کلی کلیه صنایعی که بادمای بالا سروکار دارند می‌باشد نیز از این قاعده مستثنی نبوده و نیازمند تحول، پویایی و پیشرفت مداوم می‌باشد و از اینروست که افراد شاغل در این صنعت می‌باید بنحومستمر تحت آموزش و بازآموزی قرار گرفته تا بتوانند خود را با شرایط روز و فن آوری نوین منطبق سازند.

آموزش کارکنان شرکت علاوه بر ارتقای توانایی های شغلی آنها باعث افزایش بهره‌وری و کیفیت‌محصولات‌تولیدی،کاهش‌میزان‌مصرف‌وافزایش‌عمرنسوزدرصنایع‌مصرف‌کننده،کاهش هزینه‌های تولیدی و نهایتاً رشد صنعتی کشور و برخورداری بیشتر از رفاه عمومی میگردد.

کتاب آموزشی حاضر در راستای بند ۶ خط مشی کیفیت شرکت فرآورده‌های نسوز ایران مبنی بر «**توسعه فرهنگ کار و ارتقاء سطح مهارت و تخصص کارکنان از طریق آموزش و بازآموزی مداوم**» تهیه و تدوین گردیده است، با این امید که به کمک آن بتوان برنامه‌های آموزشی و بازآموزی نفرات شاغل در صنعت نسوز را بنحو مؤثر و مفیدی اجرا نمود.

در تألیف این کتاب سعی شده است علاوه بر استفاده ازکلیه منابع موجود فارسی و انگلیسی از تجربیات و دانش فنی موجود شرکت که ثمرهٔ بیش از ربع قرن تلاش و فعالیت در صنعت نسوز ایران می‌باشد نیز به نحو مؤثری استفاده گردد. البته بدیهی است که مؤلفان اعتقاد به بی نقص بودن کتاب حاضر نداشته و در انتظار دریافت نظرات اصلاحی و پیشنهادات همکاران محترم و سایر خوانندگان کتاب می‌باشند.

در اینجا مؤلفان بر خود لازم میدانند که از حمایت های مدیریت محترم عامل و مرکز آموزش شرکت فرآورده‌های نسوز ایران که در تدوین این کتاب نقش مؤثری داشته‌اند تقدیر و سپاسگزاری نمایند.

مؤلفان

خرداد ماه ۱۳۸۱

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

مقدمه

صدها سال است که بشر به دلیل نیاز به موادی که بتوانند درجه حرارت‌های بالا را تحمل نمایند، با مواد دیرگداز آشنا شده و از آنها استفاده می‌نماید. در این میان و با پیشرفت علم و فن‌آوری در زمینه‌های مختلف صنعتی، علم دیرگداز نیز روزبه روز توسعه یافته و بر پیچیدگی آن افزوده گشته است.

از آنجایی که یک تولیدکننده فرآورده‌های نسوز، مواداولیه عموماً طبیعی شامل انواع خاکها و سنگهای معدنی (کانی‌ها) با ارزش نه چندان زیاد را طی عملیات خود تبدیل به محصولی صنعتی و با ارزش نسبتاً بالا می‌نماید، لذا گفته شده که تولید دیرگدازها را باید نوعی کیمیاگری در عصر حاضر تلقی نمود.

در فصل اول کتاب حاضر سعی شده تا با تعریف و دسته بندی انواع فرآورده‌های نسوز یک آشنائی کلی برای خواننده ایجاد گردد و در پی آن در فصل دوم انواع مختلف مواد اولیه مصرفی این صنعت معرفی و شرح داده شده است.

فصل سوم و چهارم کتاب نیز به تشریح مراحل مختلف فرآیند تولید دیرگدازها و انواع ماشین‌آلات مورد کاربرد این صنعت و همچنین روشهای تست و آزمون حین فرآیند و محصولات نهائی پرداخته است.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

فصل اول

تعریف، دسته‌بندی و خواص دیرگدازها

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۱-۱- تعریف دیرگدازها [1]

مواد دیرگداز موادی هستند غیر آلی و غیر فلزی که مقاومت مکانیکی خود را در دمای بالا به سختی از دست می‌دهند و به‌عنوان مواد سازندهٔ بدنه کوره‌های صنعتی کاربرد دارند.

دمای بالا در سیستم‌های استاندارد مختلف دنیا براساس نقطه ذوب آهن تعریف شده است. بعنوان‌مثال‌درسیستم DIN [2] آلمان $1580^{\circ}C$(معادل مخروط‌زگر۲۶)و در سیستم [3] $ASTM$ آمریکا $1430^{\circ}C$ (معادل $PCE=15$) بعنوان دمای بالا تعریف شده است .

۱-۲- دسته بندی دیرگدازها

دسته بندی مواد دیرگداز براساس مشخصه‌ها یا ویژگی‌های مختلف بشرح زیر صورت گرفته است :

۱-۲-۱- دسته بندی مواد دیرگداز از نظر شکل عرضه به مشتری

الف - آجر [4]

آجرهای دیرگداز که به صورت شکل داده شده در اختیار مصرف کنندگان قرار می‌گیرد از نظر شکل ظاهری به پنج دسته زیر تقسیم بندی می‌شوند:

۱ - آجرهای مستقیم [5]

۲ - آجرهای کمانی [6]

۳ - آجرهای گوه‌ای [7]

۴ - آجرهای قفلی [8]

۵ - آجرهای نقشه‌ای

1-Refractories

2- Deutsche Industrie Normen

3-American Society for Testing and Material

4-Brick

5- Straight Bricks

6- Side Arch Bricks (ARCHES)

7- End Arch Bricks (WEDGES)

8- Key Bricks

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

یادآوری میگردد آجرهای سری ایزو مورد مصرف در کوره‌های دوار در گروه آجرهای کمانی قرار می‌گیرند.

ب - مواد ویژه [1]

این مواد به صورت مخلوطهایی از پودر یا دانه بندیهای مواد اولیه دیرگداز می‌باشند که به صورت شکل داده نشده بدرون کیسه، کارتن و یا... به مصرف کننده عرضه می‌گردد و شامل تقسیم بندی زیر می‌باشد:

۱ - جرمهای ریختنی * [2]

که به روش ریختن در محل مصرف مورد استفاده قرار می‌گیرد و با توجه به نوع اتصال ذرات از نوع هیدرولیکی و یا شیمیایی می‌باشد. (عموماً سیمانهای آلومینایی ** [3] در این جرمها کاربرد دارند.)

۲ - ملاتها [4]

عموماً به صورت مواد به شکل کاملاً پودر عرضه می‌گردد و برای اتصال بین آجرهای دیرگداز استفاده می‌شود.

ملاتهای نسوز نیز به دو دسته تقسیم می‌گردد:

الف - گیرش با حرارت [5] - که پس از حرارت دیدن استحکام لازم را پیدا می‌کند.

---

1 - Monolithics

2- Refractories Castables

* جرمهای ریختنی از نظر میزان سیمان و یا درصد Cao آنالیز شیمیایی به دسته بندیهایی از جمله جرمهای ریختنی معمولی (RC)، جرمهای ریختنی با سیمان متوسط (MCC)، جرمهای ریختنی کم سیمان (LCC)، جرمهای ریختنی بسیار کم سیمان (ULCC) و جرمهای ریختنی بدون سیمان (NCC) و همچنین جرمهای خود روان (SFC) تقسیم می‌گردد.

** سیمانهای آلومینائی

این سیمانها به عنوان عوامل اتصال دهنده هیدرولیک شناخته می‌شود که شامل ترکیبات اصلی Cao, Al2o3 و بعضاً Fe2o3 می‌باشند.

3- Calcium Aluminate Cement

4- Mortars

5- Heat set mortar

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ب - گیرش در هوا [1] - که به کمک اتصال دهنده‌های شیمیایی (عمدتاً سدیم سیلیکات) و پس از اضافه شدن آب در معرض هوا استحکام لازم را پیدا می‌کند.

۳ - جرمهای کوبیدنی [2]

این جرمها توسط چکش ها یا کوبه‌های پنوماتیکی (بادی)در محل کاربرد بروش کوبیدن و فشردن نصب می‌شود و بعضاً دارای باند شیمیایی نیز می‌باشد.

۴ - جرمهای پاشیدنی [3]

این جرمها که به دو صورت خشک و تر عرضه می‌گردد توسط هوای فشرده و آب به روی سطح مورد نظر در کوره‌های صنعتی پاشیده می‌شود و عمدتاًبعنوان جرمهای تعمیر کوره بکار می‌رود.

۵ - گلهای نسوز [4]

محصولات مزبور به صورت گل و با خاصیت انعطاف پذیری بالا عرضه می‌شود که توسط چکش های پنوماتیکی (بادی) در محل مصرف نصب شده و به دو صورت گیرش با حرارت و باباند شیمیایی عرضه می‌گردد. این جرمها هم بعنوان جایگزین ملات و هم برای تعمیر در کوره‌ها بکار می‌رود.

یادآوری می‌گردد که ممکن است در مواد ویژه به دلیل نیاز به حصول مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاص از الیاف آلی سرامیک و یا فلزی به صورت موردی استفاده شود.

۱-۲-۲- دسته بندی مواد دیرگداز از نظر خاصیت هدایت حرارتی [5]

آجرها و مواد ویژه دیرگداز از نظر خاصیت هدایت حرارتی به دو دسته زیر تقسیم بندی می‌شوند:

1- Air set mortar

2- Refractory ramming materials

3- Refractory gunning material

4- Plastic refractory materials

5- Thermal Conductivity

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۱ - محصولات دیرگداز فشرده [1]

۲ - محصولات دیرگداز عایق [2]

عایق سازی در مواد دیرگداز با استفاده از روشهایی همچون کاربرد مواد قابل اشتعال در بافت، استفاده از کف در شکل دهی، روشهای شیمیایی و استفاده از مواد اولیه با وزن حجمی پائین انجام می‌گیرد که شرح این روشها از حوصله این جزوه خارج می‌باشد.

۱-۲-۳- دسته بندی مواد دیرگداز از نظر شیمیایی *

دیر گدازها از نظر شیمیایی به سه دسته زیر تقسیم بندی شده‌اند:

۱ - دیرگدازهای اسیدی

۲ - دیرگدازهای خنثی

۳ - دیر گدازهای قلیائی (بازی)

دسته بندی فوق بر اساس رفتار واکنشی اکسیدهای تشکیل دهنده دیرگداز با آب و بروز خاصیت اسیدی یا بازی ترکیب حاصل انجام گرفته است.

شکل شماره ۲ به خوبی نشان دهنده انواع دیرگدازها از نقطه نظر شیمیایی و تفکیک آنها از یکدیگر می باشد.

۱-۳- آشنایی با انواع فرآورده‌های دیرگداز

در این بخش ضمن آشنایی کلی با خصوصیات و ویژگی‌های انواع مختلف فرآورده‌های نسوز به طور خلاصه مزایایا نقاط قوت و همچنین معایب یا نقاط ضعف آنها مورد بحث قرار گرفته است.

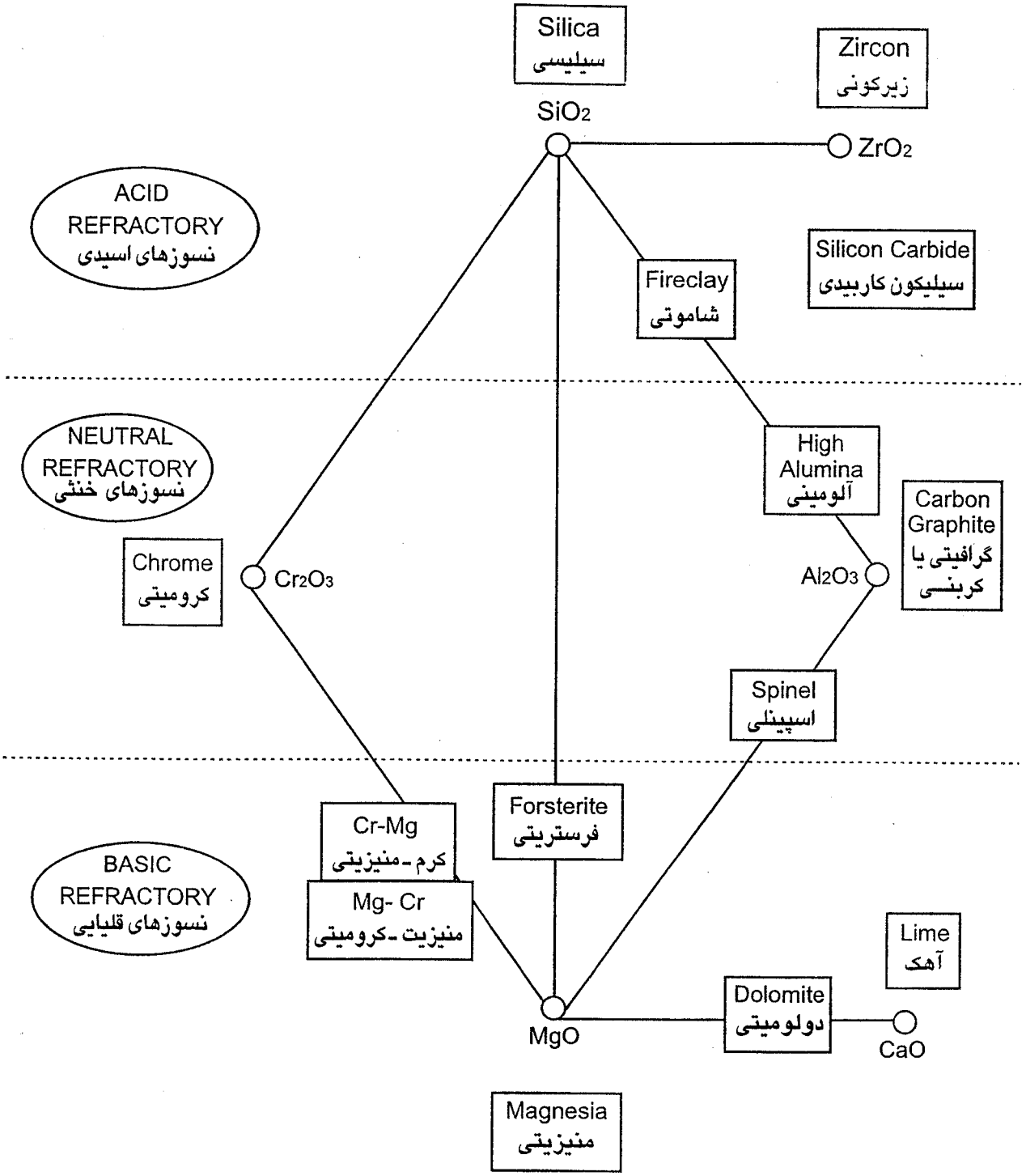
1- Dense Refractory Products

2- Insulation Refractory Products

* - انتخاب نوع دیرگداز مورد استفاده در جداره کوره‌های صنعتی براساس سازگاری شیمیایی با محیط آن کوره انجام می‌پذیرد.

همچنین در رابطه با سرباره: هانسبت مولی Cao/Sio2 پائین‌تر از ۱ بعنوان سربارهٔ اسیدی و نسبت مولی بالاتر از ۲ بعنوان سرباره قلیایی مطرح می‌باشد.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد



Chemical Classification Of Refractories

شکل شماره ۲ - **دسته بندی شیمیائی نسوزها**

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۱-۳-۱- آجرهای سیلیسی [1]

آجرهای سیلیسی متداول‌ترین نوع دیرگدازهای اسیدی است که ماده اولیهٔ اصلی تشکیل دهنده آنها کوارتزیت یا سنگهای سیلیسی نسوز می‌باشد که در گذشته در صنایع مختلف خصوصاً صنعت فولاد مصارف بالایی داشت. لیکن با گسترش و توسعه آجرهای قلیائی از کاربرد این محصولات کاسته گردید. آجرهای دیرگداز مزبور در حال حاضر بیشتر در کوره‌های کک سازی و کوره‌های مختلف صنعت شیشه کاربرد دارد.

آجرهای سیلیسی شامل حداقل ۹۳ درصد وزنی $Sio2$ می‌باشد و میزان $Al2o3$ موجود در آنها تأثیر بسزایی برروی رفتار حرارتی و مکانیکی آجر دارد.

مزایا و معایب آجرهای سیلیسی بشرح زیر می‌باشد:

۱ - مقاومت بالا در برابر محیط‌ها و سرباره‌های اسیدی

۲ - دیرگدازی تحت بار [2] بالا

۳ - ارزانی و فرآوانی مواد اولیه

۴ - وزن حجمی کم و هدایت حرارتی [3] بالا در مقایسه با سایر دیرگدازها

۵ - مقاومت شوک حرارتی [4] بالا در دماهای بالای ۷۶۰c و انقباض بسیار ناچیز در این دماها

۶ - مقاومت شوک حرارتی پائین در هنگامی که تغییرات دمایی کمتر از $700^{\circ}C$ در کوره رخ دهد (به دلیل تغییرات فازی سیلیس)

۷ - ضعف در محیط های قلیائی و در تماس (مجاورت) با سرباره‌های بازی

۱-۳-۲- آجرهای آلومینوسیلیکاتی (شاموتی) [5]

این آجرها پر مصرف‌ترین نوع دیرگدازها هستند که ماده اصلی تشکیل دهنده آنها خاکهای نسوز آلومینو سیلیکاتی کلیسنه شده [6] (شاموت) می‌باشد.

1- Silica Bricks
2- Refractoriness Under Load(RUL)
3- Thermal Conductivity
4- Spalling Resistance
5- Alumina Silicate or Chamot Bricks
6- Calcination

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

این آجرها در انواع مختلف کوره‌های صنعتی استفاده گسترده‌ای دارند و از نظر رفتار شیمیایی در مرز بین دیرگدازهای اسیدی و خنثی قرار می‌گیرند.

مزایا و معایب آجرهای شاموتی به شرح زیر می‌باشد:

۱ - هدایت حرارتی و انبساط حرارتی[1] کم

۲ - ارزانی و فراوانی مواد اولیه و سادگی روش تولید

۳ - کاربرد وسیع در مصارف عمومی صنعتی

۴ - ضعف در برابر سرباره‌ها و محیط های قلیائی خصوصاً در مواردی که درصد Al_2O_3 آجر شاموتی زیر ۳۵ درصد باشد.

۵ - مقاومت سایشی[2] و شوک پذیری خوب

۱-۳-۳- آجرهای آلومینی

آجرهای آلومینی به گروه هایی از دیرگدازها اطلاق می‌گردد که دارای بیش از ۴۵ درصد Al_2O_3 باشند و این گروه در محدوده وسیعی از انواع گوناگون عرضه می‌گردد. با افزایش درصد آلومینا خواص حرارتی و مکانیکی آجر بهبود می‌یابد و انتخاب نوع آن برای کوره‌های مختلف براساس این ویژگی صورت می‌پذیرد.

ماده اولیه تشکیل دهنده این آجرها شامل محدودهٔ وسیعی از کانیهای طبیعی یا مصنوعی از جمله **بوکسیت**[3]، **مولیت**[4]، **کوراندوم**[5] **آندالوزیت**[6]، **سیلیمانیت**[7] **وکیانیت**[8] است که نامگذاری آجرها نیز براساس ماده اولیه مورد استفاده در تولید آنها انجام می‌گیرد.

آجرهای آلومینی به دلیل گستردگی انواع و خواص، از کاربرد وسیعی در کوره‌های مختلف صنعتی برخوردارند.

مزایا و معایب آجرهای آلومینی بشرح زیر می‌باشد:

1- Thermal Expantion
2- Abrasion Resistance
3- Bauxite
4- Mullite
5- Corundum
6- Andalusite
7-Sillimanite
8- Kyanite

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۱ – دیرگدازی و دیرگدازی تحت بار بالا

۲ – مقاومت در برابر خوردگی انواع سرباره‌ها (اعم از اسیدی و قلیائی)

۳ – هدایت حرارتی بالا (که با افزایش درصد $Al2o3$ بیشتر می‌شود.)

۴ – مقاومت مکانیکی [1] و مقاومت سایشی بالا [2]

۵ – مقاومت در برابر شوک حرارتی خوب خصوصاً در درصدهای بالای $Al2o3$

۶ – ضعف در محیط های احیائی حاوی منو اکسید کربن

۱-۳-۴- آجرهای منیزیتی [3]

این دیرگدازها متداول‌ترین نوع آجرهای قلیائی می‌باشند که مصارف عمده‌ای در صنایع فولاد، شیشه و قنددارند. ماده اولیه اصلی تشکیل دهنده آجرهای منیزیتی،منیزیای زینتره شده [4] طبیعی یا مصنوعی [5] می‌باشد.

طبقه بندی این آجرها براساس درصد Mgo (پریکلاس)، درصد $Fe2o3$ و نسبت $cao/sio2$ آنها صورت می‌پذیرد و دارای حداقل ۸۰٪ وزنی Mgo می‌باشد.

تولید این آجر در مقایسه با آجرهای شاموتی و آلومینی دشوارتر و حساستر است .

مزایا و معایب آجرهای منیزیتی به شرح زیر می‌باشد:

۱ – دیرگدازی و دیرگدازی تحت بار بالا

۲ – مقاومت بالا در برابر سرباره‌های قلیائی

۳ – ضعف در برابر شوکهای حرارتی

۴ – انبساط حرارتی و هدایت حرارتی بالا

۵ – مقاومت کم در برابر بخار آب (تمایل به هیدراته شدن زیاد)

۶ – ضعف در برابر محیط ها و سرباره‌های اسیدی

---

1 - Cold Crushing Strength(CCS)

2 - Corossion Resistance

3- Magnesite Bricks

4 - Sintered Magnesia or dead - burned Magnesia

5 - Synthetic

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۱-۳-۵- آجرهای منیزیت - کرومیتی [1]

این آجرها عموماً از ترکیب مواد اولیه منیزیت و کرومیت تولید می‌گردند. ابداع و توسعه این آجرها به منظور برطرف سازی نقاط ضعف آجرهای کرومیتی و منیزیتی بوده است.

آجرهای حاوی بیش از ۵۰٪ Mgo را تحت گروه منیزیت کرومیتی و کمتر از این درصد را تحت نام گروه کرومیت منیزیتی دسته بندی نموده‌اند.

با افزایش درصد Mgo در این گونه آجرها دیرگدازی تحت بار، انبساط حرارتی و مقاومت در برابر سرباره قلیائی آجر افزایش می‌یابد. همچنین مقاومت در برابر شوک حرارتی این آجرها در مقایسه با آجرهای منیزیتی و کرومیتی به مراتب بهتر می‌باشد. محصولات مزبور استفاده وسیعی در صنایع فولاد، سیمان و فلزات غیر آهنی دارند.

مزایا و معایب آجرهای منیزیت کرومیتی:

۱ - دیرگدازی و دیرگدازی تحت باربالا

۲ - انبساط حرارتی، هدایت حرارتی و وزن حجمی بالا

۳ - مقاومت خوب در برابر سرباره‌های بازی ضعیف و همچنین سرباره‌های اسیدی ضعیف

۴ - مقاومت سایشی بالا در درجه حرارت زیاد

۱-۳-۶- آجرهای منیزیت کربنی [2]

مواداولیه موردمصرف در تولید این آجرها منیزیت زینتره شده پرخلوص و گرافیت [3] و مواد افزودنی آلی که بعنوان چسب های کک شونده بکار می‌روند می‌باشد. این آجرها عمدتاً جهت صنعت فولاد در چند دهه اخیر ابداع گردید و مهمترین ویژگی آن عدم ترشوندگی توسط سرباره به دلیل حضور کربن و در نتیجه خوردگی ناچیز آن درکوره می‌باشد.

در تولید محصولات مزبوربه کمک برخی افزودنیهای آلی (از جمله انواع رزین) استحکام لازم در

---

1 - Magnesite Chromite Bricks

2- Magnesite Carbon Bricks

3- Graphite

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

آجر ایجاد می‌شود و به صورت پخته نشده به مشتری عرضه می‌گردد. به دلیل دوام بسیار بالای این آجرها در مقایسه با سایر انواع نسوز در کوره‌های صنعت فولاد مصرف آن بطور روز افزونی در جهان در حال افزایش است .

کاربرد این آجرها به دلیل حضور کربن تنها در محیط های احیاء مقدور بوده لذا در صنعت فولاد بایستی در حال گرم و پیوسته سطح آجر با مذاب یا سرباره پوشیده شده باشد.

مزایا و معایب آجرهای کربن منیزیتی:

۱ - دیرگدازی و دیرگدازی تحت بار بالا

۲ - مقاومت بسیار بالا در برابر خوردگی توسط سرباره (عدم ترشوندگی توسط سرباره)

۳ - مقاومت در برابر شوک حرارتی بالا

۴ - مدول شکست گرم بالا [1]

۵ - ضعف در برابر محیط های اکسیدان

۶ - گرانقیمت بودن مواد اولیه و دشواری روش تولید

۱-۳-۷- آجرهای دولومیتی [2]

آجرهای دولومیتی از اواسط قرن نوزدهم در صنعت فولاد کاربرد گسترده‌ای داشته است. لیکن اخیراً قسمت قابل توجه کاربردهای این آجر با آجرهای منیزیت کربنی و منیزیت کرومیتی جایگزین گردیده است .

ماده اولیه اصلی تولید آجرهای مذکور دولومیت طبیعی یا مصنوعی می‌باشد وخواص آجرهای دولومیتی بسیار وابسته به نوع دولومیت مصرفی، نوع ماده چسبنده بکار برده شده و حتی تحت عملیات حرارتی قرار گرفتن یا عدم انجام عملیات حرارتی در آجر می‌باشد. این آجرها به دلیل تمایل بسیار زیاد به هیدراته شدن و جذب بخار آب از عمر نگهداری کوتاهی در محل مصرف

1- Hot Modulus of Rupture (HMOR)

2- Dolomite Bricks

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

برخوردارند که برای طولانی نمودن مدت نگهداری آنها روش قیر تزریقی* [1] بسیار مفید است و توصیه می‌شود.

مزایا و معایب آجرهای دولومیتی:

۱ - ارزانی و فراوانی مواد اولیه

۲ - مقاومت بسیار خوب در برابر سرباره‌های قلیائی در محیط احیاء

۳ - مقاومت شوک حرارتی بالا خصوصاً زمانیکه با قیر تزریق شود

۴ - هدایت حرارتی بسیار کم

۵ - ضعف در برابر بخار آب و مقاومت هیدراته شدن پائین که موجب کاهش طول عمر نگهداری آجر می‌شود.

۶ - مقاومت کم در برابر سرباره‌های اسیدی

۷ - بالا بودن هزینه بسته بندی و نگهداری

1- Tar Impregnation

*روش قیر تزریقی :در این روش ابتدا توسط محفظه خلاء هوای موجود در منافذ آجر خارج شده و سپس به وسیله تزریق قیربادرجه‌حرارت‌بالااین‌منافذپرمی‌گردد.در این روش تخلخل آجر بسیار کاهش یافته و مقاومت مکانیکی و سایشی آن بالا می‌رود.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

فصل دوم

آشنایی با مواد اولیه

دیرگداز

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

کلیات:

ویژگی‌ها و مشخصات محصولات دیرگداز همانند سایر انواع سرامیک بسیار وابسته به خواص و کیفیت مواد اولیه مصرفی می‌باشد حتی اگر پیشرفته‌ترین روشهای تولید و تجهیزات نیز بکار گرفته شود بدون بکارگیری مواداولیه مناسب امکان دستیابی به کیفیت های مورد نظر در صنعت نسوز تقریباً غیر ممکن است. در این فصل سعی شده است تا با تشریح مشخصات عمومی مواد اولیه متداول در صنعت دیرگداز، آشنایی مناسبی در این زمینه برای خوانندگان حاصل گردد.

مواد اولیه نسوز به دو گروه عمده طبیعی و مصنوعی [1] (مواد اولیه‌ای که به روشهای صنعتی بدست می‌آید) دسته بندی می‌شود که برای تولید انواع مختلف دیرگدازها به صورت ترکیبی از مواد اولیه مناسب ویا گاهی به تنهایی استفاده می‌گردد.

انواع مواد بسیار زیاد و متنوعی بعنوان ماده اولیه در صنعت دیرگداز کاربرد دارد از جمله انواع خاکهای نسوز، بوکسیت، منیزیت، کرومیت، دولومیت، کوارتزیت و... که مواد اولیه طبیعی و همچنین آلومینا، اکسید کرم، گرافیت، انواع سیمانهای نسوز، مولایت، اسپینیل‌های زینتری یا ذوبی و زیرکونیا و... بعنوان مواداولیه مصنوعی می‌باشند. البته موادی که بعنوان چسب [2] و یا افزودنیهای [3] تولیدی در انواع فرآورده‌های نسوز استفاده می‌گردند را نیز بایستی به مجموعه فوق افزود.

۲-۱- مواداولیه سیلیسی

ماده اولیه‌ای که جزء اصلی تشکیل دهنده آن سیلیس *(Sio2)* باشد را عموماً سنگ سیلیسی یا ماسه سیلیسی (بسته به اندازه ذرات آن) می‌نامند. اگر چه سیلیسیم *(si)* فراوانترین عنصر پوسته زمین می‌باشد لیکن سنگ سیلیسی خالص بندرت در طبیعت یافت می‌شود و

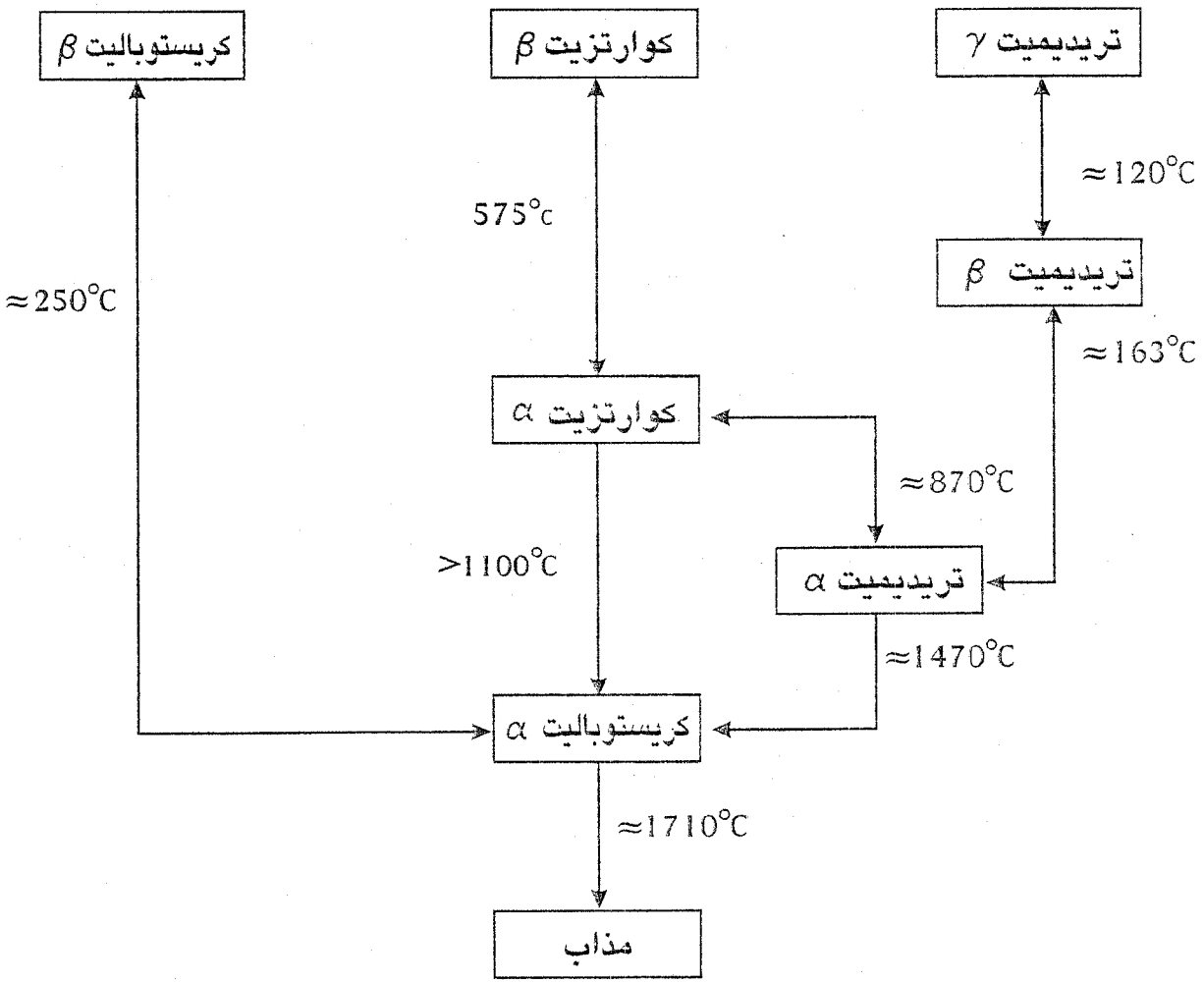
1- Synthetic Material

2- Binder

3- Additives

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

فراوانی انواع سنگهای سیلیسی براساس شکل و ساختار (ساختمان بلوری) در طبیعت زیاد می‌باشد. ماده اصلی آجرهای سیلیسی یعنی $Sio2$ در فازهای بلوری به نامهای کوارتز[1]، تریدیمیت[2]، کریستوبالیت[3] و نیز فاز کوارتز شیشه‌ای ظاهر می‌گردد. این فازهای بلوری هر کدام در دو شکل بلوری α و β در دماهای مختلف ظاهر می‌شود و به صورت برگشت‌پذیر قابل تبدیل به یکدیگر هستند. مطابق شکل شماره (۳)



شکل شماره ۳: تغییرات ساختاری سیلیس بر اثر افزایش دما

1- Quartz
2- Tridymite
3- Christobalite

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

خواص مواد اولیه سیلیسی در همه جا یکسان نمی‌باشد و با توجه به زمین‌شناسی منطقه‌ای و نحوه فرآوری آنها متفاوت است. ولی بطور عام گفته می‌شود این مواد از شاخه کوارتزیت می‌باشند.

مواد اولیه سیلیسی مصرفی در صنعت نسوز بایستی از درصد سیلیس بالا و آلومین، تیتانیم و مواد قلیائی پائین برخوردار باشند. کوارتزیت های [1] طبیعی مصرفی در صنعت دیرگداز معمولاً از حداقل ۹۷٪ $Sio2$ تشکیل شده‌اند که بدون کلیسناسیون مصرف می‌شوند و در حین پخت باتبدیل به فازهای میزالی کریستوبالیت و تریدیمیت توام با افزایش حجم شدید همراه است.

در صنعت نسوز فاز تریدیمیت به دلیل پایداری حجمی و دیرگدازی بالا مطلوب می‌باشد.

لذا در تولید آجرها از درصد کمی (درحدود ۲٪) Cao یا آهک بعنوان متداولترین کمک کننده [2] به تشکیل فاز تریدیمیت استفاده گردد. البته علاوه بر آهک برای این منظور می‌توان از دی اکسید تیتانیم، اکسید بور، کلریدهای آهن و سدیم نیز استفاده نمود.

بایستی بخاطر داشت که تغییرات فازی کوارتزیت در اثر تغییر دما بوجود می‌آید که این تغییرات با تغییر حجم شدید و سریع توام می‌باشد. لذا تولیدکننده نسوز بایستی به این نکته کاملاً توجه داشته باشد که در هنگام پخت این آجرها بایستی مدت زمان ثابت پخت طولانی و سرعت خنک شدن کند و آرام باشد در غیر اینصورت آجرها ترک خواهند خورد. از آنجا که آجرهای سیلیسی بر اثر تغییرات فازی، کاملاً فاقد کوارتز و یا دارای مقدار کمی کوارتز باقیمانده هستند رفتارشان تحت تاثیر حرارت، بیش از همه با نسبت کریستو بالیت به تریدیمیت تعیین می‌شود.

پرلیت [3] و دیاتومیت [4] نیز از مواد اولیه سیلیسی می‌باشند که به دلیل دارا بودن آب تبلور زیاد درحین حرارت دیدن انبساط حجمی فوق العاده از خود نشان می‌دهند و به همین دلیل ماده اصلی انواع محصولات عایق دیرگداز می‌باشند.

1- Quartzite
2- Mineralizer
3- Perlite
4- Diatomite

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۲-۲- مواد اولیه آلومینو سیلیکاتی (شاموتی)

مواد اولیه شاموتی از گستردگی انواع و خواص متنوعی بسته به ساختار ماده مصرفی و میزان ناخالصیها برخوردارند. این مواد بیشتر از مشتقات دو اکسید $Al2o3$ و $Sio2$ حاصل می‌شوند لذا بعنوان مواد اولیه آلومینوسیلیکاتی نیز شناخته می‌شوند که درصد $Al2o3$ این مواد معمولاً کمتر از ۴۵٪ می‌باشد.

وجود $Tio2, Mgo, Cao, Fe2o3$ در مقادیر بالا در کیفیت مواد اولیه شاموتی تاثیر منفی دارد ودرصدهای بالای $Al2o3$ کیفیت و دیرگدازی این نوع مواد را بهبود می‌بخشد .در صورتیکه ناخالصی آهن موجود در ماده اولیه بصورت نقطه‌ای در آجر تجمع یابد پس از پخت لکه‌های سیاه رنگ در آجر ایجاد می‌نماید که مطلوب نمی‌باشد.(همچنین ماده اولیه شاموتی نبایستی حاوی ذرات سیلیسی شیشه‌ای باشد.)

مواد اولیه شاموتی در طبیعت بصورت خاکهای نسوز (عمدتاً کائولینیت [1]) موجود می‌باشد که پس از عملیات پخت و تکلیس بعنوان شاموت شناخته می‌شود.

در تولید آجرهای شاموتی علاوه براستفاده از شاموت از خاک نسوز دارای آب تبلور بعنوان خاک چسبنده و گاهی از ضایعات پخته شده آجرها [2] در ترکیب استفاده می‌شود.

در هنگام پخت آجرهای شاموتی فاز مینرالی مولیت [3] تشکیل می‌گردد که کیفیت آجر شدیداً بستگی وابسته به میزان تشکیل این فاز می‌باشد.از مشخصات بارز مولیت، دیرگدازی بالا و انبساط حرارتی کم می‌باشد. بعنوان مثال در یک آجر شاموتی حاوی ترکیبات قلیائی کم وحدود ۴۰٪ آلومینا (مانند آجر سمیرم) پس از پخت حدود ۵۵٪ مولیت، ۲۰ الی ۲۵٪ کریستوبالیت و حدود ۲۰٪ فاز شیشه‌ای خواهیم داشت. بدیهی است هرچه میزان فاز شیشه‌ای بوجود آمده در آجر شاموتی کمتر باشد ماده اولیه مرغوبتر است .

مواد اولیه شاموتی از نظر وزن حجمی و میزان تخلخل بدو دسته فشرده و سبک تقسیم

1- Kaolinite
2- Grog
3- Mullite

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

می‌شوند. در مواد اولیه شاموتی فشرده درصد تخلخل کمتر از ۱۰٪ می‌باشد. از مواد اولیه شاموتی سبک در تولید آجرهای عایق استفاده می‌گردد.

۲-۳- مواد اولیه آلومینی

مواد اولیه آلومینی نیز همانند مواد اولیه شاموتی از دو جزء اصلی $Sio2, Al2o3$ تشکیل شده‌اندلیکن درصد $Al2o3$ آنها به مراتب بالاتر است و از دیرگدازی بالایی برخوردار می‌باشند. مواداولیه دیرگداز آلومینی طبیعی شامل بوکسیت [1]، آندالوزیت [2]، کیانیت [3] و سیلیمانیت [4] می‌باشند. مواد اولیه آلومینی بسیار پر خلوص و عمدتاً به روشهای مصنوعی تهیه می‌شوندو تحت نام‌آلومینا (کوراندوم) [5] شناخته می‌شوند که این گروه نیز در انواع مختلف کلسانیدآلومینا [6]، تابولار آلومینا [7] و فیوزد آلومینا [8] مصارف عمده‌ای در تولید نسوزهای با کیفیت بالا و مصارف ویژه دارند. البته مولیت خالص با حدود ۷۲٪ $Al2o3$ نیز جزو همین گروه می‌باشد.

در مواد اولیه آلومینی هر چه درصد $Al2o3$ و وزن حجمی بیشتر باشد مرغوبیت آن افزایش می‌یابد.

۲-۴- مواد اولیه کرومیتی

تنها کانی حاوی کروم در طبیعت کرومیت می‌باشد. کرومیت طبیعی دارای ۳۰ الی ۶۰ درصد $Cr2o3$ بوده و سایر اکسیدها همچون $Sio2, Mgo, Al2o3, Fe2o3, Feo$ نیز در آن هست که گاهی به صورت فازهای، ناخالصی مانند سرپانتین و اولیوین ظاهر می‌گردد.

یک کرومیت مناسب جهت صنعت نسوز بایستی دارای مشخصات شیمیایی زیر باشد:

Mgo ۱۱-۲۰ درصد $Cr2o3$ ۳۰-۶۰ درصد

1- Bauxite
2- Andalusite
3- Kyanite
4- Sillimanite
5- Corundum
6- Calcined Alumina
7- Tabular Alumina
8- Fused Alumina

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۱۲-۲۷ درصد $Al2o3$ ۱۵> درصد Feo

۶> درصد $Sio2$ ۱> درصد Cao

کرومیت با ترکیب شیمیایی فوق در برابر جذب اکسید آهن در حین کاربرد و تغییرات اتمسفر در دمای بالا مقاوم می‌باشد.

اکسیدهای فوق در کانی کرومیت عمدتاً بصورت اسپینل * [1] ظاهر می‌گردد که هر چه اسپینل نوع Mgo. Al2o3 و Mgo.Cr2o3 در کرومیت بالاتر باشد تحمل حرارتی و کیفیت ماده اولیه بهبود می‌یابد.

حضور سیلیس به دلیل تشکیل فازهای با نقطه ذوب پایین و عدم پایداری فازی، نامطلوب می‌باشد و هرچه سنگ کرومیت حاوی درصدهای پائین‌تر Sio2 باشد مرغوبتر و گرانتر است.

عمده‌ترین منابع طبیعی کرومیت در جهان در کشورهای روسیه، آفریقای جنوبی، کوبا، فیلیپین، ترکیه و ایران می‌باشد.

از اکسیدکرم مصنوعی ($Cr2o3$) نیز در مصارف ویژه در صنعت نسوز استفاده می‌گردد. این ماده اولیه یکی از گرانترین مواد مصرفی در صنعت نسوز می‌باشد.

1- Spinel

* بطورکلی به ترکیب میزالی اکسید یک فلز دو ظرفیتی با یک فلز سه ظرفیتی اسپینل گویند. اسپینل‌ها با فورمول عمومی Mo.N2o3 نشان داده می‌شوند که در اینجا M^{+2} یک فلز دو ظرفیتی و N^{+3} یک فلز سه ظرفیتی می‌باشد. بنابراین با ترکیب گفته شده اسپینل های مختلفی می‌توان تشکیل داد بعنوان مثال به غیرازاسپینل های اشاره شده از Feo.Cr2o3,Feo.Fe2o3 می‌توان نام برد که معروفترین آنها در صنعت نسوز اسپینل منیزیت آلومینایی Mgo.Al2o3 می‌باشد.

نظر به اینکه فاز اسپینل در طبیعت بسیار نادر و کمیاب است محققان اقدام به تهیه و تولید اسپینل‌های صنعتی یا مصنوعی نموده‌اند که این عمدتاً در آجرهای منیزیا اسپینلی استفاده می‌گردد.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۲-۵- مواد اولیه منیزیتی

کانی اصلی مواداولیه منیزیتی پریکلاس [1] یا Mgo (منیزیا) [2] می‌باشد که از زینتره کردن کربنات منیزیم (منیزیت) [3] و کلرور منیزیم حاصل می‌گردد. این مواد اولیه، هم از نوع معدنی و طبیعی و هم از نوع غیر معدنی با استحصال از آب دریا بدست می‌آید.

مهمترین خصوصیات ویژه این ماده اولیه که در واقع تعیین کننده رفتار دیرگدازهای منیزیتی نیز هست نقطه ذوب بالا، هدایت حرارتی و انبساط حرارتی زیاد می‌باشد و همچنین هر چه اندازه بلورهای پریکلاس در منیزیت درشتر باشد ماده اولیه مرغوبتر است.

عمل زینتره کردن [4] منیزیت که به منظور تثبیت و بالا بردن وزن مخصوص(درصد تخلخل بایستی کمتر از ۱۲٪ شود) در دمای بالای ۱۷۰۰°C انجام می‌شود معمولاً در کوره‌های دوار صورت می‌پذیرد. این عملیات را Dead Burning نیز می‌گویند.

در ماده اولیه منیزیت ناخالصیهای اکسیدی نظیر Fe2o3,Cao,Sio2 حضور دارند که نوع و کیفیت ماده اولیه بستگی به میزان و نسبت اکسیدهای فوق با یکدیگر داشته و افزایش درصد ناخالصیها موجب افت دیرگدازی منیزیت می‌گردد که این پدیده به دلیل تشکیل فازهای جدید با نقطه ذوب پائین در حین عملیات پخت منیزیت اتفاق می‌افتد.

همچنین بسته به اینکه محل مصرف آجر منیزیتی در کدامیک از انواع صنایع مدنظر باشد نوع منیزیت مصرفی در آن از نظر درصد Fe2o3 و نسبت Cao/Sio2 انتخاب می‌گردد.بعنوان مثال در صنعت سیمان در منطقه پخت کوره بهتر است آجرهای منیزیت کرومیتی از درصد آهن بالایی جهت خاصیت کوتینگ‌گیری بهتر و طول عمر بالاتر برخوردار باشند.

عمده‌ترین منابع طبیعی منیزیت در جهان در کشورهای ترکیه، برزیل، اتریش، چین، اسلواکی، هند، کره و روسیه قرار دارند.

اکنون توضیح مختصری در خصوص منیزیت‌های آب دریا جهت آشنایی خوانندگان محترم

1- Periclase
2- Magnesia
3- Magnesite
4- Sintering

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ارائه می‌گردد:

در آب دریا درصد ناچیزی کلرور منیزیم (Mgcl2) وجود دارد که با افزودن هیدروکسیدکلسیم [Ca(oH)2] و انجام فعل و انفعالات شیمیایی هیدروکسید منیزیم [Mg(oH)2] به صورت رسوب ته نشین می‌گردد. این رسوب توسط اسیدسولفوریک خنثی شده و سپس کنسانتره حاصل را به کوره دوار تغذیه و در درجه حرارتهای بالاتر از ۱۸۰۰°C کلسینه وزینتر می‌نمایند محصول حاصل از کوره دوار معمولاً دارای درصد Mgo بالای ۹۶٪ و ناخالصیهای بسیار ناچیز می‌باشد همچنین از وزن حجمی بالاتری در مقایسه با منیزیتهای طبیعی برخورداراست. عمده کشورهای تولیدکننده منیزیت از آب دریا شامل ژاپن، ایتالیا، آمریکا، انگلستان، ترکیه و هلند می‌باشند نکته قابل ذکر اینکه کشور هلند منیزیت فوق الذکر را از طریق استحصال از منابع نمک کلرید سدیم زیرزمینی بدست می‌آورد.

۲-۶- مواد اولیه دولومیتی

دولومیت [1] یک ماده اولیه طبیعی شامل کربنات کلسیم و منیزیم می‌باشد. این ماده اولیه با زینتر کردن در دمای حدود ۱۷۵۰°C به دولومیت زینتر شده یا دولوما تبدیل می‌گردد و عمدتاً شامل ترکیبی از آهک (cao) و منیزیت (Mgo) می‌باشد از آنجاکه آهک موجود در این ماده اولیه به‌ترکیب باآب بسیارحساس ومتمایل می‌باشدعملیات زینتره کردن با استفاده از پودر اکسید آهن جهت تهیه کلینکر دولومیت نیمه پایدار [2] انجام می‌گیرد. البته گفته می‌شود در صورتیکه درعملیات زینترینگ از اولیوین نیز استفاده گردد دولومیت حاصل پایدارتر و تثبیت شده می‌باشد.

رفتار دیرگدازهای تولید شده با دولومیت زینتری وابسته به میزان cao آزاد این ماده اولیه می‌باشد. در گذشته دولومیت در صنعت نسوز مصرف بسیار بالایی داشت لیکن با توسعه در روشهای تولید فولاد تمیز و کاربرد آجرهای منیزیت کربنی در جهان تقاضا برای این نوع مواد اولیه و محصولات حاصل از آن بشدت کاهش یافته است.

1- Dolomite

2- Semistabilized

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

فاز اصلی تشکیل دهنده دولومیت زینتره شده شامل ۵۰ الی ۶۵ درصد Mgo می‌باشد.البته از دولومیتهای زینتره شده مصنوعی حاوی تا ۸۰ درصدMgo نیز در برخی از کشورهای جهان استفاده می‌شود.

دولومیت خاصیت مقاومت در برابر خوردگی سرباره‌های قلیائی خوبی دارد و در مقایسه با منیزیت در طبیعت فراوانتر و ارزانتر می‌باشد لیکن مشکل هیدراته شدن سریع آن که عمر نگهداری آن را در محل مصرف بسیار کوتاه می‌سازد از موانع اصلی کاهش مصرف آن در صنعت شده است. به دلیل آنکه نمی‌توان در هنگام تولید به این ماده اولیه آب اضافه نمود لذا بیشتر از اتصالات قیری یا قطرانی در تولید آجرهای دولومیتی استفاده می‌گردد.

۲-۷- سایر انواع مواداولیه

علاوه بر انواع مواداولیه ذکر شده در بخشهای قبلی این کتاب در صنعت نسوز از گسترهٔ متنوعی از سایر انواع مواداولیه استفاده می‌گردد که از آن جمله می‌توان مواد زیر را نام برد:

الف - گرافیت یا کربن [1]

در صنعت نسوز از گرافیتهای طبیعی، آنتراسیت [2]، کک [3] و الکتروگرافیت در دو شکل معمولی پولکی و بسیار ریزدانه استفاده می‌گردد. این ماده اولیه دارای خاصیت بسیار خوب عدم ترشوندگی توسط سرباره و مذاب فولاد و شوک پذیری بالا می‌باشد، لیکن در محیط های اکسیدی‌بسیار ضعیف بوده و به راحتی می‌سوزد ولی در محیط های احیائی تا ۳۵۰۰°C تحمل حرارتی دارد. بدنیست بدانید که ناحیه کف (بوته) کوره بلند کارخانجات فولاد تماماً از جنس بلوک های کربنی یا گرافیتی خالص می‌باشد.

1- Graphite

2-Anthracite

3- Coke

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ب - اولیوین [1]

مهمترین گروه مواد اولیه اولیونی فورستریت [2] با فرمول 2Mgo.Sio2 می‌باشد که از حرارت دادن مخلوط پودر Mgo و دولومیت حاصل می‌گردد. همچنین اولیوین به صورت طبیعی و تحت نام سنگ دونیت [3] در مجاورت معادن کرومیت بوفور یافت می‌شود. این ماده اولیه دارای پایداری حجمی نسبتاً خوب ولی شوک پذیری ضعیفی است و از نظر رفتار بسیار شبیه منیزیت می‌باشد. این ماده اولیه در تولید برخی نسوزهای مورد کاربرد در کوره‌های صنعت شیشه استفاده می‌گردد.

پ - زیرکون [4] (Zro2.sio2)

زیرکون یا سیلیکات زیرکونیا نوعی ماده طبیعی است که در صورت حرارت دیدن (حدود ۱۴۵۰°C) به زیرکونیا[5] (Zro2) و سیلیس (Sio2) تجزیه می‌شود.

این ماده اولیه از مقاومت بالائی در محیط های اسیدی برخوردار بوده و پایداری حجمی خوبی نیز دارد لذا از مصرف بسیار گسترده‌ای در کوره‌های صنعت شیشه برخوردار می‌باشد. از ترکیب این ماده اولیه و آلومینا ترکیبات متنوعی جهت کوره‌های صنعت فولاد موسوم به فرآورده‌های آلومینا زیرکونی تهیه می‌گردد. مصرف این نوع مواد اولیه در سالیان اخیر به طور روز افزونی افزایش یافته است .

ت - سیلیکون کاربید [6] (Sic)

این ماده اولیه در طبیعت یافت نمی‌شود و به صورت مصنوعی از ترکیب ماسه سیلیسی و کک در درجه حرارت بالا و درمحیط احیاء تهیه می‌گردد. مشخصه ویژه این ماده اولیه، سختی بالا و مقاومت سایشی زیاد می‌باشد. سیلیکون کاربید در محیط احیاء در برابر انواع زیادی از

1- Olivine
2- Forsterite
3- Dunite
4- Zircon
5- Zirconia
6- Siliciumcarbid

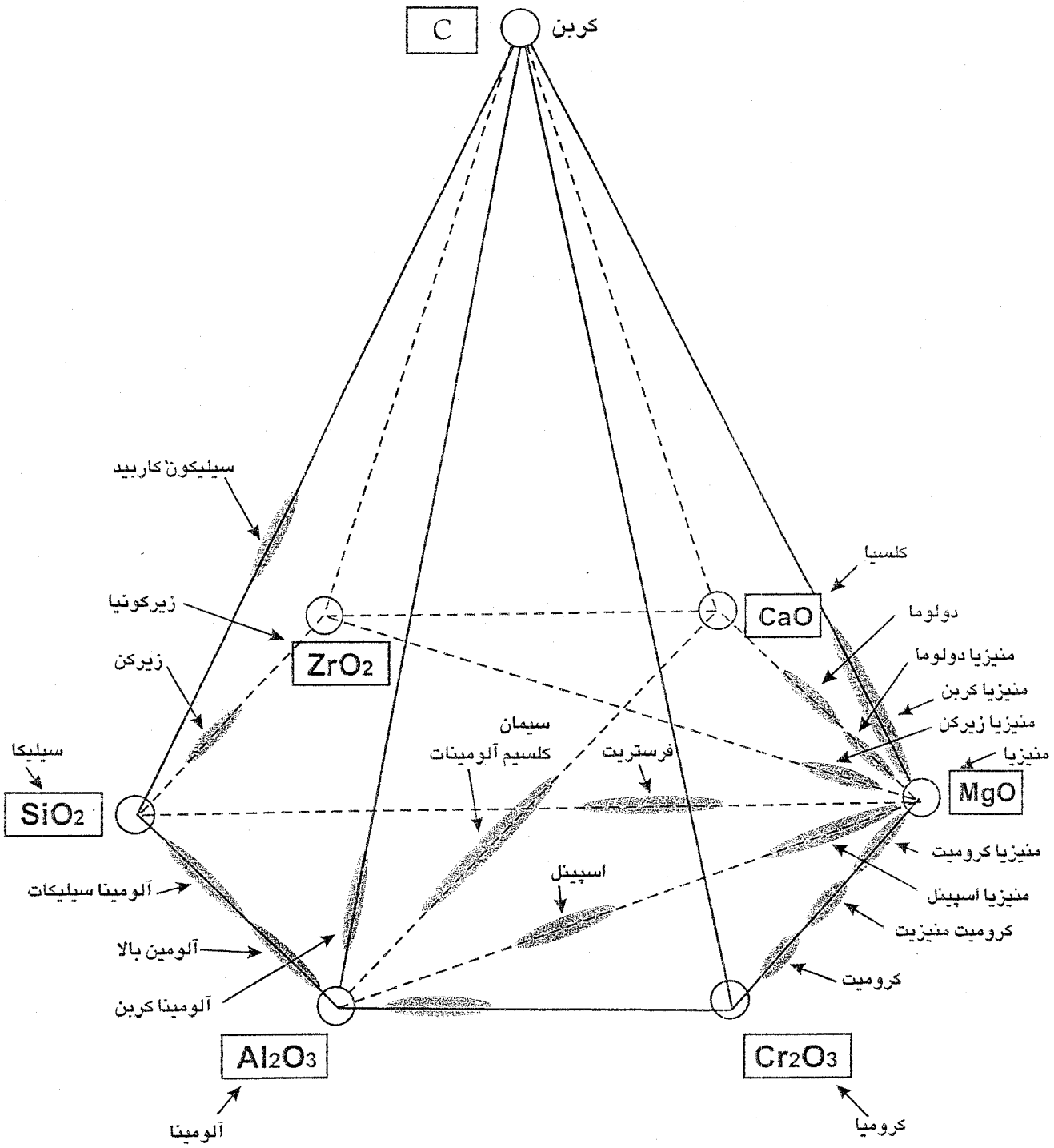
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

مذاب های فلزات (مانند آلومینیم، مس، سرب، و روی) پایدار است و همین رفتار اهمیت ویژه‌ای برای اینگونه دیرگدازها در صنایع فلزات غیر آهنی بوجود آورده است. این ماده اولیه در برابر سرباره‌های اسیدی بسیار مقاوم و در نقطه مقابل در برابر سرباره‌های قلیائی ضعیف می‌باشد.

در خاتمه این فصل ذکر این نکته ضروری است که علاوه بر مواد اولیه معرفی شده در صفحات گذشته از انواع متنوع دیگری از اکسیدها، نیتریدها و کاربیدها در صنعت دیرگداز بعنوان ماده اولیه استفاده می‌گردد که به دلیل کاربرد محدود و بسیار تخصصی آنها ذکر آن از حوصله این کتاب خارج می‌باشد که خواننده محترم می‌تواند با مراجعه به ضمیمه شماره ۲،۱و۳ انتهای کتاب اطلاعات مفیدی به اختصار در این زمینه کسب نماید.

شکل شماره ۴ دید کلی مناسبی از ارتباط مواد اولیه پایه (اصلی) تولید دیرگدازها را به خوانندگان نشان می‌دهد.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد



شکل شماره ۴ : هرم ارتباطی مواد اولیه پایه تولید دیرگدازها

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

فصل سوم

فرآیند تولید فرآورده‌های دیرگداز

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۳-۱- آشنایی با مراحل تولید انواع دیرگدازها

روشهای تولید انواع فرآورده‌های دیرگداز براساس نوع آنها بسیار متنوع می‌باشد. بعنوان مثال مراحل تولید مواد ویژه نسوز تنها شامل خردایش و دانه‌بندی [1]، توزین [2]، مخلوط‌سازی [3] و بسته بندی [4] می‌باشد در حالیکه برای تولید آجر بایستی مراحل شکل‌دهی [5] و پخت [6] نیز افزوده گردد. بطور کلی یک خط تولید کامل فرآورده‌های نسوز شامل چهار بخش اصلی آماده سازی، شکل دهی، پخت (یا کوره‌ها) و بسته بندی می‌باشد که در کنار تمام این مراحل بایستی از کنترل کیفیت نیز غافل نبود.(شکل شماره ۵)

۳-۲- آماده سازی مواد

الف - آسیابها و دانه بندی

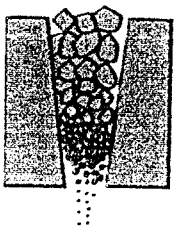
بسته به نوع ماده اولیه مصرفی انواع مختلفی از آسیابها [7] و تجهیزات دانه بندی در صنعت نسوز مورد استفاده قرار می‌گیرد که از آنجمله می‌توان آسیابهای فکی [8]، ضربه‌ای [9] مخروطی [10]، ژیراتوری [11] و غلطکی [12] را برای تهیه دانه بندیهای غیر پودر (درشت) [13] مواد اولیه نام برد و برای تهیه پودر و مواد بسیار ریزدانه [14] نیز از آسیابهای پودر ساز [15] مانند آسیابهای گلوله‌ای [16]، آسیابهای میله‌ای [17]، آسیابهای لرزه‌ای [18] و آسیابهای پرتابی [19] استفاده می‌گردد.

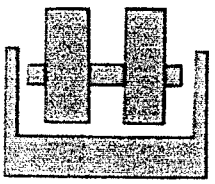
1- Crushing and Sizing
2- Weighting
3- Mixing
4- Paching
5-Forming
6- Firing
7- Crushers
8- Jaw Crusher
9- Impact Crusher
10- Cone Crusher
11- Gyratory
12- Roll Crusher
13- Coarse
14- Fine
15- Mills
16- Ball Mill
17- Rod Mill
18- Vibrating Mill
19- Jet Mill

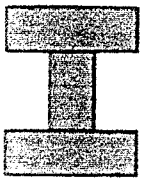
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

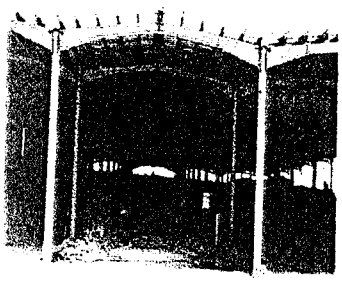
مراحل و تجهیزات تولید فرآورده های نسوز

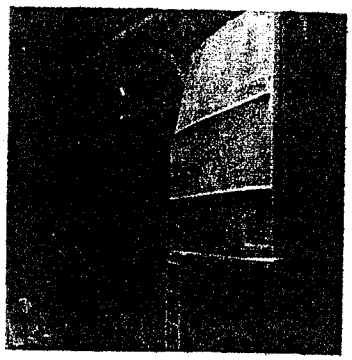
۱	۲	۳	۴
مواد اولیه	عملیات خردایش	مخلوط سازی	شکل دهی

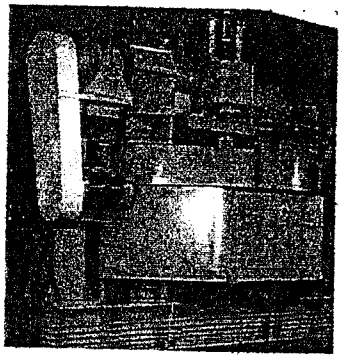


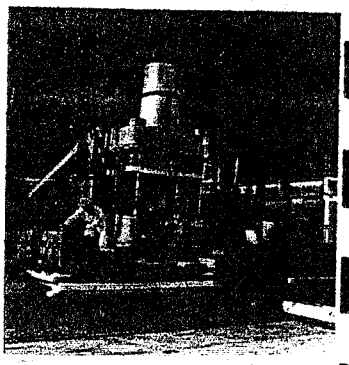










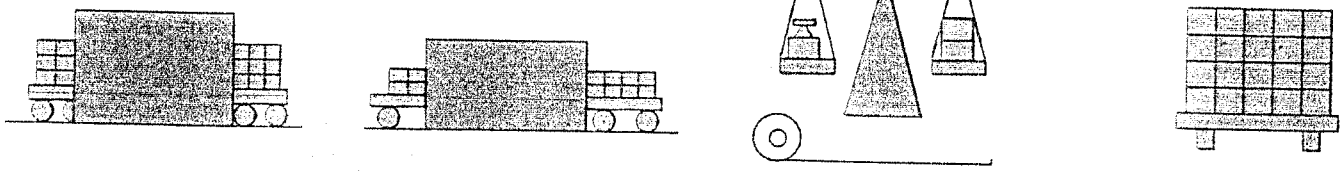


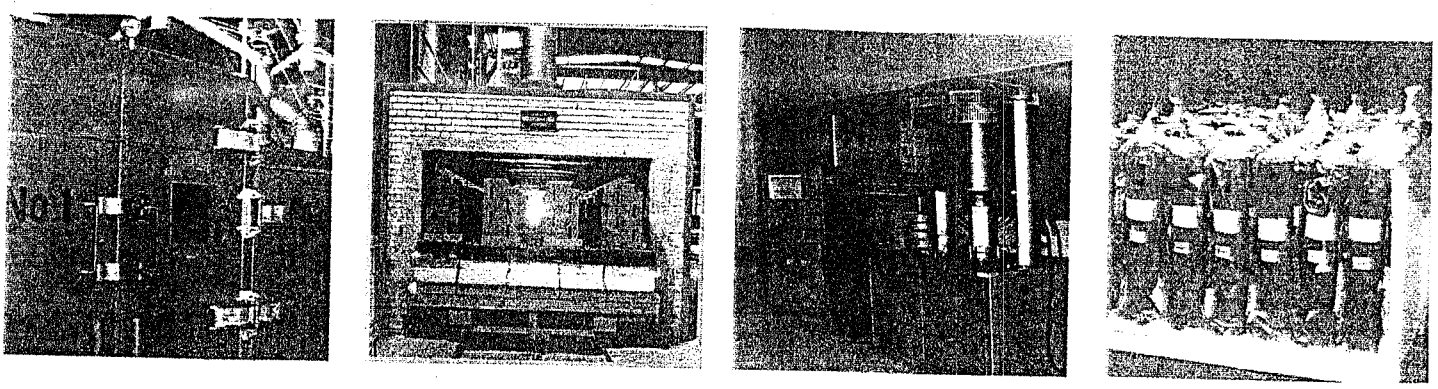
انبار مواد اولیه — آسیاب — مخلوط کننده — پرس

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

مراحل و تجهیزات تولید فرآورده های نسوز

۵	۶	۷	۸
خشک نمودن	پخت	بازرسی	بسته بندی و حمل





خشک کن | کوره تونلی | دستگاه RUL | بسته بندی

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

برای انتخاب صحیح سیستمهای خردایشی مواد بایستی به اندازه اولیه آنها، درجه سختی مواد، دانه بندی نهایی مورد نیاز، شکل و نسبت دانه بندیهای مورد نیاز توجه گردد. در حین خردایش قسمت اعظم انرژی مصرفی به گرما تبدیل می‌گردد و لذا گفته می‌شود بازده ماشین‌آلات خردایش در صنعت نسوز کمتر از ۱٪ می‌باشد. همچنین این تجهیزات نسبت به سایر تجهیزات تولید از استهلاک بالاتری برخوردار می‌باشند.

به منظور جداسازی دانه بندیهای مختلف یا اصطلاحاً سرند (غربال) [1] نمودن مواد حاصل از آسیابها در صنعت نسوز از انواع مختلف ماشین‌آلات شامل سرند لرزشی افقی،[2]، سرند لرزشی شیب دار [3] (نیاگارا)، سرندهای ثابت (ایستگاهی [4]) و سرندهای دوار [5] برای دانه بندیهای بزرگتر از ۰/۱ میلیمتر و از سیکلون [6]، دستگاه جداسازی توسط جریان هوا [7] و دستگاه جداسازی میله‌ای [8] برای تفکیک پودر مواد استفاده می‌گردد.

عاری بودن مواد از رطوبت یکی از شروط اصلی تهیه دانه بندی مناسب خصوصاً برای دانه‌بندیهای بسیار ریز یا پودر می‌باشد.

دانه بندیها با استفاده از سرندهای (زیب) مختلف (که عموماً از جنس فولادهای مقاوم در برابر سایش تهیه می‌گردد.) از یکدیگر تفکیک می‌شود.

مواد پس از تفکیک دانه بندیها درون ظروف [9] یا بونکرها [10] (مخازن متحرک یا ثابت) جهت مراحل بعدی تولیدذخیره می‌شود. در اینجا ذکر این نکته ضروری بنظر می‌رسد که به دلیل غبارزایی زیاد تجهیزات خردایش مواد اولیه دیرگداز، کاربرد سیستمهای غبارگیر [11] که خود دارای انواع بسیار متنوعی می‌باشند از ضروریات واحدهای آماده سازی مواد هر کارخانه تولید

1- Screening
2- Horizontal Vibrating Screen
3-Inclined Vibrating Screen
4-Stationary Screen
5- Rotary Screen
6- Cyclone
7- Air Sifter
8-Rod Sifter
9- Tote can
10- Bunker
11- Dedusting Systems

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

نسوز است که شرح و توصیف این سیستمها از حوصله این کتاب خارج می‌باشد.

ب - توزین [1] و مخلوط سازی [2]

مواد اولیه دانه بندی وذخیره شده در ظروف یا سیلوها در مراحل قبلی با استفاده از سیستمهای توزین [3] مکانیکی یا الکترونیکی به نسبتهای مورد نیاز جهت تولید هر یک از انواع محصولات دیرگداز درون ظروف مخصوص ریخته می‌شود. این مرحله را اصطلاحاً توزین می‌نامند که برای بدست آوردن حداکثر یکنواختی محصولات، درسیستمهای جدید توزین این کار با بکارگیری سیستمهای الکترونیکی کنترل اتوماتیک (PLC) [4] انجام می‌پذیرد.

همچنین بایستی توجه نمود که خاصیت فیزیکی یک محصول دیرگداز بسیار وابسته به توزیع دانه بندی [5] مناسب مواد تشکیل دهنده آن می‌باشد لذا این مرحله تولید از حساسیت و اهمیت فوق العاده بالایی برخوردار می‌باشد.

پس از این مرحله مواد جهت همگن سازی، افزودن مواد چسبنده و سایر مواد افزودنی یا تنظیم رطوبت بدرون دستگاههای مخلوط کننده وارد می‌گردد. در صنعت نسوز انواع متنوعی از ماشین آلات مخلوط کننده بکار می‌رود از آنجمله میتوان از مخلوط کننده‌های مارپیچی یا حلزونی [6] (جهت مخلوط سازی گلهای نسوز)، مخلوط کننده‌های غلطکی [7]،مخلوط‌کننده‌های دارای همزن و دیگ گردان افقی یا مایل [8] نام برد.

در مخلوط سازی رعایت مدت زمان گردش مواد در دستگاه، ترتیب و توالی افزودن مواد بدرون مخلوط کن، مقدار و زمان افزودن رطوبت و سایر افزودنیهای مایع و همچنین کنترل دمای عملیات در کیفیت و همگن بودن مخلوط ساخته شده نهایی بسیار موثر بوده که این مشخصه‌ها بسته به نوع محصولات ، متفاوت می‌باشد.

1- Batching
2- Mixing
3- Weighting
4- Programable Logic Control
5- Grain Size Distribution
6- Kneader Mixer
7- Pan Mixer
8- Eirich Mixer

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

پ - سایر تجهیزات آماده سازی

علاوه بر ماشین آلات و تجهیزات معرفی شده در بخشهای قبلی معمولاً در کارخانجات تولید مواد دیرگداز در قسمت آماده سازی مواد از تجهیزاتی مانند سیستمهای آماده سازی انواع بایندرهایامواداافزودنی،ماشین‌آلات‌تخلیه [1] کیسه‌های سیمانهای نسوز و سایر مواد افزودنی و تجهیزات انتقال مواد اولیه [2] در بین مراحل مختلف تولید استفاده می‌گردد.

۳-۳- شکل دهی

مخلوطهای آجر آماده شده در مراحل قبل، برای ورود به مرحله بعدی که همان شکل دهی می‌باشد ارسال می‌گردد.

با توجه به تنوع بسیار زیاد اشکال مختلف آجرها و قطعات از پیش‌شکل داده شده نسوز جهت کاربرد در کوره‌های مختلف صنعتی روشهای تولید و شکل دهی این قطعات بسیار متنوع بوده و روشهای مختلفی برای انجام این کار در یک کارخانه نسوز وجود دارد از آنجمله می‌توان روشهای ذیل را نام برد:

الف - شکل دهی دستی

این روش برای شکل دهی اشکال پیچیدهٔ نسوز و یا سفارشات با تعداد کم بکار می‌رود که طی آن مخلوطهای آماده شده از قبل درون قالبهای چوبی یا آلومینیومی ریخته شده وتوسط چکشهای دستی یا پنوماتیکی (بادی) فشرده می‌گردد.

ب - شکل دهی توسط دستگاه پرس

قسمت عمده‌ای از تولیدات انبوه و متنوع آجر نسوز توسط انواع پرسهای ویژه انجام می‌گیرد. آجرهای تولیدی توسط پرس علاوه بر راندمان تولید بالا از یکنواختی و کیفیت بالایی نیز برخوردار می‌باشند.

1- Bag discharge Systems

2- Material Handling Systems

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

پرسهای مورد استفاده در این صنعت شامل انواع: پرسهای مکانیکی [1]، پرسهای ضربه‌ای (اصطکاکی) [2] پرسهای هیدرولیک [3] و پرسهای ایزواستاتیک [4] می‌باشند. انتخاب نوع پرس وابسته به نوع نسوز تولیدی، میزان فشار مورد نیاز، حجم یا میزان تولید، شکل و ابعاد آجر تولیدی می‌باشد. البته امروزه بیشترین حجم تولید آجر در کارخانجات نسوز با استفاده از پرسهای هیدرولیکی یا نیمه هیدرولیکی انجام می‌گردد.

پ - شکل دهی به روش اکستروژن [5]

اکسترودرها [6] ماشین‌هایی هستند که با تغذیه مخلوطهای خمیری شکل به آنها می‌توان در خروجی یک شکل خاصی از مواد را بدست آورد. شکل حاصل بصورت یکنواخت، فشرده و عاری از هوای محبوس شده درونی می‌باشد. این روش گاهی برای شکل دهی گلهای نسوز صرفاً جهت بسته بندی بکار می‌رود و گاهی برای تولید بعضی از اشکال پیچیده و دارای سوراخهای هم شکل استفاده می‌گردد.

ت - شکل دهی به روش قطعه ریزی [7]

این روش شکل دهی صرفاً برای تولید قطعات یا بلوکهای نسوز از جنس جرمهای ریختنی می‌باشد. در این روش پس از آماده سازی و افزودن درصد رطوبت مناسب به جرم ریختنی آنرا درون قالبهای چوبی یا آلومینیومی ریخته و گاهی با استفاده از میزهای لرزشی یا ابزار ویژه دیگر که جهت همگن سازی استفاده می‌گردد کیفیت کار را تکمیل می‌نمایند.

۳-۴- خشک کردن و پخت

قطعات نسوز تولید شده در روشهای شکل دهی شرح داده شده در مرحله قبل جهت حصول مشخصات فیزیکی و مکانیکی مورد نیاز، لازم است تحت عملیات خشک کردن و یا پخت

1- Mechanical or Toggle Press
2- Friction Press
3 - Hydraulic
4- Isostatic Press
5- Extrusion
6- Extruder
7- Casting

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

قرار گیرد. در این مرحله ابتدا رطوبت ظاهری قطعات خارج می‌گردد(خشک کردن)و سپس با پخت آجر اتصالات سرامیکی و خواص فیزیکی و مکانیکی نهایی بدست می‌آید.

الف - خشک کن‌ها و تجهیزات عملیات حرارتی

تقریباً همهٔ قطعات نسوز شکل داده شده بایستی به دقت خشک گردند. این کار از بوجود آمدن عیوب ناشی از دفع رطوبت ظاهری در قطعات در حین پخت و کاربرد جلوگیری می‌نماید. دماو مدت زمان خشک کردن وابسته به شکل و نوع نسوز تولیدی می‌باشد.

آجرهائیکه اتصال شیمیایی یا آلی دارند معمولاً صرفاً با عملیات خشک کردن به استحکام لازم می‌رسد و لذا قبل از کاربرد در کوره پخته نمی‌شود.

سایر تجهیزات این قسمت شامل انواع کوره‌های عملیات حرارتی می‌باشد که معمولاً در دماهای زیر $350^{\circ}C$ با اعمال یک رژیم پخت بسیار حساس و کنترل شده عملیات حرارتی لازم را بر روی محصولات انجام می‌دهند. ازجملهٔ این تجهیزات می‌توان از کوره‌های عملیات حرارتی آجرهای منیزیت کربنی و یا کوره‌ها و تجهیزات عملیات قیر تزریقی نام برد.

ب - کوره‌های پخت

بخش اعظم انواع آجرهای نسوز پس از خشک کردن وارد مرحلهٔ پخت می‌شود. هر یک از انواع آجرهای نسوز نیازمند رژیم پخت ویژه خود بوده و حصول خواص فیزیکی و حرارتی هر آجر بسیار وابسته به چگونگی و نحوهٔ پخت آن می‌باشد.

انواع کوره‌های مورد استفاده‌در صنعت نسوز شامل دو گروه کوره‌های دوره‌ای یا بسته [1] و کوره‌های تونلی یا پیوسته [2] می‌باشد.

از مزایای کوره‌های بسته می‌توان امکان تولید انواع متنوع آجرهای نسوز در مقادیر محدود و سرعت تولید مناسب را نام برد. لیکن مصرف انرژی بالا به ازای پخت هر کیلوگرم محصول و استهلاک زیاد نسوزهای جدارهٔ این کوره‌ها از معایب آن می‌باشد.

1- Shuttle Kiln(Batch)

2- Tunnle Kiln(Continuous)

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

در رابطه با کوره‌های تونلی می‌توان از امکان تولید انبوه، یکنواختی رژیم پخت در طول تولید و مصرف انرژی کمتر به ازای پخت هر کیلوگرم محصول در مقایسه با کوره‌های دوره‌ای ذکر نمود.

لازم به یادآوری است که کوره‌های دوره‌ای و کوره‌های تونلی از نظر نحوه بارگیری و ابعاد در اشکال و انواع مختلفی ساخته می‌شوند که خواننده محترم در صورت نیاز با مراجعه به مراجع فهرست شده در انتهای این کتاب می‌تواند اطلاعات بیشتری را کسب نماید.

۳-۵- بسته بندی

از آنجائیکه معمولاً بازار مصرف فرآورده‌های دیرگداز از محل تولید فاصله دارد و انواع مختلف آجرها و مواد ویژه نسوز لازم است به نحو مناسب بسته بندی گردد تا در موقع مصرف عاری از هرگونه اشکال ناشی از حمل و جابجائی باشد، لزوم بکارگیری روشها و تجهیزات مناسب بسته بندی برای هر تولیدکننده ضروری به نظر می‌رسد.

انواع مواد ویژه نسوز در بسته بندیهای متنوعی از جمله کیسه‌های کاغذی چند لایه (با ظرفیتهای بین ۱۰ تا ۵۰ کیلوگرم)، کیسه‌های بزرگ [1]، کارتن و ظروف فلزی یا پلاستیکی ارائه می‌گردد که کارخانجات تولیدکننده، متناسب با نوع بسته بندی مورد نیاز از ماشین آلات مختلفی استفاده می‌نمایند.

برای بسته بندی آجرهای نسوز از کارتن و تسمه کشی، پلاستیک و صندوق چوبی بنابه ضرورت استفاده می‌گردد. بسته بندی انواع مواد ویژه و آجرهای قلیائی بایستی کاملاً در برابر نفوذ رطوبت مقاوم باشد. این موضوع خصوصاً برای آجرهای دولومیتی که حتی با جذب رطوبت هوا به شدت و سریعاً هیدراته می‌شوند بیشتر ضرورت می‌یابد.

شرکتهای تولید کننده نسوز معمولاً گسترهٔ متنوعی از انواع بسته بندیها را جهت مشتریان خود پیشنهاد می‌نمایند که مشتری متناسب با نیاز و میزان هزینه، نسبت به انتخاب آن اقدام می‌کند.

---

1 - Jumbo or Big Bag

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

فصل چهارم

روشهای تعیین و آزمایش خواص دیرگدازها

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

کلیات:

انتخاب مناسب ترین نوع نسوز برای هر کوره زمانی امکان‌پذیر است که خصوصیات آن و شرایط محیط کاربرد تا حد امکان شناخته شده باشد. گرچه دستیابی به دیرگدازهایی که تمام خواص آنها ایده آل باشد میسر نیست، لیکن می‌باید آنها را براساس مهم‌ترین خصوصیات کاربردی دسته بندی و انتخاب نمود.

برای تعیین خصوصیات انواع مختلف آجر و مواد ویژه از روشهای آزمایشی مختلفی استفاده می‌شود که اغلب آنها در سیستم‌های مختلف جهانی استاندارد شده‌اند. در این فصل سعی شده است تا با تشریح برخی از مهم‌ترین روشهای تست و بازرسی دیرگدازها (براساس حداقل یکی از روشهای استاندارد JIS,DIN,ASTM) خواننده با این خصوصیات آشنا گردد. جداول ضمیمه شماره ۵ در انتهای کتاب چشم انداز کلی از روشهای کنترل کیفیت و بازرسی در مراحل مختلف تولید فرآورده‌های نسوز را ارائه می‌دهد.

۴-۱- خواص حرارتی

الف - نسوزندگی (دیرگدازی)[1] (PCE)[2]

درجه دیرگدازی بیانگر درجه حرارتی می‌باشد که در آن ماده نسوز شروع به نرم شدن و تغییر فرم پیدا می‌کند. متداولترین روش برای اندازه‌گیری این پارامتر تهیه مخروط هرم شکلی از نمونهٔ مورد آزمایش و مقایسه آن در کوره ویژه با مخروط های استاندارد زگر[3] می‌باشد.

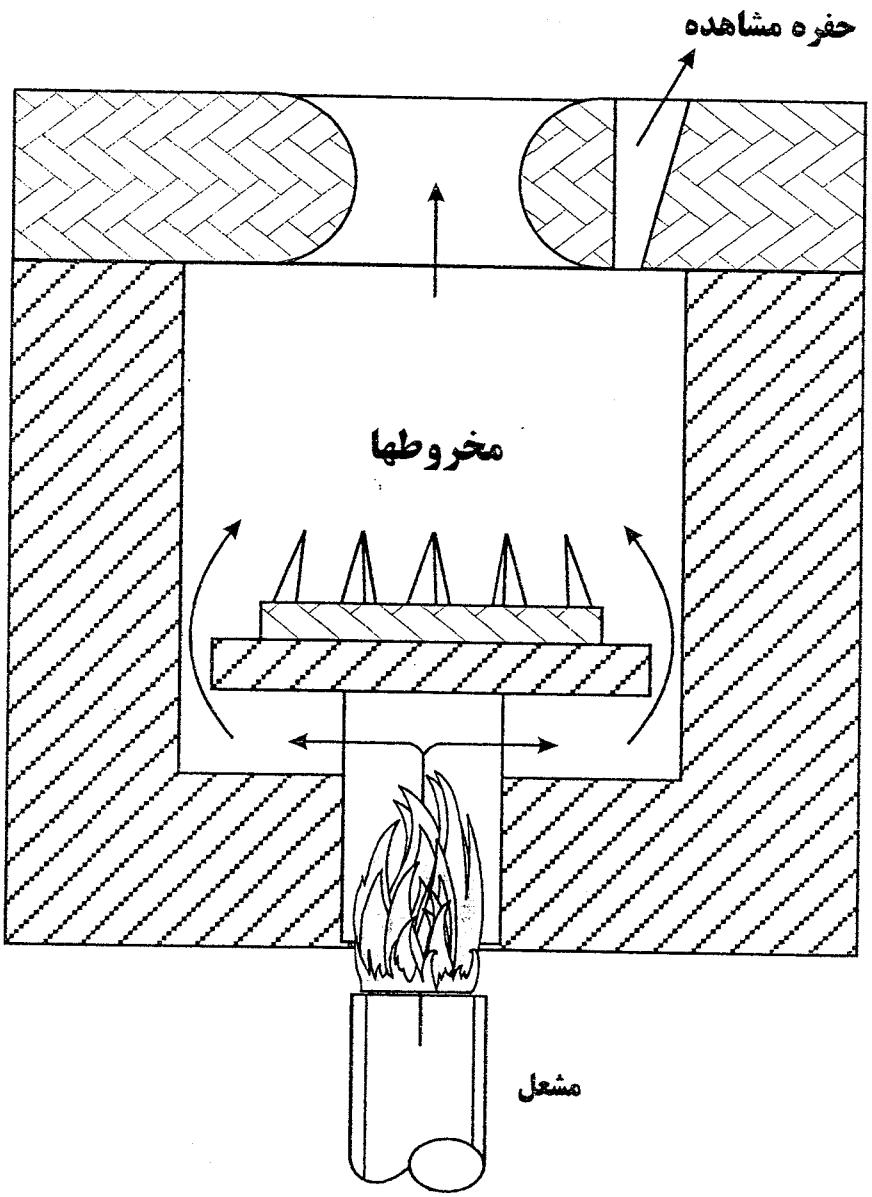
همزمانی خمش مخروط نمونه با یکی از مخروط های استاندارد ، بیانگر یکی بودن درجه نسوزندگی می‌باشد. دمای خمش مخروط های استاندارد بصورت جدولی در ضمیمه شماره۴ کتاب جهت اطلاع و استفاده ارائه شده است و شکل شمارهٔ ۶ نمایی از کورهٔ آزمایش نسوزندگی را نشان می‌دهد.

1- Refractoriness

2- Pyrometric Cone Equivalent

3- Seger Cone

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد



شکل شماره ۶ - **کوره آزمایش دیرگدازی(نسوزندگی)**

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ب - نسوزندگی تحت بار (RUL) [1]

آجرهای نسوز بایستی بتوانند در محل کاربرد و در درجه حرارت بالا، تحمل بار و تنش موجود برروی خود را داشته باشند. برای اندازه‌گیری این مشخصه که بسیار شبیه به رفتار خزشی درجه حرارت بالا می‌باشد از آزمایش نسوزندگی تحت بار استفاده می‌گردد.

این آزمایش با ارزیابی خاصیت نرم شوندگی آجرها با ازدیاد درجه حرارت و تحت بار ثابت انجام می‌شود.

روش انجام این آزمایش که هم در محیط احیاء و هم در محیط اکسیدان انجام می‌گردد متفاوت می‌باشد. لیکن به دلیل کاربردی‌تر بودن نتایج حاصل از روش اکسیدان، شرح مختصری از نحوه آزمایش ارائه می‌گردد. ابتدا از آجر نسوز نمونه‌ای استوانه‌ای شکل با ابعاد استاندارد تهیه شده سپس نمونه برروی پایه مربوطه درون کوره الکتریکی قرار گرفته و بارثابت استاندارد برروی آن اعمال می‌گردد. آنگاه با نرخ ثابت افزایش دما، دمای شروع تغییر فرم پلاستیک (To) و 0.5 درصد تغییر فرم پلاستیک (To5) و در صورت نیاز یک درصد تغییر فرم پلاستیک (T1) بعنوان نتایج آزمایش با واحد درجه سانتی گراد گزارش می‌گردد.

توجه به نتایج حاصل از این آزمایش در انتخاب مناسب نسوز برای شرایط کاربرد بسیار مؤثر و مهم می‌باشد.

پ - مدول شکست گرم (HMOR) [2]

چگونگی تحمل تنشهای خمشی یا برشی آجر نسوز در درجه حرارتهای بالا به کمک این آزمایش تعیین می‌گردد. این آزمایش بهمراه آزمایش RUL تعیین کنندهٔ اصلی رفتار ترمومکانیکی آجرهای نسوز در درجه حرارتهای بالا می‌باشد.

روش انجام این آزمایش به این صورت است که ابتدا نمونه‌ای به شکل مکعب مستطیل با ابعاد استاندارد مورد نظر از آجر مربوطه تهیه شده و بصورت افقی برروی دو عدد پایه تیغه‌ای شکل

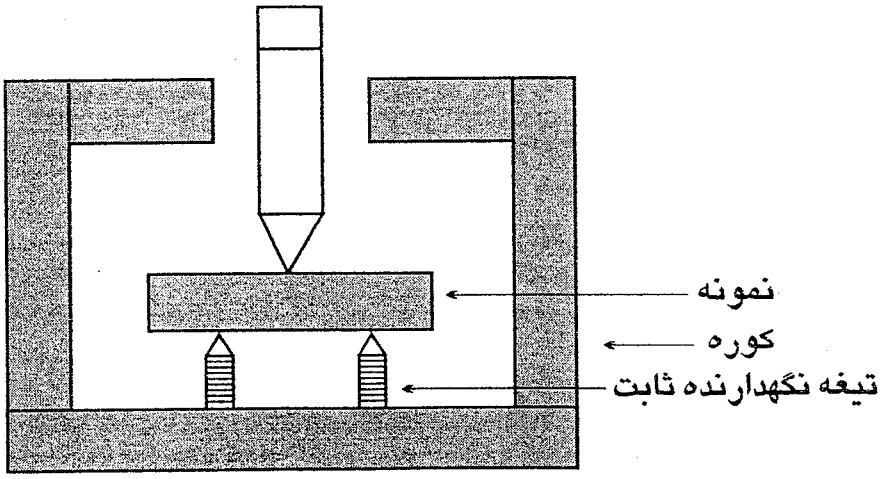
1- Refractoriness Under Load

2- Hot Modulus of Rupture

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

قرار گرفته و یک تیغه فشاردهنده در ناحیه وسط نمونه، یک بار برشی افزایش یابنده با نرخ ثابت را در دمای ثابت برروی آن اعمال می‌نماید.

میزان فشار منجر به شکست نمونه تحت عنوان مدول شکست گرم با ذکر درجه حرارت آزمایش با واحد Kgf/cm2 گزارش می‌گردد. این آزمایش را برای هر آجر معمولاً در چند دمای مختلف تکرار می‌نمایند.(شکل شماره ۷)



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ت - تغییرات خطی دائمی (PLC) [1]

آجرهای نسوز همواره پس از اولین پخت دچار تغییرات ابعادی (انبساطی یا انقباضی) دائمی و برگشت‌ناپذیرمی شوند که اطلاع از میزان این تغییرات، تولیدکننده و یا مصرف کننده نسوز را از ابعاد نهایی آجر و وضعیت ظاهری آن پس از اولین پخت آگاه می‌سازد.

روش انجام این آزمایش به این صورت می‌باشد که ابعاد نمونه آجر خام مورد آزمایش را به دقت توسط کولیس اندازه گرفته و سپس درون کوره با سرعت معین تا دمای مورد آزمایش حرارت می‌بیند و آنگاه پس از سردشدن، ابعاد نهایی آجر پخته شده مجدداً اندازه‌گیری می‌گردد. درصد خطی تغییرات ابعادی بین نمونه‌های خام و پخته بعنوان نتیجه آزمایش با ذکر دمای آزمایش گزارش می‌شود.

ث - انبساط حرارتی [2]

آجرهای نسوز نیز همانند تمامی اجسام در اثر حرارت دچار افزایش حجم (انبساط) می‌گردند. که مقدار برگشت‌پذیر (الاستیک) آنرا در این آزمایش تحت عنوان انبساط حرارتی گزارش می‌نمایند. رفتار الاستیک اغلب آجرهای نسوز بصورت خطی می‌باشد و صرفاً در آجرهای سیلیسی تا دمای حدود ۹۰۰°C رفتار غیر خطی نمایان می‌گردد.

جهت انجام این آزمایش بایستی تغییرات ابعادی نمونه در همان دمای مورد آزمایش اندازه‌گیری گردد که برای این منظور از دستگاهی بنام دیلاتومتر [3] استفاده می‌شود آجرهای با انبساط حرارتی خیلی زیاد (مثل آجرهای منیزیتی) و یا بسیار غیر یکنواخت (مثل آجرهای سیلیسی) در محدوده حرارتی مربوطه در مقابل شوک حرارتی بسیار حساس می‌باشند.

ج - پایداری در برابر شوکهای حرارتی [4]

رفتار آجرهای دیرگداز در برابر تغییرات ناگهانی درجه حرارت با خاصیت پایداری در برابر شوک حرارتی ارزیابی می‌گردد. این تغییرات با ایجادانبساط و انقباض ناگهانی در آجرها

1- Permanent Linnear Change
2-Thermal Expantion
3 - Dilatometer
4- Thermal Shock Resistance

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

موجب ایجاد ترک و یا پوسته پوسته شدن (Spalling) و بروز شکست در آجر می‌گردد.

روش انجام این آزمایش به این صورت است که نمونه مورد آزمایش با ابعاد استاندارد، درون کوره تا دمای مشخص (معمولاً ۹۵۰°C) حرارت داده شده و به تناوب از کوره خارج و توسط آب (برای آجرهای غیر حساس به هیدارته شدن) و یا هوا (برای آجرهای حساس به هیدراته شدن) سرد می‌گردد. اینکار در چندین نوبت(سیکل) تکرار می‌گردد تا به مرحله از هم پاشیدگی نمونه و یا حداکثر ۳۰ سیکل برسد. تعداد سیکل سالم، ایجاد ترک موئی، ترک عمیق و ازهم پاشیدگی آجر بعنوان ملاک مقایسه‌ای پایداری در برابر شوک حرارتی گزارش می‌گردد. اغلب آجرهای نسوز با افزایش درجه حرارت پخت اولیه دچار کاهش پایداری در برابر شوک حرارتی می‌شوند.

ج - هدایت حرارتی [1]

اندازه‌گیری قابلیت هدایت حرارتی دیرگدازها به منظور پیش بینی درجه حرارت پشت لایه نسوز یا بدنه کوره‌ها ضروری می‌باشد. این قابلیت علاوه بر درجه حرارت به ترکیب شیمیایی، ساختمان میزالوژیکی، میزان تخلخل و درجه حرارت پخت نسوز بستگی دارد. اندازه‌گیری این مشخصه به ویژه برای آجرها و مواد ویژه عایق نسوز دارای اهمیت بسیاری است.

نمونه مورد نظر پس از قرار گرفتن در دستگاه در زمان مشخص و در درجه حرارتهای معین (معمولاً چند دمای مختلف) مورد آزمایش اندازه‌گیری گرادیان حرارتی قرار گرفته و نتایج به واحد W/K.m با ذکر دمای انجام آزمایش ارائه می‌گردد.

لازم به ذکر است که شیب منحنی قابلیت هدایت حرارتی آجرهای نسوز دارای بافتهای بلوری (مانند آجرهای منیزیتی یا کوراندومی) منفی می‌باشد بعبارت دیگر با افزایش درجه حرارت میزان هدایت حرارتی این آجرها کاهش می‌یابد در حالیکه برای آجرهایی که بخش اعظم آنها غیر بلوری یا شیشه‌ای می‌باشد این شیب مثبت و یا بسیار کم است. به جدول شماره ۲ مراجعه شود.

1- Thermal Conductivity

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

جدول شماره ۲: ضریب هدایت حرارتی انواع آجرهای نسوز (W/mC)

انواع آجر / درجه حرارت (C)	۳۰۰	۶۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۱۲۰۰	۱۴۰۰
شاموتی مرغوب	۱/۴۱	۱/۴۲	۱/۴۷	۱/۵۱	۱/۶۴	۱/۸۴
شاموتی معمولی	۱/۱۷	۱/۱۹	۱/۲۲	۱/۲۵	۱/۳۲	۱/۴۴
آلومینی ۶۰٪	۱/۸۷	۱/۸۶	۱/۸۹	۱/۹۱	۲/۰۳	۲/۲۶
آلومینی ۷۰٪	۲/۲۵	۲/۰۷	۲/۰۷	۲/۰۶	۲/۱۰	۲/۱۴
آلومینی ۸۵٪	۲/۶۵	۲/۳۳	۲/۴۳	۲/۵۲	۲/۸۲	۳/۳۰
آلومینی ۹۰٪	۳/۱۵	۲/۶۶	۲/۵۳	۲/۵۳	۲/۵۸	۲/۷۱
کروندومی	۴/۹۸	۳/۲۵	۲/۹۸	۲/۶۹	۲/۵۸	۲/۶۴
سیلیسی مرغوب	۱/۳۰	۱/۴۵	۱/۵۸	۱/۷۰	۱/۹۴	۲/۳۲
قلیایی						
منیزیتی پخته	۱۰/۵۴	۶/۳۲	۵/۲۰	۴/۵۶	۴/۳۹	۴/۶۵
منیزیت - کرومیتی پخته	۲/۵۸	۲/۱۹	۲/۱۲	۲/۰۵	۲/۱۱	۲/۳۳
منیزیت - کرومیتی خام	۲/۶۵	۲/۴۸	۲/۲۶	۲/۰۹	۲/۱۱	۲/۳
کرومیتی پخته	۲/۱۹	۲/۱۶	۲/۱۷	۲/۰۹	۱/۹۱	۱/۸۶
کرومیت - منیزیتی پخته	۱/۷۰	۱/۷۷	۱/۷۹	۱/۸۰	۱/۸۰	۱/۹۵
منیزیت کربنی	۲۱/۶۰	۱۶/۵۶	۱۵/۲۶	۱۴/۴۰	۱۳/۶۸	۱۲/۹۶
سیلیکون کاربید	۱۷/۴۵	۱۶/۱۳	۱۵/۴۸	۱۴/۸۳	۱۳/۹۷	۱۳/۵۴
زیرکنی	۳/۲۲	۲/۳۸	۲/۳۹	۲/۳۹	۲/۴۲	۲/۵۸

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۴-۲- خواص مکانیکی

الف - کنترل توزیع دانه بندی مواد[1] و مخلوط ها

توزیع اندازه ذرات یا دانه‌های مواد دانه بندی شده و مخلوط‌های ساخته شده و تطابق آنها با استانداردهای مورد نیاز هر محصول یکی از مهمترین عوامل کنترل کیفیت نسوز می‌باشد. یک توزیع دانه بندی مناسب هم در آجرهای نسوز و هم در مواد ویژه موجب حصول فشردگی و یکنواختی بافت در قطعه می‌گردد که در این حالت ذرات به نحو مناسبی فضاهای بین یکدیگر را پر نموده‌اند.

روش انجام این آزمایش به این صورت است که نمونه مورد آزمایش را ابتدا به دقت وزن نموده و سپس با استفاده از سرندی با چشمه‌های بسیار ریز (مانند سرند ۱۴۰ مش) توسط آب شستشو داده و سپس درون خشک کن به مدت کافی خشک می‌شود. آنگاه با استفاده از دستگاه سرند و ویبره آزمایشگاهی[2] میزان باقیماندن ذرات برروی هر سرند استاندارد به کمک ترازوی دقیق اندازه‌گیری و گزارش می‌گردد.

ب - میزان تخلخل[3] و جرم حجمی[4]

به غیر از آجرهای نسوز عایق در سایر انواع آجرهای نسوز، کم بودن میزان حفره‌ها (تخلخل) معمولاً به معنی فشردگی بهتر مواد، استحکام بالاتر و خصوصیات مکانیکی بهتر نسوز می‌باشد. بعبارت دیگر تخلخل یک آجر نسوز با جرم حجمی یا وزن مخصوص ظاهری آن کاملاً در ارتباط است. حفره‌های موجود در یک آجر نسوز ممکن است هم بصورت باز[5] (که به بیرون راه دارد و آب در آن نفوذ می‌نماید.) و هم بصورت بسته[6] (که به بیرون راه ندارد) باشد معمولاً در این روش آزمایش صرفاً درصد حجمی حفره‌های باز به کمک دستگاه مخصوص و

---

1 - Grain Size Distribution
2- Sieve Shaker
3- Porosity
4- Density
5- Open Pore
6- Closed Pore

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تحت خلاء اندازه‌گیری و گزارش می‌گردد. این مشخصه را تخلخل می‌نامند. بد نیست بدانید که تخلخل بسته آجرهای شاموتی معمولاً حدود ۲٪ و آجرهای قلیائی کمتر از ۱٪ می‌باشد.

در صنعت نسوز جهت آجرهای خام معمولاً از واژه جرم حجمی استفاده می‌گردد. که مفهوم آن تقسیم جرم آجر به حجم آجر (حاصل از محاسبه هندسی حجم) می‌باشد.

لیکن برای آجرهای پخته، ابتدا میزان تخلخل و حجم دقیق آجر توسط دستگاه تخلخل بدست می‌آید و سپس جرم حجمی محاسبه می‌گردد. در این حالت جرم حجمی بدست آمده از دقت بالایی برخوردار می‌باشد.

(در گزارشات و فرمهای آزمایشات معمولاً از واژه وزن حجمی بجای جرم حجمی استفاده می‌گردد و این واژه بیشتر مصطلح شده است.)

لازم به توضیح است که توزیع یکنواخت و یا غیر یکنواخت حفره‌ها و اندازه و شکل آنها نیز در رفتار فیزیکی و مکانیکی نسوز می‌تواند بسیار مؤثر باشد.

پ - مقاومت مکانیکی سرد [1] (C.C.S)

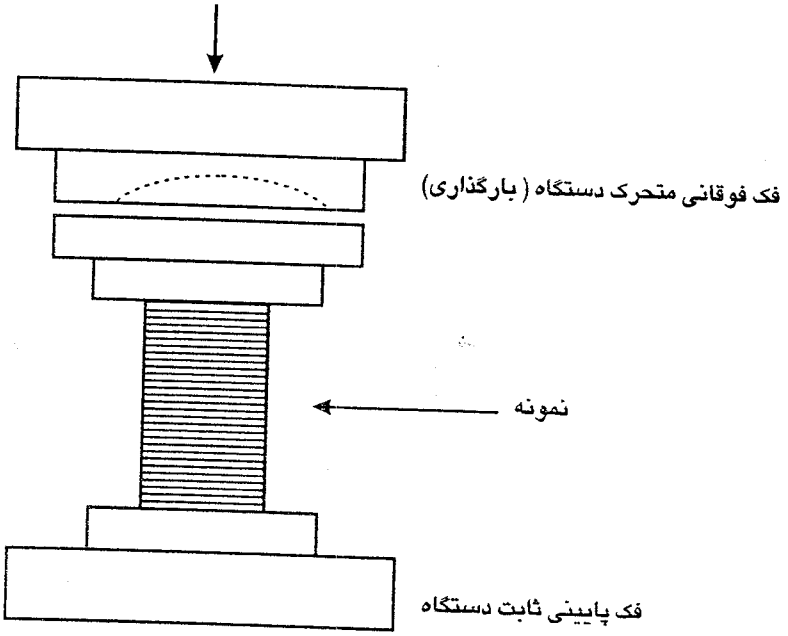
مقاومت مکانیکی سرد بیانگر میزان تحمل فشار در دمای محیط برای دیرگدازها می‌باشد. این مشخصه نشاندهنده میزان زینتره شدن یا کیفیت پخت نسوز نیز می‌باشد. کاهش تخلخل و افزایش جرم حجمی آجرها معمولاً منجر به بالارفتن C.C.S آنها می‌گردد.

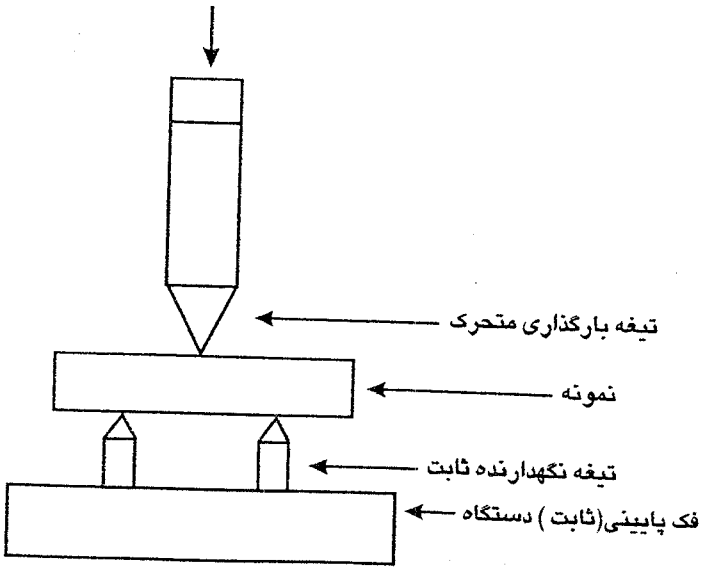
روش انجام این آزمایش بدینصورت است که نمونه مورد آزمایش بین دو فک دستگاه C.C.S در دمای محیط تحت فشار قرار می‌گیرد و فشار بروز پدیده شکست در نمونه، بعنوان نتیجه آزمایش با واحد Kgf/Cm2 گزارش می‌گردد.(به شکل شماره ۸ مراجعه شود.)

1- Cold Crushing Strenght

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

شکل شماره ۸ – طرح نمونه‌ای از دستگاه آزمایش مقاومت مکانیکی سرد (CCS)





www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ت - مدول شکست [1] (MOR)

آجرهای نسوز در هنگامی که تحت تنشهای خمشی و یا برشی قرار می‌گیرند به دلیل ساختار خاص سرامیکی خود بدون نشان دادن رفتار پلاستیکی (انعطاف پذیری) صرفاً با مقدار کمی تغییر فرم الاستیک (برگشت‌پذیر) می‌شکنند. اندازه‌گیری میزان تنش برشی یا خمشی قابل تحمل توسط انواع آجرهای نسوز یکی از مشخصه‌های مهم مکانیکی آن می‌باشد.

روش انجام این آزمایش بسیار شبیه آزمایش مدول شکست گرم (HMOR) می‌باشد لیکن این کار در دمای محیط و بکمک دستگاه C.C.S انجام می‌گردد. به عبارت دیگر در این آزمایش میزان مقاومت آجر در مقابل گسیختگی موردانداز‌ه‌گیری قرار می‌گیرد.(به شکل شماره ۹ مراجعه شود.)

ث - مقاومت در برابر سایش [2]

شدت سختی یا استحکام سطحی هرفرآورده نسوز بیانگر میزان مقاومت آن در برابر عوامل ساینده در محل کاربرد می‌باشد. اندازه‌گیری این مشخصه خصوصاً در مواقعی که آجر نسوز در معرض غبارها و مواد ساینده حاصل از عملیات کوره می‌باشد در تعیین عمر کاربرد آن بسیار مؤثر است. روش انجام آزمایش مقاومت در برابر سایش بصورت استاندارد مدون نشده و معمولاً بطرق ابداعی و مقایسه‌ای در هر شرکت تولید کننده انجام می‌گردد.

آجرهای نسوز آلومینی معمولاً از مقاومت سایشی بالایی برخوردار می‌باشند که میزان آن با بالارفتن درصد Al2o3 (آلومینا) افزایش می‌یابد.

آزمایش فوق در دمای محیط انجام می‌گیرد. نتایج حاصل را نمی‌توان کاملاً در شرایط کاری کوره‌ها در دمای بالامعتبر دانست به خصوص هنگامیکه استحکام سطحی آجرها در دمای بالا، بر اثر واکنشهای شیمیایی تغییر یابد.

1- Modulus of Rupture

2- Abrasion or Erosion Resistance

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۴-۳- خواص شیمیایی و ساختاری

الف - ترکیب شیمیایی [1]

همانگونه که در فصل دوم این کتاب اشاره گردید شناخت ترکیب شیمیایی آجرهای نسوز نقش بسیار حیاتی در کارکرد آنها در کوره‌های مختلف و در تماس با انواع سرباره‌ها و محصولات حاصل از احتراق در کوره دارد. لذا تعیین ترکیب شیمیایی فرآورده‌های نسوز (از ماده اولیه تا محصول) از اهمیت بالایی برخوردار است.

برای تجزیه شیمیایی مواد اولیه و فرآورده‌های نسوز، استانداردها و روشهای آزمایشی متنوعی وجود دارد. ازجمله می‌توان به روشهای آنالیز شیمیایی تر [2] (تیراسیون)، اسپکترو [3] و فلیم فتومتری [4] و خاصیت جذب اتمی [5] و فلورسانس اشعه ایکس [6] اشاره نمود.

نتایج حاصل از این آزمایشات به صورت درصد اکسیدهای تشکیل دهنده هر ماده اولیه و فرآورده گزارش می‌گردد. همچنین در این آزمایش میزان افت وزنی ناشی از حرارت دهی نمونه (در دمای حدود ۱۱۰۰ $\mathring{C}$) تحت عنوان LOI [7] قابل ارائه است.

ب - ساختار فازی [8]

شناخت ترکیب شیمیایی انواع نسوزها به تنهایی بیانگر رفتارهای ترموفیزیکی و ترمومکانیکی نمی‌باشد و شناخت فازهای تشکیل دهنده می‌تواند ما را هر چه بهتر با این خواص آشنا سازد. بعنوان مثال آجرهای مولایتی که از ترکیب شیمیایی نسبتاً یکسانی باآجرهای بوکسیتی حاوی ۷۰٪ آلومینا برخور دارند، به دلیل متفاوت بودن ساختار فازهای تشکیل دهنده رفتار حرارتی (از جمله RUL) بسیار بهتری از خود نشان می‌دهند. نحوه مطالعه این مشخصه از آجرهای نسوز به کمک دو روش دستگاهی پراش اشعه X و میکروسکوپ پلاریزه انجام

1- Chemical Composition
2- Wet Method Chemical Analysis
3- Spectrophotometer
4- Flame Photometer
5- Atomic Absorption
6- X-Ray Fluorescence
7- Loss of Ignition
8- Phase Structure

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

می‌گردد.

در مطالعه فازها بررسی اندازه بلورها نیز بایستی مد نظر قرار گیرد. اجسامی که از بلورهای ریزتر ساخته شده‌اند معمولاً خواص حرارتی و شیمیایی (مانند پایداری در برابر سرباره) پائین‌تری در مقایسه با اجسام درشت دانه از خود نشان می‌دهند.

پ - پایداری در برابر نفوذ سرباره و مذاب [1]

تهاجم و تخریب نسوز توسط سرباره یا هرگونه عامل خورنده در کوره ناشی از واکنش شیمیایی لایهٔ سطحی نسوز در حین کاربرد می‌باشد .این واکنش می‌تواند در دراز مدت با نفوذ به عمق آجر موجب تخریب لایهٔ نسوز گردد. مواد خورنده در انواع کوره‌ها دارای ترکیبات متفاوتی می‌باشند و به همین دلیل فرآیندهای تخریب نیز بسیار پیچیده است .

در این آزمایش با مطالعه میزان پایداری نسوز مورد نظر در برابر ترکیب شیمیایی خاصی از سرباره و یا مذاب (فلز، شیشه، سیمان و....) به روش مقایسه‌ای نسبت به انتخاب نوع نسوز مناسب برای کاربرد مربوطه اقدام می‌گردد.

روش انجام این آزمایش در شرکتهای مختلف متفاوت می‌باشد. و بصورت استاندارد شده مدون نشده است، لیکن طریقه عمومی اینکار به این صورت است که نمونه‌ای از نسوز مورد نظر را به شکل استوانه ته بسته سوراخ نموده و پودر سرباره یا سایر عوامل خورنده را درون آن ریخته و در دمای کاربرد این نسوز در کوره برای مدتی نگهداری می‌نمایند سپس نمونه سردشده را برش داده و با مطالعه شکل و میزان نفوذ به روش مقایسه‌ای نتایج گزارش می‌گردد.

ت - پایداری در برابر هیدراته شدن [2]

انواع دیرگدازهای قلیائی در برابر بخار آب خصوصاً در دمای بالا به دلیل تمایل به انجام واکنش بین آب و اکسیدهای قلیائی (مانند Mgo و Cao)موجود در آنها بسیار حساس وضعیف

1- Slag Penetration Resistance

2- Hydration Resistance

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

می‌باشند. این واکنش را اصطلاحاً هیدراته شدن می‌نامند.

واکنشهای هیدراته شدن همواره با افت شدید خواص مکانیکی و شیمیایی و افزایش زیاد حجم دیرگداز توأم است و شناخت آن می‌تواند در تعیین طول عمر نگهداری و کارکرد لایه نسوز مؤثر باشد.

در این آزمایش نمونه مورد مطالعه را در دما و فشار استاندارد در معرض بخار آب برای مدت معینی قرار می‌دهند آنگاه از روی میزان تغییر ابعاد و یاتخریب نمونه پایداری آنرا در برابر هیدراته شدن گزارش می‌نمایند.

رفتار مواد نسوز در مقابل سایر گازها و بخارات نیز در آزمایشگاه قابل بررسی می‌باشد. البته این واکنشها بسیار پیچیده است و شناسایی عوامل تخریب به آسانی میسر نمی‌باشد.

در خاتمه کتاب، نگارندگان ضمن سپاس بدرگاه ایزد منان، برای خوانندگان محترم آرزوی سلامتی و موفقیت در کار و زندگی را مسئلت می‌نمایند.

«پایان»

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ضمیمه شماره ۱: مواد اولیه جهت ساخت محصولات دیرگداز

نوع ماده اولیه	فازهای مینرالی اصلی (فازهای فرعی)	جزء شیمیایی اصلی (کلسینه شده)	توضیحات
مواد اولیه از گروه SiO_2 - Al_2O_3			
کوارتزیت، ماسه کوارتزی	کوارتز	SiO_2>٪۹۷	بدون کلسیناسیون مصرف می‌شود درحین پخت به کریستوبالیت و تریدیمیت تبدیل می‌گردد. دارای افزایش حجم شدید
سیلیکای ذوبی	شیشه	SiO_2> ٪۹۹/۸	تادمای ۱۰۰۰°C انبساط حرارتی خیلی پائین، دردمای بالاتر به کریستوبالیت تبدیل می‌شود.
سیلیس چسبنده	کوارتز، مینرالهای رسی	SiO_2>٪۸۳ Al_2O_3٪۴-۱۲	ماسه کوارتزی بااتصال رسی قابل‌مصرف‌درمحصولات بی‌شکل
پیروفیلیت	$Al_2O_3.4SiO_2.2H_2O$	Al_2O_3٪۲۰-۳۰ حاوی مقدار کمی قلیایی	بدون کلسیناسیون مصرف می‌شود ۷-۳٪ افت حرارتی، رشد ناچیز در حین پخت تشکیل مولایت و کریستوبالیت
رسهای دیرگداز	کائولینیت و مینرالهای رسی دیگر(کوارتز)	Al_2O_3٪۲۰-۴۵ Fe_2O_3<٪۳ Na_2O+K_2O<٪۳	انواع خاص :کائولین، رس فلینتی رس پلاستیک ،در حین پخت به مولایت، کریستوبالیت و فاز شیشه‌ای تبدیل می‌شود، ۱۴-۵٪ افت حرارتی
شاموت(رس پخته شده)	مولایت $(3Al_2O_3.2SiO_2)$ کریستوبالیت ،فازشیشه، کوارتز	به رسهای دیرگداز مراجعه کنید.	دماهای پخت حدود ۱۲۰۰-۱۵۰۰°C بستگی به مقدار آلومیناواکسیدهای قلیایی دارد. تخلخل دانه‌ها کمتر از ۱۰٪ حجمی انواع خاص: شاموت متخلخل، رس منبسط (حدود۵٪ Fe_2O_3)

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

نوع ماده اولیه	فازهای مینرالی اصلی (فازهای فرعی)	جزء شیمیایی اصلی (کلسینه شده)	توضیحات
مواد اولیه از گروه $SiO_2 - Al_2O_3$			
سیلیمانیت، آندالوزیت کیانیت	$Al_2O_3.SiO_2$ ساختارهای کریستالی و دانسیته‌های مختلف، تاحدودی کوراندوم	Al_2O_3 ٪۶۰-۶۵ حاوی مقادیر کمی اکسیدهای قلیایی	ازدمای حدود ۱۲۵۰°C شروع تبدیل به مولایت و SiO_2 یافاز شیشه، بستگی به ترکیب شیمیایی واندازه دانه دارد. تغییر حجمی سیلیمانیت و آندالوزیت حدود ۸-۵٪ برای کیانیت حدود ۱۵٪ سیلیمانیت و آندالوزیت بصورت کلسینه نشده مصرف می‌گردد.
مواداولیه مولایتی	مولایت	Al_2O_3 ٪۵۰-۷۰ اکسیدهای قلیایی ناچیز	مخلوط کلسینه شده از رسهای حاوی بوکسیت و کائولن، کیانیت کلسینه شده.
مولایت زینتری (مولایت سنتزی) مولایت ذوبی	$3Al_2O_3.2SiO_2$ $2Al_2O_3.SiO_2$ تاحدودی کوراندوم	Al_2O_3٪۷۲-۷۵ حدود Al_2O_3 ٪۷۸	زینترکردن یا ذوب مخلوطهایی از رس، کائولن یا SiO_2و آلومینای کلسینه شده، تخلخل و اندازه کریستالها، مولایت زینتری حدود ۱۰٪ حجمی و ۱۰-۱۰۰mm مولایت ذوبی و حدود ۲٪ حجمی و ۱۰۰-۲۰۰۰mm شکل خاص مولایت گلوله‌ای (Hollow Sphere Mullite)
بوکسیت زینتری (بوکسیت دیرگداز)	کوراندوم، مولایت، (Tialiteتیالیت)	Al_2O_3٪۸۵-۸۸ TiO_2<٪۴ Fe_2O_3<٪۲ حاوی مقادیر کمی اکسیدهای قلیایی	تخلخل واقعی دانه کمتر از ۱۳٪ حجمی، کشورهای تولیدکننده: گویانا، چین، برزیل

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

نوع ماده اولیه	فازهای مینرالی اصلی (فازهای ورمی)	محدوده شیمیایی اصلی	توضیحات
مواد اولیه از گروه $Al_2O_3 - SiO_2$			
کوراندوم زینتری (نیولار کوسیا)	کوراندوم	Al_2O_3 بالای ۹۹٪	زینتر با ذوب آلومینای کلسینه
کوراندوم ذوبی		Na_2O کمتر از ۰٫۴٪	شامل تعدادی از حفره‌های زینتر
کوراندوم قهوه ای	(تیتانات $FeSi$)	Al_2O_3 حدود ۹۴٪	شامل حفره‌های کلسینه و تعدادی دانه‌های ذوب شده
		TiO_2 حدود ۳٪	شامل آهن سیلیسی و ...
کوراندوم تولید ای Hollow Sphere Corundum (Bubble alumina)	کوراندوم	Al_2O_3 بالای ۹۹٫۵٪	گلوله های توخالی با قطر متوسط ۲ (2mm) میلیمتر
		Na_2O کمتر از ۰٫۵٪	ساخته شده از ذوب Al_2O_3
آلومینای کلسینه شده	γ-Al_2O_3 کوراندوم	Al_2O_3 بالای ۹۹٫۵٪	تحت خلاء و با استفاده از ...
		Na_2O کمتر از ۰٫۵٪	تحت خلاء و با استفاده از ...
مواد اولیه قلیایی			
منیزیای زینتر شده	پریکلاز MgO بدون کلسیم سیلیکات، سیلیکاتهای منیزیم کلسیم	MgO بالای ۹۸٫۵٪	زینتر با ذوب کردن منیزیت $MgCO_3$ یا $Mg(OH)_2$
		CaO کمتر از ۱٫۳٪	از آب دریا یا نمک های محلول
		SiO_2 کمتر از ۱٫۳٪	واقعی دانه ها:
		Fe_2O_3 کمتر از ۱٫۸٪	منیزیای زینتری ۳٫۱۲
		B_2O_3 کمتر از ۰٫۳٪	اندازه کریستالها:
			منیزیای زینتری ۲۰۰-۶۰۰μm
			منیزیای ذوبی ۲۰۰۰-۶۰۰μm
منیزیای ذوبی		MgO بالای ۹۸٫۵٪	
		CaO کمتر از ۱٪	
		SiO_2 کمتر از ۱٪	
		Fe_2O_3 کمتر از ۰٫۳٪	
دولومیت زینتری یا ذوبی	پریکلاز	MgO حدود ۲۲٪	پخش یا ذوب کردن دولومیت

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

نوع ماده اولیه	فازهای مینرالی اصلی (فازهای فرعی)	جزء شیمیایی اصلی	توضیحات
مواد اولیه قلیایی			
کرومیت(سنگ معدن کروم)	(FeO.MgO) (Cr2O3.Al2O3.Fe2O3) Spinel و سیلیکاتها	MgO٪۱۱-۲۰ Cr2O3٪۳۲-۵۰ Al2O3٪۱۲-۲۷ SiO2<٪۶	ذخایر،ترکیه، ایران، فیلیپین افریقای جنوبی
منیزیا کرومیت دانه‌های زینتری و ذوبی	پریکلاز اسپینلها	معمولاً بیش از Cr2O3٪۲۵	مخلوطهای گرانوله شده زینتری یا ذوبی از منیزیا و کرومیت
منیزیادولومیت بادانه زینتری و ذوبی	پریکلاز CaO	CaO.MgO در مخلوطهای متنوع	زینتریاذوب مخلوط هایی از کلسیت یا CaO ومنیزیا
پیکروکرومیت	اسپینل (MgO.Cr2O3)	MgO٪۱۹ Cr2O3٪۷۹	ذوب مخلوطی از منیزیا واکسید کروم
اسپینل زینتری یا ذوبی	اسپینل (MgO.Cr2O3)	Al2O3٪۶۶-۸۰ MgO٪۲۱-۳۳	تهیه شده از مخلوطهای منیزیاو آلومینا
اولیوین	فورستریت (2MgO.SiO2) فایالیت(2FeO.SiO2)	MgO٪۴۰-۵۰ SiO2٪۳۵-۴۵ Fe2O3<٪۶	پخته نشده مصرف می‌شود

سایر مواد اولیه

سیلیکات زیرکن (زیرکن)	زیرکن (ZrSiO4)	ZrO2+HfO2٪۶۶	استخراج ازماسه‌ها (استرالیا)، دانه کمتر از ۰/۳mm بالای دما ۱۴۵۰°C به بادلیت(ZrO2) و SiO2 تجزیه می‌شود.
زیرکونیا زیرکونیای تثبیت شده وتاحدودی تثبیت شده	بادلیت(منوکلینک) فازکیوبیک / تتراگونال	ZrO2>٪۹۹ ZrO2>٪۹۴ CaO٪۲-۶ Y2O3,MgO	پودر،ازطریق تجزیه شیمیایی یاحرارتی سیلیکات زیرکن تهیه می‌شود.
اکسیدکروم	اسکولایت-Eskolaite Cr2O3	Cr2O3>٪۹۸	پودرریزکه بصورت شیمیایی تهیه می‌شود.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

نوع ماده اولیه	فازهای مینرالی اصلی (فازهای فرعی)	جزء شیمیایی اصلی	توضیحات
سایر مواد اولیه			
کاربیدسیلسیم	SiC(C,Si آزاد)	SiC>٪۹۳	از طریق پروسه اچسون (Acheson)و با استفاده از SiO2(ماسه)وکربن تهیه‌می‌شود
گرافیت طبیعی، کک، دوده آنتراسیت والکتروگرافیت	گرافیت (مینرالهای رسی) آمورف‌وگرافیت	C٪۷۵-۹۷ (ترکیبات مختلف خاکستر) C٪۷۵-۹۷	دونوع معمول:گرافیت‌پولکی بااندازه‌کریستالهای 5mm انواع‌آمورف(کریستالهای‌کوچک)
دیاتومیت	SiO2 - آبدار شبه اپال (کوارتز، رس)	SiO2> ٪۷۵	سنگ - SiO2 با تخلخل ریز (پوسته‌های دیاتوم)
پرلیت	شیشه	SiO2٪۶۵-۸۰ Al2O3 ٪۱۲-۱۶ حاوی مقادیر زیادی فلاکس	ماده اولیه کروی (گلوله‌ای) و کروی‌توخالی‌ازطریق حرارت دادن سنگهای سیلیسی آتشفشانی در دمای حدود ۱۰۰۰°C تهیه می‌شود.
ورمیکولایت	سیلیکات منیزیم آلومینیم (میکایی)	SiO2٪۴۵ MgO٪۳۱ Al2O3٪۱۲ Fe2O3٪۷	درحدود۱۰۰۰°C تقریباًمنبسط وخیلی سبک می‌شود.
کوردیریت	کوردریت (2MgO.2Al2O3.5SiO2)	Al2O3٪۳۱ SiO2٪۵۳ MgO٪۱۰	کلسینه شده از مخلوط ریزدانه رس،منیزیاباتالک
الیاف سرامیکی	شیشه‌ای یاکریستالی (مولایت،کوراندوم،کریستو بالیت) ZrO2	Al2O3٪۴۵-۹۵ ZrO2٪۹۵ ZrO2>٪۹۵	
مواداولیه دیرگداز بازیافت شده (دانه‌ای، پودری)	عمدتاً از مواداولیه باارزش و باآلودگی کم بازیافت می‌شود. برای مثال: آجرهای AZS ریخته گری ذوبی محصولات‌حاوی SiC وزیرکونیا محصولات حاوی اکسیدکروم و گرافیت		

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ضمیمه شماره ۲: چسبهای مورداستفاده برای موادد یرگداز(اغلب در ترکیب باآب و بصورت مخلوط مصرف می‌شوند)

نوع چسب	مقدارمصرفی	توضیحات
رسها(رسهای پلاستیک)	<٪۲۵	استحکام‌بعدازخشک کردن ،اتصال سرامیکی دردمای حدودC°۱۰۰۰ شروع به عمل می‌نماید. (تشکیل فازمذاب، زینترینگ را تسریع می‌کند)
سیمانهای آلومینات کلسیم سیمانهای آلومینایی	<٪۲۵	CaO> ٪۳۸ ،Al2O3٪۴۰-۵۰ Fe2O3٪۴-۱۵ Cao ٪۱۹-۲۷ ،Al2O3 ٪۷۰-۸۰ اتصال‌هیدرولیک،عملکردازدمای‌اتاق‌تاحدود C°۶۰۰ (دهیدراتاسیون)اتصال‌سرامیکی‌دردمای‌حدودC°۱۰۰۰ عمل می‌کند
مونوآلومینیم فسفات (بصورت محلول)	P2O5<٪۵	سخت شدن از طریق واکنش چگالش و دردمای حدود C°۲۰۰آغازمی شوددر دمای C°۱۳۰۰ تشکیل AlPO4 بالای C°۱۵۰۰ تبخیر P2O5
فسفاتهای معدنی برای مثال (فسفات سدیم آمورف)	<٪۵	عمدتاًدرموردجرمهای‌تعمیراتی‌گرم،استحکام‌سخت‌شوندگی‌و چسبندگی از طریق ذوب شدن فسفاتهای‌آمورف تامین می‌شود.
سیلیکاتهای قلیایی (آب شیشه) Na2O(K2O).xSiO2.YH2O	<٪۱۰	معمولاًبصورت محلول بکار میرود، سخت شدن دردمای محیط‌ازطریق‌واکنش‌باCO_2ویاباستفاده‌از سخت‌کننده های خاص،که‌دراینصورت‌باحرارت‌دادن‌بیش‌ازC°۱۵۰سخت‌خواهدشد.
اتیل سیلیکات (Si(C2H5O)4)		برای ریخته گری دوغابی بکار می‌رود.
سولفات منیزیم محلول(MgSO4.7H2O)	حدود ٪۵	بعنوان چسب برای آجرهای قلیایی با اتصال شیمیایی
سولفات آلومینیم	حدود ٪۵	عمدتاًدرموردجرمهای‌پلاستیک‌برای‌افزایش استحکام خشک استفاده می‌شود(کریستالیزاسیون سولفات‌آلومینیم)
آب نمک. ژلهای SiO2,Al2O3		بعنوان چسب یاسخت کننده درمورد مواد سرامیکی‌الیافی
اکسیدبور وسایر ترکیبات بور	<٪۱۰	کمک‌زینتر،بویژه درموردجرمهای‌کوارتزیتی‌خشک،تشکیل‌مذاب
فریت‌ها، شیشه	<٪۵	عمدتاًدرمونولیتیکهابرای‌ایجاداستحکام‌زیرC°۱۰۰۰بکارمی‌رود.
قیر،قیرقطران	<٪۱۰	اتصال آلی با عملکرددردمای حدود C°۲۰-۴۵۰ در دمای‌بیش ازC°۶۰۰تبدیل به کک (اتصال کربنی)
رزینهای سنتزی	<٪۱۰	رزینهای فنولیک تعدیل شده به شکل پودریادرمحلول با فرمالدئیدسخت‌شونده‌تحت‌حرارت،باافزودن‌سخت‌کننده‌آنها دردمایی‌حدودC°۲۰۰ سخت‌می‌شوند،بالایC°۶۰۰اتصال‌کربنی
چسبهای‌معدنی‌موقتی‌مختلف وچسبهای‌متالورگانیک	<٪۵ –	برای‌ایجاداستحکام‌کافی‌بعدازخشک‌کردن،سوزاندن،معمولاً لیگنوسولفاناتها(محلول‌سولفیت)درموردچسبهای‌متالور گانیک‌درحین‌حرارت‌دادن‌اکسیدهای‌زینتراکتیوتشکیل‌می‌شود

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ضمیمه شماره ۳: افزودنیهای ویژه مورد استفاده در ساخت مواد دیرگداز

افزودنی	مقدار مصرف (به‌طور معمول)	توضیحات
SiO2 خیلی ریز Al2O3 خیلی ریز	تاحدود ۱۰٪	بهبود قابلیت سیلان بتون دیرگداز (کاهش مقدار آب‌لازم برای اختلاط) و استحکام گرم (برای مثال تشکیل مولایت)
آلومینای واکنش‌پذیر (راکتیو)		برای بهبود اتصال زمینه (Matrix)
پودرمواد غیراکسیدی C-SiC Si3N4-BN AlON-B4C	<۱۰٪	برای بهبودمقاومت دربرابرخوردگی، کاهش قابلیت ترکنندگی و نفوذ سرباره‌ها و مذابهای فلزی، کاربیدهابعنوان عوامل ضداکسیداسیون در مورد مواد حاوی کربن
BaSO4	<۱۰٪	جلوگیری از حمله مذابهای آلومینیمی
پودر فلز(Al.Si یاآلیاژها)	<۵٪	عوامل ضداکسیداسیون درمورد مواد حاوی کربن برای افزایش استحکام، برای تولیدفازهای اتصال نیتریدی یاکاربیدی خاص
الیاف‌های فولادی وسرامیکی	<۵٪	افزایش مقاومت در برابر شکست بتونهای دیرگداز ودیرگدازهای شکل دار
الیاف‌های آلی	<۴٪	بهبودفرآیند خشک کردن مونولیتیکها
موادآلی گرانولی		برای‌ایجادتخلخلها واندازه‌های حفره خاص
ترکیبات آلی مختلف	<۰/۵٪	برای بهبود ریخته گری و کارپذیری، موادفعال سطحی
اتیلن گلیکول		عامل ضدیخ زدگی درموردجرمهای پلاستیک

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ضمیمه شماره ۴: شماره مخروطهای زگر (SEGER) و اورتون (ORTON)

با درجه حرارت معادل آنها بر حسب سانتیگراد

شماره مخروط	درجه حرارت معادل برای مخروطهای امریکائی اورتون °C	درجه حرارت معادل برای مخروطهای زگر °C
۱۲	۱۳۳۷	۱۳۷۵
۱۳	۱۳۴۹	۱۳۹۵
۱۴	۱۳۹۸	۱۴۱۰
۱۵	۱۴۳۰	۱۴۴۰
۱۶	۱۴۹۱	۱۴۷۰
۱۷	۱۵۱۲	۱۴۹۰
۱۸	۱۵۲۲	۱۵۲۰
۱۹	۱۵۴۱	۱۵۳۰
۲۰	۱۵۶۴	۱۵۴۰
۲۳	۱۵۹۰	۱۵۶۰
۲۶	۱۶۰۵	۱۵۸۵
۲۷	۱۶۲۷	۱۶۰۵
۲۸	۱۶۳۸	۱۶۳۵
۲۹	۱۶۴۵	۱۶۵۵
۳۰	۱۶۵۴	۱۶۸۰
۳۱	۱۶۷۹	۱۶۹۵
۳۲	۱۷۱۷	۱۷۱۰
۳۳	۱۷۴۰	۱۷۳۰
۳۴	۱۷۵۹	۱۷۵۵
۳۵	۱۷۸۴	۱۷۸۰
۳۶	۱۷۹۶	۱۸۰۵
۳۷	۱۸۳۰	۱۸۳۰
۳۸	۱۸۵۰	۱۸۵۵
۳۹	۱۸۶۵	۱۸۷۵
۴۰	۱۸۸۵	۱۹۰۰
۴۱	۱۹۷۰	۱۹۴۰
۴۲	۲۰۱۵	۱۹۸۰

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ضمیمه شماره ۵: ۱) عناوین کنترل کیفیت و روشهای بازرسی جهت تایید مواد اولیه

عنوان	ابزاربازرسی	بازرسی واظهارنظر	اندازه‌گیری جهت موارد غیرعادی
ترکیب مینرالی	Differential thermal Analyzer X-Ray Diffractometer Microscope	بازرسی نمونه‌های هر بهر (LOT) (جهت کنترل اطلاعات ارائه شده توسط فروشنده)	تغییر نوع کاربری
ترکیب شیمیایی	Flourescence Spectrometer تجهیزات آنالیز شیمیایی‌تر و غیرتر		
توزیع دانه بندی	ترازو ودستگاه الک		عودت دادن و یامخلوط سازی ویاتغییر نوع کاربری
میزان رطوبت	دستگاه اندازه‌گیری درصد رطوبت		
خواص فیزیکی	دستگاه تزریق روغن در خلاء تجهیزات جوشانیدن تجهیزات خشک کردن تجهیزات توزین		
نسوزندگی	مخروط زگر کوره مخصوص		
مشخصات ظاهری	نمونه برداری (رنگ، یکنواختی و...)	بازرسی چشمی(همیشه قبل از کاربرد)	عودت دادن و یا بازرسی مجدد و یا تغییر نوع کاربری

۲) عناوین کنترل کیفیت وروشهای بازرسی در عملیات مخلوط سازی

زمان مخلوط سازی	ساعت و یا کرنومتر	کنترل کردن	
درصد اب مخلوط	دستگاه اندازه‌گیری درصد رطوبت	بازرسی به روش نمونه برداری (از هر مخلوط)	
میزان PH	دستگاه PH سنج، کاغذ PH سنج	بازرسی به روش نمونه برداری (ازهر بهر مخلوط)	
توزیع دانه بندی‌مخلوط ساخته شده	سرند دستی		
مدت زمان نگهداری	ساعت و یا کرنومتر	ثبت اطلاعات	
دمای نگهداری	دماسنج		
وضعیت ظاهری	نمونه برداری (رنگ،یکنواختی،...)	هرزمان‌برای‌مخلوط‌ساخته‌شده	
شماره و یا کد مخلوط ساخته شده	----	ثبت اطلاعات	ازمایش مجددمخلوط ساخته شده

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۳) عناوین کنترل کیفیت و روشهای بازرسی در عملیات شکل دهی

فشار پرس و تعداد مرتبه یا سیکل فشار دهی	فشارسنج و شمارشگر فشار	ثبت نتایج	منظور نمودن بعنوان ضایعات خام باتوجه به وزن حجمی خام آجر
وزن مخلوط موردنیاز	ترازو		
اندازه خام آجر	خط کش، گونیا، کولیس و...	نمونه برداری کامل یا راندم و بازرسی و ثبت نتایج	منظور نمودن بعنوان ضایعات خام باتوجه به وزن حجمی خام آجر
وضعیت ظاهری	نمونه برداری (ترک، جدایش دانه‌ها، سنگ پایی شدن، عیوب ظاهری)	نمونه برداری کامل یا راندم و بازرسی و ثبت نتایج	
لایه لایه شدن	چکش لاستیکی مخصوص	به کمک تن و میزان صدا	
وزن حجمی خام آجر	----	نمونه برداری و ثبت نتایج (نمودار کنترل)	
میزان صدمه دیدن آجر خام	----	نمودار کنترل	بازرسی مجدد کامل و یا برگشت دادن بعنوان ضایعات خام
شماره بهر	----	بازرسی کامل	کددهی مجدد

۴) عناوین کنترل کیفیت و روشهای بازرسی در عملیات خشک کردن

دما و میزان رطوبت	دماسنج و ترموکوپل	اندازه‌گیری و مقایسه دمادر نقاط مختلف و ثبت نتایج	خشک کردن مجدد و یا بازرسی مجدد و جداسازی
زمان	ساعت	ثبت نتایج با ذکر شماره واگنها	
میزان رطوبت باقیمانده	دستگاه اندازه‌گیری رطوبت	نمونه برداری، بازرسی و ثبت نتایج	خشک کردن مجدد
اندازه آجر خشک شده	خط کش، گونیا، کولیس و...		بازرسی و تفکیک مجدد تمام آجرها
وضعیت ظاهری	نمونه برداری (شکستگی یا ترک)		

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۵) عناوین کنترل کیفیت و روشهای بازرسی در عملیات پخت

دما	مخلوط زگر، ترموکوپل و پیرومتر	کنترل و ثبت اتوماتیک نتایج برای نقاط مختلف	تصمیم‌گیری پس از بازرسی آجرهای پخته صورت می‌گیرد.
زمان	ساعت	ثبت نتایج(براساسا شماره واگنها)	
فشار کوره	فشارسنج	ثبت‌نتایج (براساس‌شماره واگنها)	
حجم هوای داخل کوره		ثبت نتایج (دوردمنده، درصد باز بودن دریچه)	
وضعیت شعله		بازرسی‌چشمی(طول‌ورنگ شعله)	
واگنهای آجر دامی		ثبت نتایج (شماره واگنها)	
مصرف سوخت	فلومتروو‌سائل‌اندازه‌گیری‌جریان	ثبت نتایج	
آنالیز اتمسفر کوره	دستگاه Gas Analyzer		

۶) عناوین کنترل کیفیت و روشهای بازرسی در عملیات انتخاب بازرسی

ابعاد آجرها	خط کش، گونیا، کولیس	نمونه برداری کامل یا راندم بازرسی و ثبت نتایج	
وضعیت ظاهری	نمونه برداری (ترک،عیب ، ناخالصی‌آهن،رنگ،...)	بازرسی ۱۰۰ درصد جمع‌بندی موضوعی عیوب	
صدا	نمونه‌برداری(تست‌باچکش)	بازرسی ۱۰۰ درصد صدا(تن و میزان صدا)	
میزان تصدیق‌محصول		نمودار پارتو کنترل چارت	جداسازی ۱۰۰درصد و یا ضایعات

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۷) عناوین کنترل کیفیت و روشهای بازرسی درفرایند بازرسی محصولات

	عنوان	روش تست و بازرسی
آزمایشات عمومی	اندازه‌گیری ابعادآجر	روش آزمایش اندازه‌گیری ابعادآجرنسوز
	اندازه‌گیری پیچیدگی آجر	روش آزمایش اندازه گری پیچیدگی آجر نسوز
	وضعیت ظاهری	روشهای بازرسی داخل شرکتی(ترک،ناخالصی آهن،رنگ،...)
	عیوب داخلی	روشهای بازرسی داخل شرکتی صدا(تن و سطح)
	خواص فیزیکی	روش آزمایش تخلخل،جذب آب،وزن مخصوص آجرهای نسوز
	استحکام	روش آزمایش استحکام مکانیکی سرد،روش آزمایش مدول شکست
آزمایشات خاص	پایداری حجمی	روش آزمایش تغییرات خطی دائمی یا Reheat آجرنسوز
	نسوزندگی	روش آزمایش نسوزندگی آجرنسوز
	خواص درشرایط دمای بالا	روش آزمایش Reheat آجر نسوز روش آزمایش نسوزندگی تحت بار روش داخل شرکتی مدول شکست گرم
	ترکیب شیمیایی	روش آزمایش آنالیز شیمیایی آجرهای نسوز روش داخل شرکتی آنالیز XRF
	پایداری دربرابر شوک حرارتی	روش داخل شرکتی تست شوک حرارتی باآب یاهوا
	هدایت حرارتی	روش آزمایش هدایت حرارتی با سیم داغ
	مقاومت سایشی	روش داخل شرکتی تست مقاومت سایشی

۸) ملاک‌های تائید و عناوین بازرسی‌های محصولات نهایی

عنوان	روش‌های تست و بازرسی	
خواص فیزیکی تخلخل جذب آب وزن حجمی	اندازه بهر	۱ - اندازه بهربایدازتوافق بین طرفهای ذیربط تبعیت نماید. ۲ - واحدهای اندازه‌بهربایددرنواحی باشرایط تولید یکسان برداشت شوند. (مانند مخلوط‌سازی،شکل دهی و پخت برای هرمحصول) برای محصولات عمومی‌ازهرپخت‌وبرای محصولات خاص و مهم از هر مخلوط یا پرس در صورت لزوم هربهر را به قسمتهای مختلف برای انجام آزمایشات مختلف باید تقسیم نمود.
استحکام:مدول‌شکست مقاومت مکانیکی سرد انبساط حرارتی تغییرات خطی دائمی نسوزندگی تحت بار ترکیب شیمیایی مدول شکست گرم نسوزندگی	ملاک تائید	۱ - حداقل یکی‌ازدوعددحاصل‌ازآزمایش‌بین‌ملاکهای‌تعیین‌شده‌قبلی‌و استاندارد باشد. ۲ - مقدارمیانگین‌اعدادحاصل‌ازدوآزمایش‌بین‌ملاکهای‌تعیین شده قبلی واستاندارد باشد.
	اندازه بهر ملاک تائید	۱ - تلرانس‌ها باید ازتوافق بین طرفهای ذیربط تبعیت نماید. ۲ - اگر اعداد در محدوده توافق شده بود آن بهر مورد تایید است .

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۹) روشهای تست و بازرسی کارایی مواد ویژه نسوز

نوع ماده ویژه	عناوین روشهای بازرسی
جرمهای ریختنی، پاشیدنی و روکش	توزیع دانه بندی، میزان آب مورد نیاز، میزان روانی، PH، مقدار موردنیاز برای ریختن یک متر مکعب، میزان رطوبت
گلهای نسوز	توزیع دانه بندی، کارپذیری، میزان رطوبت، قالبگیری آزمایشی (وضعیت فشردگی و وزن حجمی)
جرمهای کوبیدنی	توزیع دانه بندی، میزان رطوبت، قالبگیری آزمایشی
ملاتها	توزیع دانه بندی، میزان آب مورد نیاز، زمان سفت شدن، وضعیت ماله کشی، بو، میزان رطوبت

۱۰) سایر روشهای تست و بازرسی مواد ویژه

عناوین		روش‌های تست و بازرسی
عمومی	خواص فیزیکی	تخلخل ظاهری و وزن مخصوص پس از پختن
	نسوزندگی	نسوزندگی پس از پختن
	ترکیب شیمیایی	آنالیز شیمیایی و XRF
	خواص درجه حرارت بالا	روش آزمایش RUL و HMOR نمونه‌های پخته شده
	پایداری در برابر شوک حرارتی	روش داخل شرکتی پایداری در برابر شوک حرارتی با آب یا هوا
	هدایت حرارتی	روش داخل شرکتی اندازه‌گیری هدایت حرارتی با سیم داغ
ملاتها	پایداری حجمی	روش آزمایش استاندارد
	استحکام	روش داخل شرکتی استحکام پیوند پس از پختن
جرمهای ریختنی	پایداری حجمی	روش آزمایش استاندارد
	استحکام	روش آزمایش استاندارد
گازهای نسوز	پایداری حجمی	روش آزمایش استاندارد
	استحکام	روش آزمایش استاندارد

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

فهرست منابع فارسی

۱ - مواد دیرگداز - تدوین جرالدروتشکا - ترجمه دکتر بهزاد میرهادی - انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران - چاپ اوّل - ۱۳۷۷

۲ - مواد دیرگداز، سرامیکهای دیرگداز - پرفسور دکتر مهندس ولف گانگ شوله - مترجم دکتر طاهر محمودیان - نشر جانان - چاپ اول - بهار ۱۳۷۸

۳ - هندبوک مهندسی سیمان، مواد نسوز و مصالح ساختمانی - تألیف مهندس منوچهر بکائیان انتشارات مرکز آموزش نیروی انسانی مجتمع صنعتی سیمان آبیک (جلددوم) - چاپ اول - ۱۳۷۶

۴ - دیرگداز - گردآوری و ترجمه - گروه مهندسی متالورژی دانشگاه صنعتی شریف - انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی شریف - چاپ سوم - ۱۳۶۹

۵ - مواد اولیه فرآورده‌های نسوز - تألیف علیرضا حسینی - انتشارات امیرکبیر چاپ اول - ۱۳۶۶

۶ - جرمهای نسوز (بتونهای دیرگداز) - ترجمه دکتر ابراهیم مسعود - انتشارات نوید شیراز - چاپ اول - ۱۳۷۶

۷ - کانیهای جهان - تألیف چارلز سورل - ترجمهٔ دکتر محمود بهزاد - انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست - چاپ اول - ۱۳۶۰

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

فهرست منابع لاتین

1. Refractories Production and Properties

by: J.H.Chesters 1973

2. Refractories by:F.H.NORTON Fourth Edition 1968

3. Refractories by: Editorial Staff of Mino yogyo Company 1990

4. Text Book of ore Dressing by: R.H. Richards and C.E.Locke Third Edition 1940

5. Manual of Mineralogy by: J.D.Dana 20TH Edition 1985

www.Iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد