

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



آلومینا در دیرگدازهای مونولیتیک :

دیرگدازهای مونولیتیک موادی هستند که کاربرد و استفاده از آنها نسبت به دیرگدازهای شکل دار مزیت های بیشتری دارند . اکثر این مواد از مواد اولیه محتوی آلومینا یا آلومینای خالص بهره می برند . در این مقاله نقش مواد اولیه آلومینایی به عنوان اگرگیت ، پرکننده و یا عامل اتصال در جرم های دیرگداز ریختنی ، پاشیدنی ، پلاستیک و کوبیدنی مورد بحث قرار می گیرد.

دیرگدازهای مونولیتیک (بی شکل) ، مواد دیرگدازی هستند که ، نسبت به سایر مواد دیرگداز در بسیاری از کاربرد ها ، اولویت دارند . این دیرگدازهای به علت طبیعتشان ، برای مقاطع پیچیده مناسب تر هستند و در بسیاری از موارد نسبت به آجرهای دیرگداز ، سریع تر و آسان تر نصب می شوند . امروزه از مواد محتوی آلومینا و آلومینای خالص در اکثر جرم های ریختنی استفاده می شود . دیرگداز های مونولیتیک بسته به نوع مواد و سیستم اتصال بکار رفته در جرم ، به شکل خشک و یا مرطوب تولید می شوند . انواع مختلف دیرگدازهای مونولیتیک در جدول I نشان داده شده است .

Table I. Refractory Monolithics

Castables	Gunning Mixes	Plastics	Ramming Mixes
Dense Insulating	Dense Insulating	Ramming Gunning	Moist Dry (vibrating)

در آمریکا دیرگدازهای مونولیتیک در سال ۱۹۸۳ ، ۴۰٪ از کل دیرگدازهای تولیدی را شامل می شدند که این رقم در سال ۱۹۸۶ به بیش از ۵۰٪ از کل دیرگدازهای تولیدی در آمریکا رسید^۱. از این بین ، جرم های آلومینایی خالص و مواد محتوی آلومینا ۶۰ تا ۷۰ درصد از مجموع کل این رقم را شامل می شدند . اگرچه بعضی جنبه های فنی مواد اولیه محتوی آلومینا در این مقاله مورد بررسی قرار می گیرد ولی هدف از این مقاله پوشش کامل فنی این محصولات مونولیتیک نیست . این اطلاعات را می توانید از مقالات و منابع دیگری که شماری از آن ها در مراجع آورده شده است ، کسب کنید^{۲-۵}.

تاریخچه و توسعه جرم های مونولیتیک :

توسعه خانواده دیرگدازهای مونولیتیک در سال ۱۹۱۴ آغاز شد ، هنگامی که اولین جرم دیرگداز پلاستیک تولید گردید^۲. مواد تشکیل دهنده این جرم بسیار شبیه به ترکیب آجرهای نسوز با کارکرد بالا (High Duty) بود که شامل آجرنسوز خردشده (شاموت) و خاک نسوز خام بود . دیرگدازهای مونولیتیک با عرضه سیمان

های آلومینات کلسیم توسعه پیدا کردند ، که برای اولین بار در سال ۱۹۲۰ در بتن های دیرگداز مورد استفاده قرار گرفت که به صورت درجا در محل ساخته می شود .

اولین اختراع در زمینه بتن های نسوز در سال ۱۹۲۶ به ثبت رسید ^۶ . پس از سال ۱۹۲۰ جرم های نسوز پیش آمیخته بسته بندی شده ، عرضه گردید . پس از اینکه این مواد ، سریعاً رشد و مورد استفاده قرار گرفتند ، اگریگیت ها و پرکننده های دیگری به منظور افزایش محدوده ی دمای کاری جرم و تامین خواص فیزیکی و شیمیایی ویژه ، مورد استفاده قرار گرفتند . اگریگیت های محتوی آلومینا همچون بوکسیت ، خاک نسوز کلسینه ، کائولن کلسینه ، کیانیت ، سیلیمانیت و آلومینای ذوبی و تابولار ، به منظور ایجاد محدوده وسیع از ترکیبات ، مورد استفاده قرار گرفتند .

عوامل اتصال نیز همچنین توسعه پیدا کردند . چسب های انتخاب شده در دیرگدازهای پلاستیک از اتصال رسی ساده به عوامل اتصال دیگری همچون فسفات آلومینیوم و عوامل اتصال هواگیر (Air-Bonding) (چه از نوع آلی و چه معدنی) تغییر کردند . همچنین سیمان های آلومینات کلسیم توسعه یافت و نه تنها ترکیبات خلوص پایین ابتدایی توسعه یافتند بلکه کلسیم آلومینات خلوص بالا با توانایی دمای کاری ۱۸۲۰ درجه سانتیگراد با اگریگیت های آلومینای خالص نیز رشد کردند .

ترکیبات دیرگدازهای مونولیتیک :

همه انواع دیرگدازهای مونولیتیک ، معمولاً بر مبنای مخلوطی از مواد اولیه ، شامل اگریگیت و پرکننده هستند که طبیعتاً در نسبت های مختلف و اندازه ذرات گوناگون با یکدیگر مخلوط می شوند . انتخاب بایندر بر اساس نوع جرم دیرگداز تعریف می شود . مخلوط جرم های ریختنی و پاشیدنی عموماً بر مبنای اتصال سیمان های آلومینات کلسیم می باشند و به شکل مواد خشک تولید شده و در محل نصب ، با آب (برای هیدراتاسیون سیمان) مخلوط و مورد استفاده قرار می گیرند .

مخلوط های پلاستیک و کوبیدنی (Ramming) با میزان رطوبتی از صفر (در مخلوط های قابل ویریه کردن خشک) تا ۱۰٪ یا بیشتر (در مواردی مشخص) تولید می شوند . همچنین دانه های اگریگیت در جرم های پلاستیک نسبت به مخلوط های کوبیدنی ، درشت تر هستند . محدوده انتخاب بایندر برای مخلوط های کوبیدنی و پلاستیک نیز وسیع تر است که سیستم های اتصال با طیف وسیعی از چسب های آلی تا معدنی را شامل می شوند . طبقه بندی کلی برای جرم های ریختنی و پلاستیک توسط کمیته C-۸ دیرگدازهای ASTM توسعه

پیدا کرده اند . جدول II و III این طبقه بندی را ارائه کرده است . همان طور که می توان دید دیرگدازهای پلاستیک عمدتاً توسط مقدار آلومینای آن ها طبقه بندی شده اند .

Table II. ASTM Plastic Refractory Classification C-673

Class	PCE	Alumina Content (%)
High duty	31	NR
Super duty	32½	NR
60% alumina	35	57.6–62.5
70% alumina	36	67.6–72.5
80% alumina	37	77.6–82.5
85% alumina	NR	82.6–87.5
90% alumina	NR	87.6–92.5
95% alumina	NR	92.6–97.5
100% alumina	NR	>97.5

Table III. ASTM Castable Specifications C-401

Shrinkage <1.5% When Fired at °C (°F)		
Dense		
A	1093 (2000)	
B	1260 (2300)	
C	1371 (2500)	
D	1482 (2700)	
E	1593 (2900)	
F	1704 (3100)	
G	1760 (3200)	
Normal strength — > 2070 Pa (300 psi) MOR after drying.		
High strength — > 4140 Pa (600 psi) MOR after drying.		
Class	Shrinkage < 1.5% When Fired at °C (°F)	Maximum Bulk Density after Drying kg/m ³ (pcf)
Insulating		
N	927 (1700)	880 (55)
O	1038 (1900)	1040 (65)
P	1149 (2100)	1200 (75)
Q	1260 (2300)	1440 (90)
R	1371 (2500)	1520 (95)
S	1482 (2700)	1520 (95)
T	1593 (2900)	1600 (100)
U	1649 (3000)	1680 (105)
V	1760 (3200)	1680 (105)

اگریگیت ها :

اگریگیت های مورد استفاده در جرم های نسوز معمولاً شامل ۵۰ تا ۸۰٪ از کل ترکیب هستند. چون جرم های نسوز تا موقعی که در محل نصب گردند گرما نمی بینند، از این رو اگریگیت ها مورد استفاده معمولاً در دمای بالا کلسینه شده تا حداکثر ثبات حجمی بدست آمده و تبلور مینرالوژیکی اگریگیت به حداکثر میزان خود برسد. در دیرگداز های مونولیتیک پایه آلومینا و مواد اولیه محتوی آلومینا دمای کاری معمولاً (نه همیشه) با افزایش مقدار آلومینا، افزایش می یابد. جدول IV اگریگیت های معمول محتوی آلومینا که در جرم ها کاربرد دارند لیست شده است و محدوده سرویس آن نیز مشخص گردیده است.

Table IV. Alumina-Containing Refractory Aggregates Used in Monolithics

Raw Material	Avg. Al ₂ O ₃ (%)	Service Limit (°C)
Alumina	100	1870
Fused white	100	1870
Tabular	100	1870
Bubble	100	1870
Fused brown	96	1760
Calcined bauxite		
Guyanese (gibbsite)	75-90	1760
Chinese (diaspore)	75-90	1760
Mullite		
Fused	72	1760
Sintered	72	1760
Bauxitic kaolins	60-70	1760
Kaolins	44-48	1650
Flint clay	40-45	1600
Pyrophyllite	20-25	1425

افزودنی اصلاح کننده و پرکننده ها :

افزودنی های اصلاح کننده و پرکننده ها، در محدوده وسیعی از مواد مختلف در جرم های نسوز استفاده می شود که برای اصلاح خواص شیمیایی، فیزیکی و رئولوژیکی محصول نهایی مورد استفاده قرار می گیرند. آلومینا و مواد اولیه محتوی آلومینا که به این عنوان، به جرم ها افزوده می شوند، در جدول V لیست شده اند. این مواد معمولاً دارای اندازه ذرات ریز ($<35\mu\text{m}$) هستند و می توانند شامل مواد آسیاب شده که به صورت اگریگیت درشت در جرم وجود دارند نیز، باشند. از مواد لیست شده در جدول V آلومینای کلسینه و همچنین

کیانیت کاربرد زیاد تری دارند . حضور آلومینای کلسینه با سودای کم ، برای مشخصات نگهداری خوب (good Storage) جرم های پلاستیک با اتصال فسفاتی ، اساسی می باشد .

Table V. Alumina-Containing Modifying Additives and Fillers Used in Monolithics

Alumina
Fused white
Tabular
Fused brown
Calcined
Reactive
Sillimanite Group Minerals
Sillimanite
Andalusite
Kyanite
Fireclays

این امر همچنین مقدار آلومینای جرم را نیز افزایش داده و استحکام زمینه را بالا برده و محدوده دمای کاری جرم را نیز زیاد می کند . کیانیت نیز به طور وسیعی برای کمک به جبران میزان انقباض جرم مونولیتیک ، استفاده می گردد . کیانیت در طی دمای 1325°C تا 1410°C یک تبدیل مینرالی را طی کرده و به مولایت و سیلیس تبدیل می شود که یک انبساط حجمی را به همراه می آورد . هنگامی که از کیانیت به طور صحیح در ترکیب جرم استفاده شود ، می تواند بخش عمده ای از انقباض جرم ، ناشی از زینترینگ رس که در این دما افزایش می یابد را ، جبران کند .

عوامل اتصال :

عوامل اتصال متنوعی وجود دارند که بر پایه مواد اولیه محتوی آلومینا می باشند که در جرم های مونولیتیک دیرگداز استفاده می شوند . عوامل اتصال متفاوتی در جرم های ریختنی و پلاستیک مورد استفاده قرار می گیرند که در ادامه به آن اشاره می شود.

عوامل اتصال دیرگداز های مونولیتیک پلاستیک :

سیستم های اتصال زیادتری برای گروه های مختلف از دیرگدازهای پلاستیک و مخلوط های کوبیدنی دیرگداز نسبت به جرم های ریختنی وجود دارد . اصلی ترین عامل اتصال در دیرگدازهای مونولیتیک پلاستیک که در سال ۱۹۱۴ به کار گرفته شد ، رس می باشد . رس ها ، خاصیت پلاستیسیته را به فرمول جرم اضافه

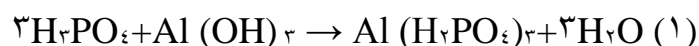
می کنند . آنها همچنین اتصال دمای پایین (اگرچه ضعیف) را تامین کرده و به تشکیل اتصال سرامیکی در دمای بالا کمک می کند . انواع مختلفی از رس ها ، از مقادیر ۱ تا ۲۵٪ ، در فرمولاسیون جرم به کار گرفته می شود . جدول VI ، بعضی از رس های معمول که در جرم های پلاستیک به کار می روند را نشان داده است .

Table VI. Bonding Clays Used in Plastic Refractories

Clay Type	% Alumina
Plastic fireclay	25-40
Ball clays	25-35
Kaolins (raw)	30-45
Bentonites	
Sodium	20-25
Calcium	12-18

انتخاب نوع رس به سیستم های دیگر اتصال که در جرم دیرگداز پلاستیک یا مخلوط کوبیدنی به کاررفته است نیز وابسته است . عوامل اتصال هواگیر نیز در جرم های پلاستیک استفاده می شود . عوامل اتصال هواگیر به همراه باند های رسی عمل کرده و استحکام دمای پایین مضاعفی را عرضه می کنند. بخش عمده ی از چسب های هواگیر آلی هستند ولی بعضی از آنها نیز بر پایه ترکیبات آلومینا دار استوار هستند . یک نمونه سولفات آلومینیوم است $(Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O)$ که بیشتر با نام Alum آلوم ، شناخته می شود که سالهاست به عنوان عامل اتصال هواگیر در این جرم ها کاربرد دارد . آلوم در حین هیدراتاسیون یک فاز ژله ای را تولید می کند و هنگامی که در زمینه دیرگداز پلاستیک پخش می شود ، پس از خشک شدن سخت می شود . فاز ژله ای هیدراتاسیون شده در دماهای بسیار بالاتری نسبت به هنگامی که عوامل اتصال آلی استفاده می شود ، پایدار است . عمده ترین عیب آلوم به عنوان یک عامل اتصال ، این حقیقت است که این ترکیب در دمای بیش از ۷۶۰ درجه سانتیگراد تجزیه شده و گاز های SO_x آزاد می کند ، در نتیجه ، تهویه مناسبی برای خروج این گاز ، در محل استفاده از جرم های پلاستیک محتوی این عامل اتصال ، باید صورت گیرد . عوامل اتصال پایه آلومینایی دیگری که استفاده می شوند شامل آلومینیوم هیدروکسی کلراید و سل آلومینا می باشد .

یکی از مهمترین عوامل اتصال که در سیستم اتصال دیرگدازهای پلاستیک و جرم های کوبیدنی مورد استفاده قرار می گیرند ، فسفات باندها می باشند . علی رغم آنکه فسفات های زیادی هستند که مورد استفاده قرار می گیرند ، ولی یکی از پر مصرف ترین آن ها در دیرگدازهای پلاستیک ، فسفات آلومینیوم $(2Al(H_2PO_4)_3)$ می باشد . این عامل اتصال با واکنش هیدروکسید آلومینیوم و اسید فسفریک مطابق واکنش زیر انجام می شود :



هنگام گرمایش، فسفات آلومینیوم تبدیلات فازی زیادی را طی خواهد کرد^{۹-۷} که در این مطلب مورد بحث قرار نمی گیرد. اما جرم های پلاستیک با اتصال فسفات آلومینیوم هنگام گرمایش بین ۳۵۰°C تا ۱۲۰۰°C معمولاً استحکام گرم بالا و مقاومت به سایش خوبی از خود نشان می دهند. مواد با اتصال فسفات آلومینیوم هنگامی سخت می شوند که بین ۱۰۰°C تا ۲۵۰°C درجه سائیدگی خشک شود. اتصالات در این محدود دمای جاذب رطوب بوده و می تواند شدیداً تحت تاثیر بخار و یا نگهداری در شرایط مرطوب، قرار گیرد.

عوامل اتصال در جرم نسوز ریختنی آلومینایی:

جرم های نسوز، معمولاً بوسیله سیمان های آلومینات کلسیم، اتصال می یابند. این سیمان ها بوسیله حرارت دادن بوکسیت یا آلومینا با آهک در یک فرآیند ذوبی و یا زیتترینگ تولید می شود. رده بندی های تجاری زیادی برای سیمان های آلومینات کلسیم موجود می باشد ولی همه آن ها را می توان در سه گروه طبقه بندی کرد: سیمان با خلوص پایین، متوسط و بالا. میزان خلوص (مقادیر CaO ، Fe_2O_3 ، SiO_2 ، Al_2O_3) سیمان، ترکیبات فازهای سیمانی موجود و همچنین محدودی دمای کاری را تحت تاثیر خود قرار خواهد داد. جدول VII سه گروه سیمان های آلومینات کلسیم را بر اساس ترکیب شیمیایی آن طبقه بندی کرده و حداکثر دمای کاری آن ها را مشخص کرده است.

Table VII. Types of Calcium Aluminate Cement

	Low Purity	Intermediate Purity	High Purity
Chemistry (%)			
Al_2O_3	36-47	48-62	70-80
SiO_2	3-9	3-9	0.0-0.5
Fe_2O_3	7-16	1-3	0.1-0.2
CaO	35-42	26-39	18-26
Maximum service temperature (°C)	1370	1540	1820

معمولاً ولی نه همیشه، دمای کاری یک جرم، نوع سیمان آلومینات کلسیم مصرفی در آن را مشخص می کند. کاربرد ها دما پایین خاصی وجود دارد که در آن نیازمند موادی است که با سیمان های خلوص بالا ساخته شده باشند. برای نمونه در اتمسفر کوره، جای که مقادیر زیادی مونوکسید کربن حضور دارد، سیمان های خلوص بالای آلومینات کلسیم با مقادیر آهن پایین مورد نیاز می باشد. مقدار سیمان مصرفی در یک جرم می تواند از

۵۰٪ (در جرمهای سبک وزن عایق) تا مقادیر خیلی کم ۱٪ (در جرم های ULCC) تغییر کند. جرم های معمولی بین ۱۰ تا ۳۵٪ سیمان، جرم های کم سیمان بین ۴ تا ۱۰٪ سیمان و جرم های خیلی کم سیمان بین ۱ تا ۴٪ سیمان دارند. در سال های اخیر انواع جرم های بدون سیمان، برای کاربرد های خاص ذوب فولاد توسعه یافته اند. یکی از عوامل اتصال بکار رفته در این جرم ها پودر ریز آلومینیوم فلزی می باشد که در آب اضافه شده به جرم، هیدراته شده و یک فاز اتصالیه ژله ای را تشکیل می دهد.

خواص فیزیکی:

درصد آلومینای درون دیرگداز های بی شکل، اثرات نسبتاً قابل پیش بینی را بر خواص فیزیکی جرم خواهد داشت ولی دیرگداز های مونولیتیک فرمولاسیون پیچیده ای دارند که در آن اگریگیت ها، افزودنی ها، پرکننده ها و عوامل اتصال، همگی با هم برهمکنش داشته و خواص فیزیکی جرم را تحت تاثیر قرار خواهند داد. از این رو، مینرالوژی ترکیبات و نتایج نهایی مینرالوژیکی ترکیب جرم دیرگداز بر روی خواص فیزیکی جرم، اثر گذارتر از درصد حضور یک اکسید است. هنگامی که مقدار آلومینا یک جرم دیرگداز افزایش می یابد در اکثر موارد، دمای کاری دیرگداز و PCE آن افزایش خواهد یافت. دیرگداز های مونولیتیک آلومینا بالا، همچنین در کاربردهای دما بالا استفاده دارند. جدول VIII مقادیر آلومینای جرم های ریختنی و پلاستیک مختلف را به ترتیب افزایش دمای کاری آنها مشخص کرده است. با افزایش مقدار آلومینا، چگالی جرم نیز افزایش می یابد که این امر ناشی از افزایش اگریگیت ها و پرکننده های بکاررفته با مقادیر آلومینای بالا می باشد.

Table VIII. Alumina Content vs Service Limit of Refractory Monolithics

Al ₂ O ₃ (%)	Service Limit (°C)
Plastics	
40-50	1540-1600
60	1650-1760
80	1700-1800
90	1800-1900
Castables	
40-50 (Low-purity cement bond)	1260-1370
40-50 (High-purity cement bond)	1500-1650
70 (High-purity cement bond)	1650-1700
80 (High-purity cement bond)	1700-1760
95 (High-purity cement bond)	1820-1870

استحکام جرم دیرگداز طبیعتاً تا حد زیادی بوسیله سیستم اتصال آن کنترل می شود. شکل ۱ این خصوصیت را با مقایسه مقادیر مدول گسیختگی گرم (MOR) جرم های آلومینای ۴۵-۵۰٪ مختلف که عوامل اتصال متفاوتی داشتن را به خوبی نشان می دهد.

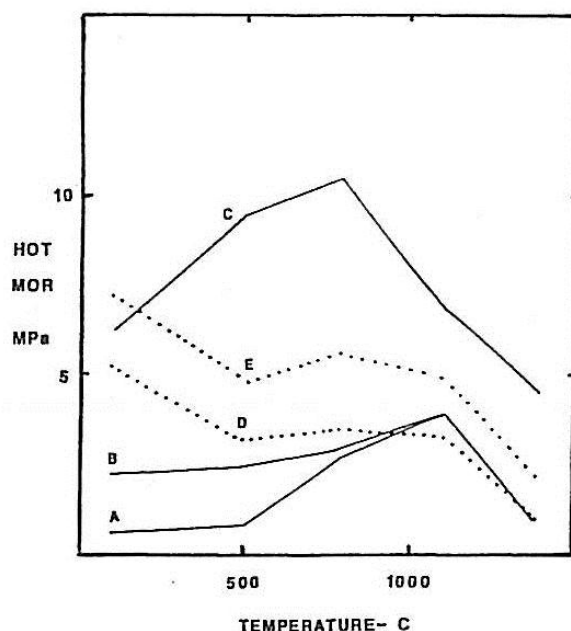


Fig. 1. Hot MOR of 40-50% alumina monolithic refractories. (A) clay-bond plastic; (B) air-bond plastic; (C) phosphate-bond plastic; (D) low-purity CA cement-bond castable; (E) high-purity CA cement-bond castable.

استحکام مکانیکی بیشتر از آنکه تحت تاثیر درصد حضور آلومینا باشد، تحت تاثیر مینرالوژی ویژه آن جرم خواهد بود. جدول IX این مطلب را با مقایسه دو جرم پلاستیک ۸۵٪ آلومینا که یکی از اگریگیت آلومینای تابولار و کائولن استفاده کرده است و دیگری بر مبنای بوکسیت می باشد، نشان می دهد.

Table IX. Effect of Aggregate Type on Hot MOR of 85% Alumina Phosphate-Bonded Plastic Refractory

Aggregate Base	Tabular Alumina/Kaolin	Bauxite
Density (kg/m ³)	2720	2690
Hot MOR (MPa)		
815°C	11.0	14.0
1090°C	3.5	5.1
1370°C	2.4	4.3

مقدار آلومینا همچنین ضریب انبساط حرارتی جرم را نیز تحت تاثیر قرار خواهد داد. هنگامی که مقادیر آلومینا افزایش می یابد، همانطور که در جدول X نشان داده شده است، ضریب انبساط حرارتی نیز زیاد می شود.

Table X. Alumina Content vs Thermal Expansion of Refractory Monolithics

Al ₂ O ₃ (%)	Coefficient of Thermal Expansion ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
Plastics	
45	5.7
70	7.1
90	8.0
Castables	
40-50	6.0
70	7.0
95	8.5

نهایتاً ، همچنین مقدار آلومینا در یک جرم مونولیتیک اثر مستقیمی بر روی هدایت حرارتی آن دارد . هرچند افزایش دانسیته به طور جزئی بر این خاصیت اثرگذار است ولی افزایش مقدار کریستالی آلومینا نیز بر این ویژگی موثر است . برای نشان دادن این موضوع ، در شکل ۲ اثر مقدار آلومینا بر روی هدایت حرارتی جرم دیرگداز پلاستیک رسم شده است .

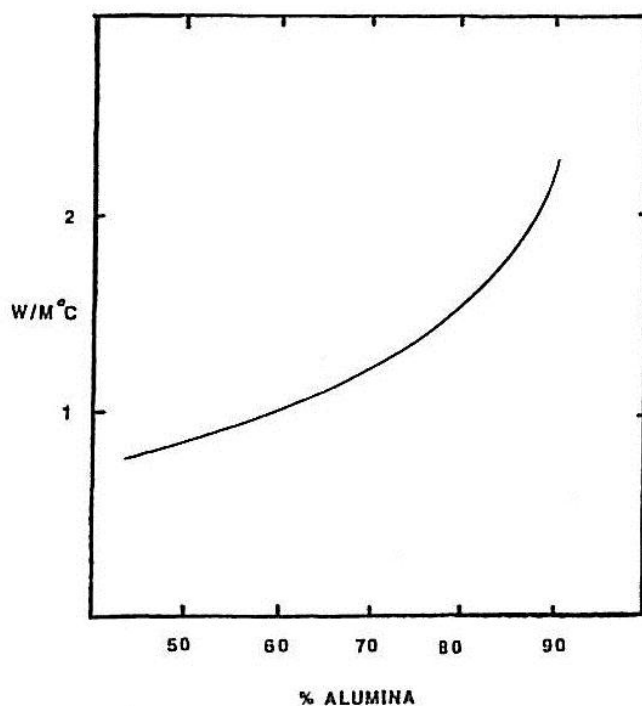


Fig. 2. Thermal conductivity vs alumina content for plastic refractories.

نتیجه گیری:

جرم های آلومینایی، در جای که آجرهای دیرگداز آلومینایی کاربرد دارند، به کاربرده می شوند. این جرم ها کاربردهای شامل ذوب فولاد، مجتمع های پتروشیمی، کارخانه آلومینیوم سازی، سیمان سازی، ریختگری، بویلرها، کوره های زبال سوزی و ... دارند. در سال های اخیر به علت توسعه های جدید در دیرگداز های مونولیتیک (همچون جرم های کم، فوق کم و بدون سیمان، پیشرفت مخلوط جرم های پاشیدنی، دیرگداز های پلاستیک قابل پاشش و مخلوط های ویبره خشک) همچنان که کارآیی آن ها زیاد می شود کاربرد آن ها نیز افزایش یافته است.

جرم های نسوز این گونه نشان می دهند که چه در پیچیدگی و یا در کاربرد در حال توسعه هستند. تلاش های زیادی انجام می شود تا کیفیت مواد خام موجود بهبود یافته تا مواد خام جدید در دیرگدازهای مونولیتیک تکنولوژی بالای آینده، استفاده شود. آلومینا و مواد اولیه آلومینایی راه خود را به عنوان پایه های اصلی اکثر این محصولات دیرگداز پیشرفته در آینده ادامه خواهند داد.

References

- ¹U.S. Department of Commerce Bureau of Census, "Current Industrial Reports—Refractories," Rept. Nos. MQ32C(86-1), MQ32C(86-2), MQ32C(86-3), and MQ32C(86-4).
- ²"Technology of Monolithic Refractories," Plibrico Japan Company, Ltd., Tokyo, Japan, 1984.
- ³Refractory Concrete, American Concrete Institute Publication ACI 547 R-79, Detroit, MI, 1983.
- ⁴T. D. Robson, High Alumina Cements and Concretes. Wiley & Sons, New York, 1962.
- ⁵A. Petzold and M. Rohrs, Concrete for High Temperature. Maclare & Sons, London, 1970.
- ⁶T. D. Robson, High Alumina Cements and Concretes. Wiley & Sons, New York, 1962; p. 263.
- ⁷W. D. Kingery, "Fundamental Study of Phosphate Bonding in Refractories," *J. Am. Ceram. Soc.*, 33 [8] 239-47 (1950).
- ⁸M. J. O'Hara, J. J. Duga, and H. D. Sheets. "Studies in Phosphate Bonding," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 51 [7] 590-95 (1972).
- ⁹J. E. Cassidy, "Phosphate Bonding Then and Now," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 56 [7] 640-43 (1977).