

## روش مناسب برای فرآوری سرباره کوره های آلومینیوم سازی و تبدیل آن به ماده ای دیرگداز

سید حسین بدیعی<sup>۱</sup>، ساسان اطرج<sup>۲\*</sup>، محمد رضا سائری<sup>۲</sup>

۱. استادیار مهندسی مواد (سرامیک)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد  
۲. استادیار مهندسی مواد (سرامیک)، دانشگاه شهرکرد (sasan.otroj@gmail.com)\*

### چکیده

در این تحقیق روش های مختلفی جهت فرآوری سرباره کوره های آلومینیوم سازی مورد استفاده قرار گرفته است و با توجه به نتایج، مناسب ترین روش جهت تبدیل سرباره به محصولی مناسب برای کاربرد در صنایع دیرگداز ارایه شده است. نتایج نشان می دهد که مناسب ترین روش جهت فرآوری شامل مراحل: آسیاب، سنگجوری و الک کردن، اسید شوئی و کلسیناسیون در دمای بالاتر از  $1250^{\circ}\text{C}$  می باشد. روش فرآوری مناسب باعث حذف و یا کاهش قابل ملاحظه فازهایی با نقطه ذوب پایین همانند آلومینیوم از ترکیب سرباره می شود و آن را به ماده ای دیرگداز با قابلیت کارکرد تا دمای  $1250^{\circ}\text{C}$  تبدیل می کند. موثر بودن این روش توسط آنالیزهای فازی اثبات گردید. در روش فرآوری بکار رفته، علاوه بر حفاظت از محیط زیست سرباره آلومینیوم به یک ماده دیرگداز برای ساخت دیرگدازهای ریختنی عایق تبدیل می شود. همچنین اکسید آلومینیوم نیز بعنوان یک محصول فرعی در روش بکار رفته تهیه می شود.

### مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۲۵ شهریور ۱۳۸۷  
دریافت پس از اصلاحات ۳۰ فروردین ۱۳۸۹  
پذیرش نهایی ۳۱ خرداد ۱۳۸۹

کلمات کلیدی:

فرآوری  
سرباره آلومینیوم  
اسید شوئی  
کلسیناسیون  
دیرگداز

## ۱- مقدمه

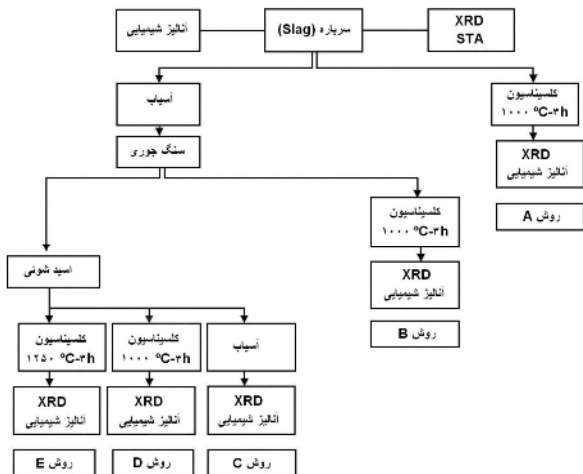
بطورکلی تولید صنعتی مشکلاتی همانند ایجاد ضایعات و کاهش منابع طبیعی را به همراه دارد. ضایعات صنعتی همانند سرباره ها بمرور در حال تجمع هستند که این امر باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی و سلامت عمومی گردیده است [۱]. سرباره اصطلاحی است که برای ناخالصی ها و مواد غیر فلزی جمع شده روی سطح مذاب بهنگام فرآیند ذوب فلزات مختلف بکار برده می شود. بنابراین یک مسئله مشترک در همه فرآیندهای ذوب پیرو متالورژیکی، تولید سرباره است و می توان گفت که سرباره محصول فرعی تولید فلز است. سنگ معدن فلزاتی همانند آهن، مس، سرب، آلومینیوم و دیگر فلزات دارای ناخالصی هایی هستند که اغلب اکسید می شوند و بصورت مخلوط با سیلیکات های فلزات دیگر وجود دارند. در طی فرآیند ذوب، وقتی سنگ معدن در معرض درجه حرارت های بالا قرار می گیرد این ناخالصی ها از فلز مذاب جدا می شوند و به دلیل چگالی کمتر نسبت به فلز مذاب، بر روی سطح مذاب جمع می شوند و در نهایت از سطح مذاب جدا می شوند [۲-۵]. سرباره ناشی از فرآیند ذوب و ریخته گری آلومینیوم و آلیاژهایش طبق استانداردهای زیست محیطی بعنوان ضایعات خطرناک شناخته می شوند. به دلیل گازهای سمی وابسته به سرباره که می توانند در هوای محیط آزاد شوند و همچنین به دلیل تجمع این منبع آلوده کننده محیط زیست، مشکل سرباره کوره های آلومینیوم سازی همیشه به عنوان یک مشکل جدی مطرح بوده است زیرا علاوه بر سمی بودن، مقدار سرباره تولید شده در سال نیز زیاد می باشد. صنایع آلومینیوم سازی سالانه مقادیر قابل توجهی سرباره تولید می کنند بطوریکه فقط در کشورهای اروپایی در هر سال بیش از صد هزار تن سرباره تولید می شود. بطور معمول بیشتر سرباره ها بصورت توده در کنار کارخانجات و در هوای آزاد، انبار می شوند. بدین ترتیب مواد مضر موجود در سرباره ها به مرور و تحت شرایط جوی مختلف همانند بارندگی به درون زمین و به آبهای زیر

زمینی نشت پیدا می کنند. برای مثال سرباره و ضایعات کوره های آلومینیوم سازی می توانند در اثر نشت و آلوده ساختن آبهای زیر زمینی باعث ایجاد یا تشدید بیماری هایی همانند آلزایمر، تحریکات پوستی و ریوی شوند. انبار کردن چنین ضایعاتی نه تنها باعث ایجاد بیماری های مختلف می شود بلکه باعث از دست رفتن مواد ارزشمند باقیمانده در ترکیب سرباره می شود [۹-۵]. به دلایل ذکر شده بسیاری از محققین امکان فرآوری سرباره آلومینیوم به منظور بازیافت مواد باقیمانده در آن و حذف یا کاهش نیاز به انباشت چنین مواد مضر را مورد مطالعه و تحقیق قرار داده اند. تاکنون تحقیقاتی در زمینه استفاده از سرباره های آلومینیوم سازی در ساخت بتون ها، شیشه-سرامیکها، عایق های ساختمانی، سیمان پرتلند و دیگر محصولات سرامیکی صورت گرفته است [۱۵-۱۰]. در برخی از این روشها استفاده از سرباره فرآوری شده بعنوان ماده اولیه در ساخت محصولات دیرگداز نیز پیشنهاد شده است. برای مثال [۱۶] Yoshimura et. al روشی را برای تولید سنگدانه های دیرگداز از سرباره آلومینیوم توسعه داده است. همچنین [۵] Lopez et. al نیز روشی برای استفاده از آلومینا و اسپینل موجود در ضایعات آلومینیوم سازی ابداع کرده است. در همه این روش ها حذف یا کاهش فازهایی با نقطه ذوب پایین از ترکیب سرباره جهت تبدیل سرباره به ماده ای دیرگداز هدف اصلی بوده که بدین منظور از اسیدشوئی و عملیات فرآوری در دماهای بالا استفاده شده است [۱۸-۱۰]. بطورکلی علاقه به تحقیق در مورد استفاده از سرباره آلومینیوم بعنوان ماده ای دیرگداز صرفا به مقدار بالای اکسید آلومینیوم در این ماده مربوط می شود. آلومینا یکی از اجزاء اولیه و اصلی مهم برای تولید دیرگدازهای مصرفی در صنایع حرارتی دما بالا مثل سیمان، شیشه و متالورژی محسوب می شود [۱۹]. اما ترکیب شیمیایی و مینرالی سرباره آلومینیوم به مواد اولیه مورد استفاده و فرآیند متالورژیکی بکار رفته برای تولید بستگی دارد. از

گیری چگالی ذرات سرباره فرآوری شده از پیکنومتر و مطابق دستور العمل ASTM D 2320-87 (1991) استفاده گردید.

## ۲-۲- روش های مورد استفاده جهت فرآوری سرباره

با توجه به بررسی منابع و کارهای تحقیقاتی انجام شده در این زمینه، پنج روش مختلف جهت فرآوری سرباره مطابق شکل (۱) در نظر گرفته شد. در پایان هر روش، ترکیب شیمیایی و فازی سرباره فرآوری شده مورد بررسی کامل قرار گرفت تا تأثیر روش مورد استفاده مشخص گردد.



شکل (۱): روش های مورد استفاده جهت فرآوری سرباره آلومینیوم

در اکثر این روش ها، جهت خروج مواد فرار از ترکیب سرباره از عملیات کلسیناسیون در دماهای مختلف استفاده شده است. جهت انجام کلسیناسیون از کوره الکتریکی آزمایشگاهی و از بوتله شاموتی جهت نگهداری سرباره در کوره استفاده گردید. از آسیاب غلتکی آزمایشگاهی نیز جهت خرد و آسیاب کردن کلوخه های سرباره استفاده شد. از طرف دیگر، جهت کاهش و یا حذف آلومینیوم فلزی موجود در ترکیب سرباره از روش های شیمیایی همانند اسید شویی (با استفاده از هیدروکلریک با غلظت ۰/۵ N) کمک گرفته شد.

طرف دیگر مشکلاتی همانند وجود نمک های محلول در آب، آلومینیوم باقیمانده و هموزن نبودن ترکیب کاربرد آن را در زمینه های مختلف محدود کرده است [۹-۱۲، ۵، ۱]. بنابراین یافتن فرآیندی واحد و یکسان برای بدست آوردن محصولات مفید همانند سنگدانه های دیرگداز از سرباره آلومینیوم مشکل می باشد. بطوریکه روش مورد استفاده می تواند برای سرباره های دیگر از کارائی لازم برخوردار نباشد. از این جهت اولین قدم در همه روش های فرآوری تعیین خصوصیات و ویژگی های سرباره آلومینیوم مورد استفاده می باشد. در این تحقیق روش های مختلفی برای فرآوری سرباره آلومینیوم شرکت آلومینیوم سازی ایران (ایرالکو) مورد استفاده قرار گرفته است و مناسب ترین روش برای تبدیل آن به ماده ای دیرگداز ارایه شده است. روش های مورد استفاده جهت فرآوری ترکیب سرباره شامل مراحل خرد کردن، الک و سرند کردن، اسید شویی و شستشو با آب، کلسیناسیون در دماهای مختلف می باشد که کارائی این روش ها با انجام آنالیز های شیمیایی و مینرالی مشخص شده است.

## ۲- بخش تجربی

### ۲-۱- سرباره مورد استفاده

از سرباره کوره آلومینیوم سازی شرکت آلومینیوم سازی ایران (ایرالکو) جهت فرآوری در این پژوهش استفاده گردید. در ابتدا برای شناسایی و بررسی بیشتر، سرباره تحت آنالیزهای مختلف قرار گرفت. در این راستا، آنالیزهای شیمیایی بصورت تر، فازی (XRD) و حرارتی همزمان (STA) شامل آنالیز حرارتی افتراقی (DTA) و آنالیز ترموگراویمتری (TG) بر روی سرباره انجام شد. نوع فازهای موجود در سرباره و پس از فرآوری توسط دستگاه XRD مدل STOE-STADI-P با استفاده از پرتو Cu-K $\alpha$  شناسایی گردید. با استفاده از دستگاه آنالیز حرارتی همزمان مدل NETZSCH STA 409 PC/PG نیز رفتار حرارتی سرباره تا دمای ۱۴۰۰ °C ارزیابی گردید. برای اندازه

### ۳- نتایج و تحلیل یافته ها

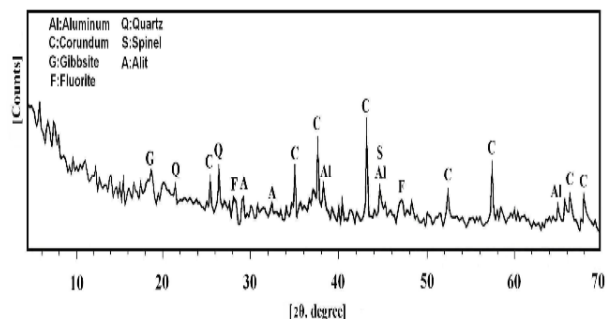
#### ۳-۱- بررسی سرباره کوره آلومینیوم سازی

نتایج مربوط به آنالیز شیمیایی سرباره کوره آلومینیوم سازی در جدول (۱) ارایه شده است. نتایج نشان می دهد اکسید آلومینیوم درصد بالایی از ترکیب شیمیایی سرباره را تشکیل می دهد که البته می تواند بصورت اکسید آلومینیوم همراه فلز آلومینیوم در ترکیب شیمیایی وجود داشته باشد. همچنین در این آنالیز شیمیایی مقدار قابل توجهی افت وزنی (L.O.I) نیز در ترکیب سرباره وجود دارد. نتایج آنالیز فازی مربوط به سرباره (Slag) نیز در شکل (۲) ارایه شده است.

جدول (۱): نتایج آنالیز شیمیایی ترکیب سرباره کوره آلومینیوم سازی

Oxide	Wt. %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	68.01
MgO	1.53
CaO	2.67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.15
TiO <sub>2</sub>	0.23
SiO <sub>2</sub>	9.14
Na <sub>2</sub> O	2.85
K <sub>2</sub> O	0.61
SO <sub>3</sub>	0.17
L.O.I	12.54

نتایج آنالیز فازی مربوط به سرباره (Slag) در شکل (۲) ارایه شده است.



شکل (۲): نتایج آنالیز فازی ترکیب سرباره

با توجه به نتایج شکل (۲)، فازهای کوراندوم (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)-

α، کوارتز (SiO<sub>2</sub>)، اسپینل (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)، فلز آلومینیوم (Al) و همچنین مقدار کمی نیز فلوئوریت (CaF<sub>2</sub>) در ترکیب سرباره موجود می باشند. با مقایسه شدت پیک های حاصل، فاز اصلی ترکیب سرباره را کوراندوم تشکیل می دهد. با توجه به هدف این پژوهش که استفاده از این سرباره ها در ساخت مواد دیرگداز می باشد، بنابراین وجود فازهایی با نقطه ذوب پایین در ترکیب سرباره می تواند مضر باشد. با توجه به فازهای موجود، نقطه ذوب آنها را می توان مطابق جدول (۲) در نظر گرفت.

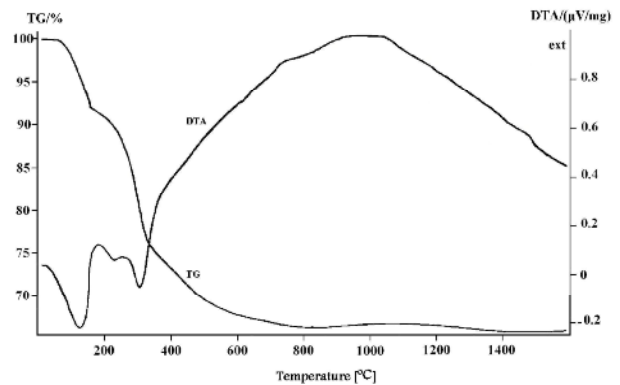
جدول (۲): نقطه ذوب فازهای موجود در ترکیب سرباره

Phase	MeltingPoint(°c)
Corundum	2040
Aluminum	658
Spinel	2150
Quartz	1730
Fluorite	1340

با توجه به نتایج جدول (۲)، فازهایی همانند کوراندوم، اسپینل و کوارتز دارای نقاط ذوب بالایی هستند که جهت استفاده بعنوان مواد دیرگداز مناسب می باشند و از طرف دیگر فازهایی همانند آلومینیوم فلزی و تا حدودی فلوئوریت بخاطر نقطه ذوب پایین جهت استفاده بعنوان مواد دیرگداز مناسب نیستند. در فرآیند مورد استفاده جهت فرآوری سرباره آلومینیوم سازی بایستی این فازهای نامطلوب کاهش داده شوند و در صورت امکان حذف شوند. بنابراین روشی می تواند مناسب باشد که میزان فازهای با نقطه ذوب پایین همانند آلومینیوم و فلوئوریت را در ترکیب سرباره کاهش دهد.

میزان این فازها می تواند دمای کاربرد ماده دیرگداز را نیز تحت تأثیر قرار دهد. نتایج آنالیز حرارتی همزمان مربوط به سرباره تا دمای ۱۴۰۰ °C در شکل (۳) ارایه شده است. مشخص می شود که نمونه سرباره تا دمای ۸۰۰ °C چهار مرحله کاهش وزن نشان می دهد. همچنین بعد از دمای ۸۰۰ تا ۱۳۰۰ °C نیز اندکی افزایش وزن دیده می شود.

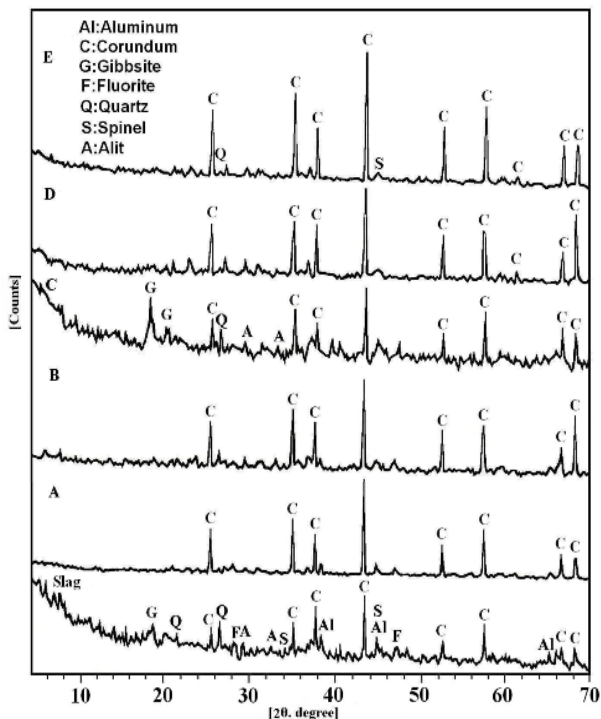
با توجه به نتایج پیک چهارم مربوط به انجام واکنشی بوده که گرمازا می باشد. تنها واکنشی که گرمازا بوده و در دمای مورد نظر می توان تصور نمود واکنش اکسیداسیون آلومینیوم فلزی موجود در ترکیب سرباره می باشد. بدین ترتیب با توجه به نتایج آنالیز حرارتی باید نمونه سرباره بالای دمای  $800^{\circ}\text{C}$  حرارت داده شود تا تغییرات وزنی نداشته باشد.



شکل (۳): نتایج آنالیز حرارتی همزمان ترکیب سرباره

### ۲-۳- بررسی سرباره فرآوری شده توسط روش های مورد استفاده

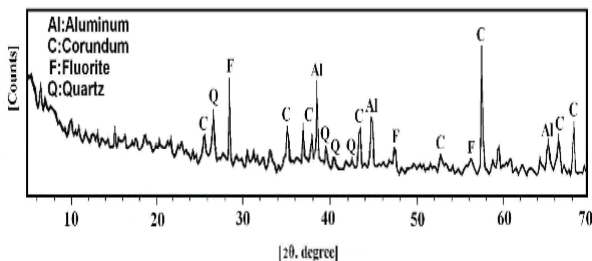
ترکیب سرباره فرآوری شده توسط روش های مختلف، مورد آنالیز فازی قرار گرفت که نتایج آن در شکل (۴) ارائه شده است. در این شکل نتایج ترکیب سرباره قبل از فرآوری نیز جهت مقایسه ارائه شده است. همچنین نتایج آنالیز شیمیایی ترکیب سرباره پس از فرآوری توسط روش های مختلف در جدول (۳) ارائه شده است.



شکل (۴): نتایج آنالیز فازی ترکیب سرباره پس از فرآوری توسط روش های مختلف

اولین کاهش وزن از دمای محیط شروع شده و تا دمای  $140^{\circ}\text{C}$  ادامه می یابد که می تواند مربوط به خروج رطوبت سطحی ترکیب سرباره باشد. مرحله دوم کاهش وزن از دمای  $150^{\circ}\text{C}$  تا  $250^{\circ}\text{C}$  می باشد. مرحله سوم کاهش وزن نیز از دمای  $250^{\circ}\text{C}$  شروع می شود و تا حدود  $800^{\circ}\text{C}$  ادامه می یابد. این کاهش وزن ها نیز می تواند مربوط به تجزیه مواد و خروج گاز باشد. در دمای بالای  $800^{\circ}\text{C}$  نیز کمی افزایش وزن دیده می شود که می تواند بخاطر اکسید شدن ترکیبات فلزی موجود مثل آلومینیوم باشد. آنالیز DTA ارائه شده نیز تأیید کننده دمای شروع و خاتمه مراحل مختلف تغییرات وزنی ایجاد شده می باشد. پیک های مراحل اول تا سوم کاهش وزن، هر سه گرماگیر می باشند و بنابراین می توانند تأیید کننده واکنش های تبخیر و خروج رطوبت و تجزیه مواد و ترکیبات موجود در سرباره باشد. با توجه به نوع گرماگیر بودن این واکنش ها عدم وجود ترکیبات آلی در سرباره اثبات می گردد. از طرف دیگر واکنش های گرماگیر اتفاق افتاده در محدوده دمایی  $150^{\circ}\text{C}$  تا  $800^{\circ}\text{C}$  که مطابق با کاهش وزن نمونه ها می باشد به احتمال زیاد می تواند مربوط به تجزیه ترکیبات حاوی هیدرات در سرباره باشد. ترکیباتی همانند مونوهیدرات آلومینیوم تری هیدرات آلومینیوم و غیره می توانند در ترکیب سرباره حضور داشته باشند و با تجزیه در محدوده دمایی ذکر شده باعث کاهش وزن و ایجاد پیک های گرماگیر نیز گردند.

برای استفاده از این نوع سرباره جهت ساخت دیرگذاها است اما هنوز وجود فازهای نامطلوب با نقطه ذوب پایین مثل آلومینیوم فلزی و فلئوریت باعث نامطلوب بودن سرباره در جهت استفاده در ساخت دیرگذاها می باشد. با توجه به نقطه ذوب پایین آلومینیوم، این فاز بصورت کلوخه و یا ذرات نسبتاً بزرگی با اشکال نامنظم و طویل در ترکیب سرباره به همراه بعضی از اجزاء دیگر سرباره وجود دارند. در صورت جدا کردن این ذرات بخش عمده ای از این فازهای نامطلوب و دارای نقطه ذوب پایین می تواند از ترکیب سرباره جدا شود. بنابراین جهت جدا و خارج کردن این ذرات و قطعات از روش های سنگجوری توسط دست و الک کردن ترکیب سرباره می توان استفاده نمود که در روش های فرآوری مورد نظر نیز از آنها استفاده شده است. همچنین در صورت خرد کردن ذرات ترکیب سرباره توسط آسیاب و از طرف دیگر به دلیل نرم بودن فلز آلومینیوم، ذرات چسبیده بهم توسط آلومینیوم در هنگام فشار فقط تغییر شکل می دهند و خرد نمی شوند و بنابراین براحتی با الک قابل جدا کردن هستند. در شکل (۵) آنالیز فازی قطعات سنگجوری شده ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصل مشخص می شود که فازهای آلومینیوم فلزی و فلئوریت بطور عمده در این قطعات سنگجوری شده وجود دارند. بنابراین با خارج کردن قطعات سنگجوری شده بخش عمده ای از فازهای آلومینیوم فلزی و فلئوریت از ترکیب سرباره خارج می شوند.



شکل (۵): نتایج آنالیز فازی قطعات سنگجوری شده

نتایج آنالیز فازی نمونه سرباره پس از خارج کردن قطعات سنگجوری شده از آن و کلسیناسیون در دمای  $1000^{\circ}\text{C}$  (روش B) در شکل (۳) نیز نشان

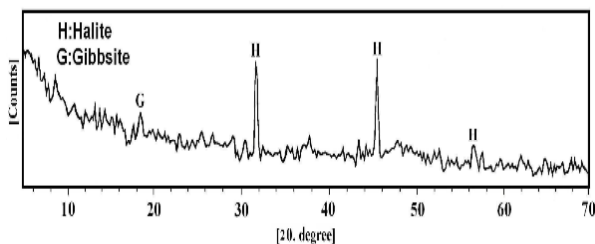
با توجه به نتایج شکل (۴) مشخص می شود که فازهای کوراندوم، آلومینیوم فلزی و اسپینل، فازهای اصلی و عمده ترکیب سرباره پس از کلسیناسیون در  $1000^{\circ}\text{C}$  می باشد. همچنین فازهای کوارتز و فلئوریت نیز بعنوان فازهای جانبی در ترکیب با مقدار کم موجود می باشند. با توجه به مقایسه نتایج نمونه قبل و بعد از کلسیناسیون مشاهده می شود که با تجزیه مواد موجود در ترکیب سرباره و خروج مواد فرار، شدت پیک های فازهای اصلی ترکیب یعنی کوراندوم افزایش قابل توجه ای می یابد. با توجه به نتایج آنالیز شیمیایی ارائه شده در جدول (۳) نیز نشان می دهد که میزان اکسید آلومینیوم موجود در ترکیب سرباره پس از کلسیناسیون افزایش قابل توجه ای می یابد که این میزان افزایش به روش بکار رفته بستگی دارد.

جدول (۳): نتایج آنالیز شیمیایی ترکیب سرباره پس از فرآوری توسط روش های مختلف

Oxide	Wt. %				
	A	B	C	D	E
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	81.41	79.60	75.58	77.51	82.36
MgO	4.42	2.56	2.01	2.42	2.64
CaO	2.15	2.33	2.67	2.36	2.47
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.96	2.00	1.80	2.47	2.26
TiO <sub>2</sub>	0.32	0.09	0.04	0.06	0.07
SiO <sub>2</sub>	6.57	8.31	5.10	12.40	7.51
Na <sub>2</sub> O	2.47	0.27	0.17	0.74	0.28
K <sub>2</sub> O	0.45	0.60	0.62	0.45	0.37
SO <sub>3</sub>	0.15	0.12	0.14	0.01	0.04
L.O.I	0	0	10.51	0	0

این امر نشاندهنده تجزیه مواد موجود حاوی این اکسید همانند مونوهیدرات آلومینیوم (AlOOH)، تری هیدرات آلومینیوم [Al(OH)<sub>3</sub>] با مقادیر کمتر از ۵ درصد وزنی در ترکیب سرباره می باشد. این فازها در محدوده دمایی  $150^{\circ}\text{C}$  تا  $800^{\circ}\text{C}$  شروع به تجزیه و خروج مواد فرار می کنند و در هنگام کلسیناسیون به فاز کوراندوم تبدیل می شوند. این تبدیلات ضمن ایجاد کاهش وزن، شدت پیک های فاز کوراندوم را نیز افزایش می دهند. افزایش شدت پیک های کوراندوم عامل مهمی

خلوص مناسب دست یافت که یکی از محصولات فرعی این نوع روش فرآوری محسوب می شود.



شکل (۶): نتایج آنالیز فازی رسوب جمع آوری شده بدون انجام شستشو

اکسید آلومینیوم بصورت فاز کوراندوم یک ماده دیرگداز مناسب بوده و قابلیت استفاده در ساخت بسیاری از بدنه های دیرگداز را دارد. نتایج آنالیز فازی ارایه شده در شکل (۴) نشان می دهد که با افزایش دمای کلسیناسیون از  $1000^{\circ}\text{C}$  (D) به  $1250^{\circ}\text{C}$  (E) مقدار فاز کوراندوم ترکیب سربراره افزایش می یابد. این امر می تواند به دلیل تبدیل بیشتر فازهای حاوی اکسید آلومینیوم به فاز کوراندوم با افزایش دمای کلسیناسیون باشد. چگالی دانه های درشت ترکیب سربراره  $5\text{ mm}$  (۵-۳) پس از فرآوری با این روش در حد  $1$  تا  $1/3$  ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) تا اندازه گیری شد که نشان دهنده سبک وزن بودن دانه های ترکیب سربراره فرآوری شده می باشد. از دلایل سبک وزن شدن دانه ها می توان به خروج مواد فرار، آب و تبدیلات فازی اشاره کرد. با توجه به کاهش و حذف فازهایی با نقاط ذوب پایین در ترکیب سربراره می توان از ذرات آن در ساخت دیرگدازهای ریختنی عایق (سبک) با قابلیت کارکرد تا دمای  $1250^{\circ}\text{C}$  استفاده کرد.

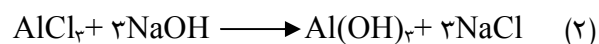
#### ۴- جمع بندی

بررسی های انجام شده در مورد سربراره آلومینیوم شرکت ایرالکو نشان داد که امکان فرآوری و استفاده از آن بعنوان یک ماده دیرگداز در ساخت مواد دیرگداز وجود دارد. در این ارتباط امکان استفاده از آن در ساخت دیرگدازهای ریختنی عایق بیشتر است. یکی از بزرگترین مشکلات اجرای این طرح وجود فازهایی با

می دهد که با انجام سنگجوری و خارج کردن قطعات سنگجوری شده، بخش عمده ای از فازهای نامطلوب که نقاط ذوب پایین مثل فلز آلومینیوم از ترکیب سربراره خارج می شوند ولی با توجه به شدت پیک ها همچنان مقدار فاز آلومینیوم فلزی در ترکیب بدنه بالا می باشد و می تواند مشکلاتی را در کاربرد سربراره بعنوان ماده دیرگداز ایجاد کند. به دلیل وجود مقدار نسبتاً بالای فاز آلومینیوم فلزی، باید از روش های شیمیایی همانند اسید شوئی جهت کاهش و حذف این فاز استفاده گردد. با توجه به نتایج آنالیز فازی شکل (۴) مشاهده می شود که شدت پیک های فاز آلومینیوم فلزی بعد از اسید شوئی (روش C) کاهش قابل ملاحظه ای پیدا کرده است. واکنش انجام شده بین آلومینیوم فلزی موجود در ترکیب سربراره و محلول اسیدی را می توان بصورت زیر در نظر گرفت:



با کنترل نحوه مخلوط کردن و زمان آن می توان اکثر آلومینیوم موجود در ترکیب سربراره را با تشکیل ترکیب  $\text{AlCl}_3$  از سربراره جدا نمود. ترکیب  $\text{AlCl}_3$  محلول در آب بوده و با شستشو و صاف کردن می توان سربراره را از آن جدا نمود. در صورت اضافه کردن محلول  $\text{NaOH}$  (0.5 N) به محلول حاوی  $\text{AlCl}_3$  طبق واکنش زیر رسوب هیدروکسید آلومینیوم و نمک طعام (هالیت) تشکیل می شود:



رسوب هیدروکسید آلومینیوم تشکیل شده را با شستشوی مناسب با آب و صاف کردن می توان از بقیه محلول جدا نمود. در شکل (۶) نتایج آنالیز فازی رسوب جمع آوری شده بدون انجام شستشو ارایه شده است.

با توجه به نتایج شکل (۶) مشخص می شود که فاز عمده رسوب حاصل، نمک طعام کریستالی یا هالیت (Halite) است. علاوه بر نمک فاز گیبسیت نیز وجود دارند. این فاز قابلیت تبدیل به اکسید آلومینیوم (بصورت کوراندوم) را با حرارت دادن در دماهای بالا دارد. بنابراین با شستشوی مناسب و سپس حرارت دادن و کلسینه کردن رسوب می توان به اکسید آلومینیوم با

[7] S.I. Pavlenko, L.P. Ni, (1999), "Development of Technology for Separation of Aluminum Oxide from Ash and Slag of Kuzbass Thermal Power Plants", *the R'99 Congress (Recovery, Recycling, Re-integration)*, 430-433.

[8] Y. Xiao, M. Reuter, (2005), "Aluminum recycling and environmental issues of salt slag treatment" *Journal of Environmental Science and Health*, 40, No. 10, 1861-75.

[9] M. Reuter, Y. Xiao, (2004), "Recycling and environmental issues of metallurgical slags and salt", *Inter. Conf. on Molten Slags and Fluxes*, Cape Town, S. Africa, 318-321.

[10] H. Shen, E. Forssberg, (2003), "An overview of recovery of metals from slags", *Waste Management*, 23, No. 10, 933-949.

[11] D. A. Pereira, B. de Aguiar, F. Castro, M. F. Almeida, J. A. Labrincha, (2000), "Mechanical behavior of Portland cement mortars with incorporation of Al-containing salt slags", *Cement and Concrete Research*, 30, No. 7, 1131-1138.

[12] B.R. Das, B. Dash, B.C. Tripathy, I.N. Bhattacharya, S.C. Das, (2007), "Production of g-alumina from waste aluminum dross", *Minerals Engineering*, 20, 252-258.

[13] A. L. Delgado, H. Tayibi, C. Pérez, F. J. Alguacil, F. A. López, (2009), "A hazardous waste from secondary aluminum metallurgy as a new raw material for calcium aluminate glasses", *Journal of Hazardous Materials*, 165, No. 1-3, 180-186.

[14] J. Yang, D. Zhang, J. Hou, B. He, B. Xiao, (2008), "Preparation of glass-ceramics from red mud in the aluminum industries", *Ceramics International*, 34, No. 1, 125-130.

[15] E.M.M. Ewais, N.M. Khalil, M.S. Amin, Y.M.Z. Ahmed, M.A. Barakat, (2009), "Utilization of aluminum sludge and aluminum slag (dross) for the manufacture of calcium aluminate cement", *Ceramics International*, 35, No. 8, 3381-3388.

[16] H. N Yoshimura, A. P. Abreu, A. L. Molisani, "Evaluation of aluminum dross waste as raw material for refractories",

نقطه ذوب پایین است که باید به آنها توجه نمود و در حد امکان آنها را حذف کرد. روش مناسب برای فرآوری سرباره مورد استفاده شامل سنگجوری و الک کردن، اسید شوئی و کلسیناسیون در دماهای بالاتر از  $^{\circ}\text{C}$  ۱۲۵۰ می باشد. با استفاده از روش فرآوری ذکر شده فازهایی با نقاط ذوب پایین بطور قابل ملاحظه ای از ترکیب سرباره حذف می شوند و یا مقدار آنها کاهش قابل ملاحظه ای پیدا می کند. با حذف و یا کاهش این فازها، ترکیب سرباره به یک ماده دیرگداز با چگالی در حد  $(\text{g}/\text{cm}^3)$  ۱ تا  $1/3$  و قابلیت کارکرد تا دمای  $^{\circ}\text{C}$  ۱۲۵۰ تبدیل می شود. همچنین در روش فرآوری بکار رفته، اکسید آلومینیوم نیز بعنوان یک محصول فرعی می تواند تشکیل گردد.

## مراجع

[1] M. Garcia-Valles, G. Avila, S. Martinez, (2008), "Acoustic barriers obtained from industrial wastes", *Chemosphere*, 72, 1098-1102.

[2] A. Binnaz, Y. Hazar, M. N. Saridede, M. Çiğdem, (2005), "A study on the structural analysis of aluminum drosses and processing of industrial aluminum salty slags", *Scandinavian Journal of Metallurgy*, 34, No. 3, 213-216.

[3] L. Holappa, Y. Xiao, (2004), "Slags in ferroalloys production – review of present knowledge", *Inter. Conf. on Molten Slags and Fluxes*, Cape Town, S. Africa, 411-415.

[4] G. Laue, D. Herrmann, M. Möder, R. Herzsuh, (2004), "Analysis of slags and filter dusts from aluminum recycling processes", *Cement and Concrete Research*, 42, No. 2, 99-120.

[5] F. A. Lopez, E. Sainz, A. Formoso, (1994), "The Recovery of Alumina from Salt Slags in Aluminum Remelting", *Canadian Metallurgical Quarterly*, 33, No. 1, 29-33.

[6] A. Agrawal, K. K. Sahu, B. D. Pandey, (2004), "Solid waste management in non-ferrous industries in India", *Resources, Conservation & Recycling*, 42, No. 2, 99-120.



[19] E.D. Sehnke, (1993), "Refractory-grade bauxite: an overview", *Proceedings of the UNITECR*, ALAFAR São Paulo, Brazil, 658–670.

*Ceramic International*, 34, 581-591.

[17] Z. Vojtek, P. Smatelka, V. Vesely, (2006), "Industrial Utilization of Aluminum Skimming Dust Fractions", *Acta Metallurgical Slovaca*, 12, 430-435.

[18] L. Jinping, H. Haobo, G. Jinhua, (2007), "Extraction of Aluminum and Iron from Boiler Slag by Sulfuric Acid", *Wuhan University Journal of National Sciences*, 12, 541-547.

## A Suitable Method for Recycling Aluminum Slag to Turn it into a refractory material

Hossein Badiee<sup>1</sup>, Sasan Otroj<sup>2</sup>, Mohammad Reza Saeri<sup>2</sup>

1. Assistant Professor of Material Engineering, Islamic Azad University-Maybod Branch.

2 Assistant Professor of Material Engineering, University of Shahrekord.

---

### ARTICLE INFO

---

#### Article history :

Received 15 September 2008

Received in revised form 19 April 2010

Accepted 21 June 2010

---

#### Keywords:

Recycling  
Aluminum Slag  
Leaching  
Calcination  
Refractory

---

### ABSTRACT

Different methods for recycling aluminum slag have been used and the best method for turning it into refractory material is presented. The results show that the best method for recycling aluminum slag includes; grinding, sorting and sieving, leaching and calcination of aluminum slag at temperature higher than 1250 °C. By use of a suitable method, low melting point phases such as aluminum in slag composition are decreased or deleted. Efficiency of this procedure is approved by chemical and phase analyzes. Such a procedure for recycling aluminum slag is enables protection of environment together with using slag as refractory material for lightweight castables. Also, aluminum oxide as secondary product of this method can be obtained.

---

All rights reserved.