

بازیابی وانادیوم از سرباره کنورتور فولادسازی به روش تشویه نمکی

محمد شیخ شتابافقی

دانشیار دانشکده مهندسی مواد و متالورژی - دانشگاه علم و صنعت ایران

محمدرضا ابوطالبی

دانشیار دانشکده مهندسی مواد و متالورژی - دانشگاه علم و صنعت ایران

امیرحسین امامی

دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی مواد و متالورژی - دانشگاه علم و صنعت ایران

(تاریخ دریافت ۸۳/۳/۲، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۴/۵/۱، تاریخ تصویب ۸۴/۷/۱۶)

چکیده

با توجه به عدم مشاهده منبع اولیه وانادیوم در ایران، مطالعه و بررسی استحصال وانادیوم از سرباره کنورتور فولادسازی ذوب آهن اصفهان به عنوان بزرگترین منبع ثانویه وانادیوم از اهمیت خاصی برخوردار است. در تحقیق حاضر بازیافت پنتوکسیدوانادیوم از سرباره کنورتور به روش پیرو - هیدرومتالورژیکی (تشویه نمکی و انحلال در آب داغ) مورد بررسی قرار گرفته است. جهت دستیابی به یک روش بهینه تشویه نمکی، تأثیر عواملی مانند دما و زمان تشویه، نوع و میزان نمک مصرفی، اندازه پودر سرباره، اتمسفر تشویه و چگونگی سرد کردن محصولات تشویه بر بازده استحصال اکسید وانادیوم مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور، سرباره پودر شده به همراه کربنات سدیم، به صورت گندله درآمده، در شرایط معین مورد تشویه نمکی قرار گرفت و سپس محصول تشویه، مورد عملیات حل سازی آبی واقع گردید. میزان وانادیوم حل شده در آب که به روش اسپکتروفوتومتری مشخص گردید، معیار میزان بازدهی عملیات تشویه در نظر گرفته شده است. نتایج بدست آمده، حاکی از حدود ۸۵ درصد بازدهی در شرایط بهینه می باشد. بعلاوه، مطالعات ساختارشناسی مواد اولیه و محصولات تشویه، حضور وانادیوم در سرباره خام به صورت پنج ظرفیتی را تایید نمود. بنابراین، در صورت استفاده از کربنات سدیم برای تشویه نمکی، نیاز به محیط اکسیدان نخواهد بود.

واژه های کلیدی: بازیابی، پنتوکسید وانادیوم، تشویه نمکی، انحلال، سرباره کنورتور

مقدمه

وانادیوم در پوسته زمین با عیار متوسط ۱۵۰ گرم در تن وجود دارد و مقدار آن بسیار قابل ملاحظه است، به طوری که بسیار فراوان تر از عناصری مانند مس و نیکل می باشد [۱]. با این وجود وانادیوم به دلیل خواص ویژه شیمیایی خود، به صورت کانسنگ های مستقل دیده نمی شود بلکه همراه اکسیدهای دیگر به خصوص اکسید آهن مشاهده شده است. زمین شناسان محاسبه کرده اند که حدود نیمی از وانادیوم موجود در پوسته زمین با اکسید آهن همراه است. فرآیندهای استخراج وانادیوم اساساً به دو دسته هیدرومتالورژیکی و پیرو - هیدرومتالورژیکی تقسیم می شود که روش اول به نوبه خود شامل دو گروه اسیدی و بازی می باشد. در حل سازی اسیدی، ماده مورد نظر برای حل کردن وانادیوم موجود در کانه، یک اسید است. ترکیبات معدنی وانادیوم به دلیل حلالیت پایینی که در اسیدهای صنعتی دارند، نمی توانند با روش حل کردن در

وانادیوم در پوسته زمین با عیار متوسط ۱۵۰ گرم در تن وجود دارد و مقدار آن بسیار قابل ملاحظه است، به طوری که بسیار فراوان تر از عناصری مانند مس و نیکل می باشد [۱]. با این وجود وانادیوم به دلیل خواص ویژه شیمیایی خود، به صورت کانسنگ های مستقل دیده نمی شود بلکه همراه اکسیدهای دیگر به خصوص اکسید آهن مشاهده شده است. زمین شناسان محاسبه کرده اند که حدود نیمی از وانادیوم موجود در پوسته زمین با اکسید آهن همراه است.

فرآیندهای استخراج وانادیوم اساساً به دو دسته هیدرومتالورژیکی و پیرو - هیدرومتالورژیکی تقسیم می شود که روش اول به نوبه خود شامل دو گروه اسیدی و بازی می باشد. در حل سازی اسیدی، ماده مورد نظر برای حل کردن وانادیوم موجود در کانه، یک اسید است. ترکیبات معدنی وانادیوم به دلیل حلالیت پایینی که در اسیدهای صنعتی دارند، نمی توانند با روش حل کردن در

حل نمی‌شوند و از این نظر ترکیبات پایدار هستند [۳]. برخی محققان، کربنات سدیم را برای تشویه کانی‌های وانادیوم مناسب نمی‌دانند و دلیل آنرا تشکیل ترکیبات سدیم با سیلیس، فسفر و آلومینیوم می‌دانند که مانع بازیابی مطلوب وانادیوم از محلول می‌شود [۴].

با توجه به درصد قابل ملاحظه وانادیوم در سرباره کنورتور فولاد سازی و حجم زیاد سرباره تولیدی [۳] و همچنین با عنایت به اثرات مضر زیست محیطی وانادیوم [۲]، تحقیق حاضر برای بازیابی وانادیوم از سرباره کنورتور فولادسازی ذوب آهن اصفهان انجام شده است. برای این منظور از کربنات سدیم به عنوان عامل تشویه نمکی استفاده شده و تأثیر عوامل مختلف بر بهره استخراج وانادیوم از سرباره برای تعیین شرایط بهینه، بررسی شده است.

روش تحقیق

الف) مواد مورد استفاده

- سرباره کنورتور فولادسازی ذوب آهن اصفهان

این سرباره به صورت کلوخه بوده که پس از آسیا شدن با آسیای سایشی تا $246 \mu\text{m}$ -، مورد استفاده قرار گرفت. درصد V_2O_5 موجود در سرباره به روش ICP اندازه‌گیری شد که نتیجه این آنالیز، حاکی از ۱/۹۶ درصد وزنی V_2O_5 در سرباره می‌باشد. آنالیز عنصری سرباره کنورتور به روش XRF (نیمه کمی) نیز انجام گردید که نتایج این آنالیز به صورت زیر است:

$12/9\% \text{Fe}_2\text{O}_3$ ، $11/8\% \text{MnO}$

$1/4\% \text{Al}_2\text{O}_3$ ، $58\% \text{CaO}$ ، $10/7\% \text{SiO}_2$

$2/1\% \text{TiO}_2$ ، $1/4\% \text{V}_2\text{O}_5$ ، $1/8\% \text{P}_2\text{O}_5$

- عامل تشویه

از کربنات سدیم تجاری (خلوص حدود ۹۸ درصد)

به عنوان عامل تشویه استفاده شد

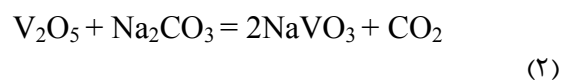
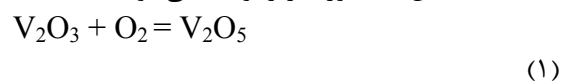
ب) روش انجام آزمایش‌ها

- ساختار شناسی

در این بخش هدف، شناخت رفتار وانادیوم در هنگام

تشویه نمکی می‌باشد. بدین منظور ابتدا ترکیب عنصری

قرار می‌گیرند. مهمترین عملیات پیرومتالورژیکی که برای استخراج وانادیوم از کانه‌ها و منابع وانادیوم‌دار به کار می‌رود، تشویه نمکی است. ترکیبات سدیم به علت ایجاد کمپلکس‌های مختلف با وانادیوم و نیز حلالیت زیاد این ترکیبات در آب، در متالورژی استخراجی وانادیوم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند و در این میان، کربنات سدیم و کلرید سدیم کاربرد بیشتری پیدا کرده‌اند. هر چند نمک‌های اسیدی مانند سولفات سدیم نیز در بعضی موارد به کار رفته‌اند اما با توجه به دلایلی چون نقطه ذوب بالای مخلوط کانه و نمک ($1400-850^\circ \text{C}$) و نیز آزاد شدن ترکیبات گوگردی و واکنش وانادیوم با این ترکیبات و در نتیجه کاهش راندمان استخراج، استفاده از آن محدود شده است [۳]. برای تولید یک ترکیب محلول در آب یعنی وانادات پنج ظرفیتی، عامل اکسیداسیون نیز لازم است واکنش‌های تشویه در مورد کربنات سدیم (در محیط اکسیدان) به صورت زیر نوشته می‌شوند [۴]:



از میان دو نمک کلرید سدیم و کربنات سدیم، امروزه کربنات سدیم دارای مقبولیت بیشتری است. دلیل این امر آن است که اولاً دمای تعادلی برای تشکیل کمپلکس‌های وانادیوم - سدیم در اثر واکنش با کلرید سدیم از کربنات سدیم بیشتر است و ثانیاً میزان اختلاف انرژی آزاد تشکیل کمپلکس‌های وانادیوم با اکسیدهای دیگر در هنگام واکنش با کربنات، بیشتر از این مقدار هنگام واکنش با کلرید سدیم است. بنابراین، با استفاده از کربنات سدیم می‌توان به صورت انتخابی، فقط اکسید وانادیوم را وارد واکنش کرد بدون اینکه اکسیدهای دیگر به میزان قابل ملاحظه‌ای واکنش انجام دهند [۳]. موارد مذکور از طریق بررسی‌های مربوط به تغییرات انرژی آزاد واکنش‌های محتمل، تایید شده است [۵].

ذکر این نکته هم دارای اهمیت است که اگر از کلرید سدیم به عنوان عامل تشویه کننده استفاده شود، یکی از محصولات تشویه، گاز کلر یا اسید کلریدریک است و این گازها می‌توانند در اثر واکنش با وانادیوم و ایجاد ترکیبات کلریدی، باعث افت راندمان استخراج شوند، چرا که ترکیبات کلریدی وانادیوم در حلال‌های معمولی به راحتی

یکسان، با مصرف کلرید سدیم، کمترین بازدهی و با کربنات سدیم، بیشترین راندمان بدست می‌آید. خاصیت بازی کربنات سدیم که سبب می‌شود تا با اکسیدهای وانادیوم که خاصیت اسیدی دارند واکنش دهد و توانایی این ماده برای انهدام ساختار اسپینلی مگنتیت که برخی مراجع قایل به محبوس شدن وانادیوم در ساختار آن هستند، می‌تواند از جمله دلایل بالا بودن بازده فرآیند تشویه با این نمک باشد. همچنین دمای نسبتاً پایین واکنش تشویه با کربنات سدیم و امکان تشویه انتخابی وانادیوم با کربنات سدیم نیز می‌تواند در بالا بردن راندمان تشویه مؤثر باشد [۷].

تعیین دما و زمان بهینه تشویه

عملیات تشویه بر روی گندله‌های ساخته شده در یک بازه دمایی ۶۵۰ تا ۹۰۰ °C انجام شد که نتایج آن در شکل ۱ نشان داده شده و حاکی از دمای بهینه‌ای برابر با ۸۵۰ °C می‌باشد. همان‌طور که انتظار می‌رود، از ۶۵۰ تا ۸۵۰ °C بازده افزایش پیدا می‌کند. از آنجا که با افزایش دما، انرژی آزاد واکنش تشویه کاهش می‌یابد [۴]، افزایش دما شرایط ترمودینامیکی مطلوب‌تری را برای انجام واکنش فراهم نموده، باعث افزایش بازده تشویه می‌شود. از نظر سینتیکی نیز با افزایش دما، سرعت انجام واکنش‌های شیمیایی افزایش می‌یابد. این حساسیت به افزایش دما را می‌توان به عنوان نشانه‌ای مبنی بر کنترل شدن فرآیند با واکنش‌های شیمیایی در نظر گرفت. کاهش بازده تشویه در دماهای بالاتر از ۸۵۰ °C (۹۰۰) را می‌توان به دو علت زیر مربوط دانست:

- مستعد شدن شرایط ترمودینامیکی جهت انجام واکنش کربنات سدیم با ترکیبات دیگری در سرباره. به‌عنوان مثال، واکنش کربنات سدیم با هماتیت را می‌توان نام برد که در دمای حدود ۸۳۰ °C امکان‌پذیر می‌شود [۴].

- کاهش پایداری اکسیدهای وانادیوم با ظرفیت بالا و امکان احیای وانادیوم به ظرفیت‌های کمتر از پنج که در آب نامحلول هستند [۸].

هر دو مورد فوق می‌توانند توأمآ دلیل کاهش بازده در دمای ۹۰۰ °C باشند. در هر حال به نظر می‌رسد، علت این امر، امکان‌پذیری ترمودینامیکی یک یا چند واکنش مضر برای تشویه باشد.

سرباره به روش فلورسانس اشعه ایکس (XRF) شناسایی شد. سپس با استفاده از روش پراش اشعه ایکس (XRD) فازهای اصلی سرباره قبل و بعد از تشویه پیش‌بینی گردید.

- بررسی تاثیر پارامترهای فرآیند تشویه نمکی بر بازده استحصال وانادیوم

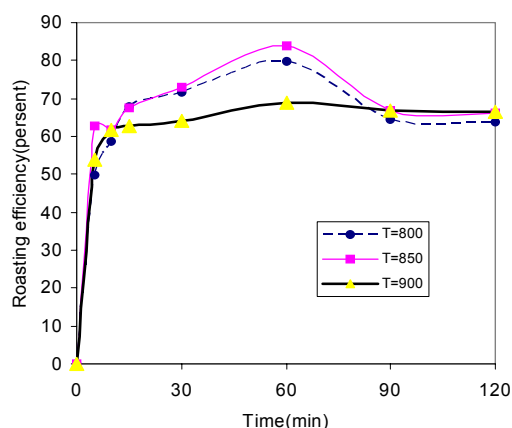
برای این منظور، ابتدا سرباره با دانه بندی مشخص همراه با کربنات سدیم به مدت ۲ ساعت در یک محفظه استوانه‌ای به‌علاوه سه گلوله آلومینایی با قطر تقریبی ۳ سانتی‌متر و دو گلوله با قطر تقریبی ۲ سانتی‌متر مخلوط شدند. سپس، از این مخلوط با اضافه کردن آب مقطر گندله‌هایی به وزن تقریبی ۵ گرم به‌صورت دست‌ساز تهیه شد. گندله‌ها پس از خشک شدن و توزین، درون بوته‌های فولادی قرار داده‌شده، به کوره الکتریکی موفلی (در مورد آزمایش تاثیر اتمسفر تشویه، به کوره لوله‌ای با اتمسفر کنترل شده) منتقل و برای زمان معین در کوره نگهداری شد. نمونه‌ها پس از خروج از کوره، درون هاون چینی نرم شده و درون ۲۰۰ cc آب مقطر در یک ارلن ۶۰۰ cc در دمای ۹۰-۸۵ °C به مدت ۱ ساعت تحت حل‌سازی قرار گرفتند. این عمل با یک گرم کننده و همزننده مغناطیسی انجام شد و دوغاب با سرعتی متوسط هم زده می‌شد. پس از اتمام زمان حل‌سازی، دوغاب حاصل فیلتر شده، محلول زیر کاغذ صافی پس از رساندن به حجم معین، با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتری جهت تعیین وانادیوم حل شده، مورد آنالیز قرار گرفت.

نتایج و بحث

الف) عوامل مؤثر بر بازده تشویه نمکی

انتخاب نمک مناسب

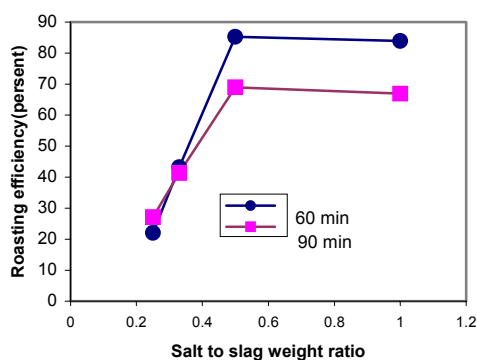
با توجه به سوابق موجود در زمینه عملکرد انواع نمک‌ها در فرآیند تشویه [۶]، مناسب‌ترین نمک برای فرآیند تشویه نمکی سرباره کنورتور، کربنات سدیم در نظر گرفته شد. انجام برخی آزمایش‌های مقدماتی با استفاده از نمک‌های مختلف و مقایسه نتایج بازیابی نیز، مؤید کارایی مناسب‌تر کربنات سدیم بود. در این آزمایش‌های مقدماتی از نمک‌های NaCl، Na₂CO₃ و Na₂SO₄ به صورت تنها و همچنین به صورت مخلوط‌های دوتایی استفاده شد. مقایسه نتایج آزمایش‌های اولیه نشان داد که در شرایط



شکل ۲: بازده تشویه بر حسب زمان در دماهای مختلف نسبت وزنی نمک به سربراره: ۱، دانه بندی $246 \mu\text{m}$ -.

تعیین نسبت بهینه نمک به سربراره

نتایج حاصل از این آزمایش در دو زمان ۶۰ و ۹۰ دقیقه در شکل (۳) نشان دهنده نسبت بهینه وزنی برابر با ۰/۵ است و با افزایش این نسبت به بالاتر از ۰/۵، افزایشی در بازده تشویه مشاهده نمی‌گردد. در این شکل دیده می‌شود که با افزایش نسبت وزن نمک به سربراره از ۰/۲۵ تا ۰/۵، بازده تشویه افزایش می‌یابد در حالی که با افزایش این نسبت تا ۱، افزایشی در بازده مشاهده نمی‌شود. این رفتار را این گونه می‌توان توضیح داد که هرچه نسبت وزنی نمک به سربراره افزوده شود، میزان تماس ذرات نمک با ذرات سربراره افزوده می‌گردد و این افزایش تا نسبت ۰/۵ ادامه می‌یابد. در این جا احتمالاً تمام ذرات سربراره با ذرات نمک پوشانیده می‌شوند و با افزایش بیشتر نسبت نمک به سربراره، ذرات جدید نمک با ذرات نمک در تماس خواهند بود نه با ذرات سربراره و بنابراین تاثیری در افزایش بازده تشویه نخواهند داشت.

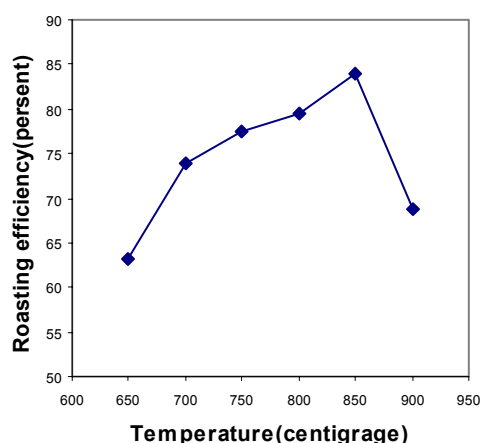


شکل ۳: بازده تشویه بر حسب نسبت نمک به سربراره در دو زمان مختلف دمای تشویه: 850°C ، دانه بندی: $246 \mu\text{m}$ -.

تأثیر دما بر منحنی سرعت واکنش تشویه در شکل (۲) آورده شده است. همان گونه که انتظار می‌رود، سرعت تشویه در اوایل عملیات در هر سه دما بالا بوده و سپس با افزایش زمان عملیات کاهش می‌یابد. بازده تشویه پس از عبور از یک ماکزیمم که معادل ۶۰ دقیقه است، افت نموده و سپس ثابت می‌شود. علت این کاهش به تشکیل پیرووانادات کلسیم که حلالیت آن بسیار کمتر از وانادات‌های سدیم است، نسبت داده شده است [۹]. همچنین، دلیل دیگری که در این زمینه می‌تواند مدنظر قرار گیرد، تشکیل وانادات‌های دیگر (مانند پیرووانادات سدیم) است:

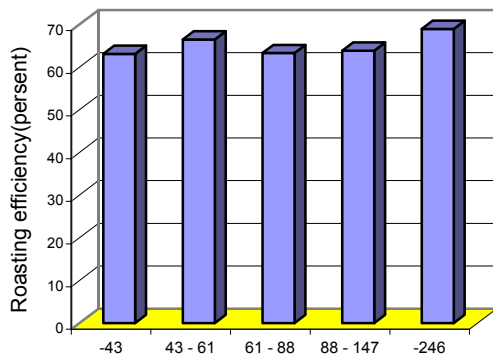


حلالیت سایر وانادات‌های سدیم در آب از متوانادات سدیم کمتر است. همچنین، انرژی آزاد تشکیل متوانادات سدیم از سایر وانادات‌های سدیم کمتر است [۳]. بنابراین، می‌توان گفت که احتمالاً زمان صفر تا ۶۰ دقیقه، غلبه با تشکیل متوانادات سدیم است و از این زمان به بعد، اکتیویته متوانادات در مخلوط به حدی رسیده که واکنش تشکیل سایر وانادات‌ها، امکان پذیر شده است. در مورد کاهش عمده و قابل توجه بازده در 900°C قبلاً بحث شد. در مورد کاهش نیافتن بازده پس از ۶۰ دقیقه در این دما می‌توان گفت که احتمالاً واکنش‌های مضر اصولاً از رسیدن اکتیویته متوانادات به حدی که انجام واکنش‌های تشکیل سایر وانادات‌ها امکان پذیر شود، جلوگیری می‌کند.

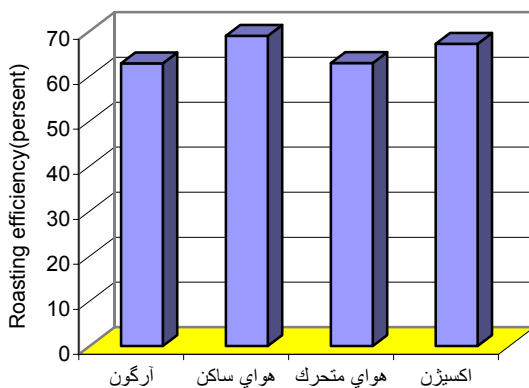


شکل ۴: بازده تشویه بر حسب تغییرات دمای تشویه زمان تشویه: ۱ ساعت، نسبت وزنی نمک به سربراره: ۱، دانه بندی: $246 \mu\text{m}$ -.

به وسیله فرآیند نفوذ باشد. این یافته با تاثیر پذیری شدید بازده از دما که نشانه کنترل شدن فرآیند با واکنش‌های شیمیایی است، سازگاری دارد.



شکل ۵: بازده تشویه در اندازه‌های مختلف سرباره زمان تشویه: ۹۰ دقیقه، دمای تشویه: ۸۵۰ °C، نسبت وزنی نمک به سرباره: ۰/۵.



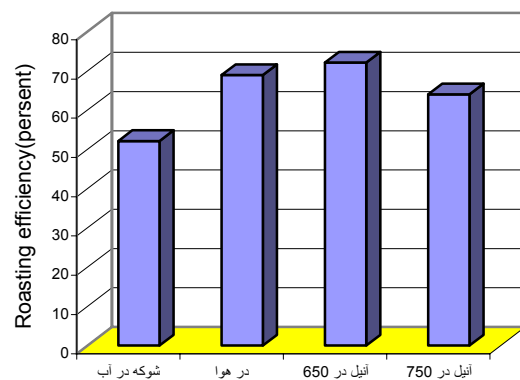
شکل ۶: بازده تشویه در اتمسفرهای مختلف تشویه زمان تشویه: ۹۰ دقیقه، دمای تشویه: ۸۵۰ °C، نسبت وزنی نمک به سرباره: ۰/۵، دانه بندی: ۲۴۶ μm.

تاثیر اتمسفر تشویه

برای انجام این آزمایش از کوره لوله‌ای تحت اتمسفر کنترل شده استفاده گردید. دبی گاز عبوری از روی گندله ۱ لیتر بر دقیقه و ترکیب گاز آرگون مورد استفاده به صورت ۹۹/۹۹٪ Ar، ۲ ppm O₂ و ۳ ppm H₂O بود. نتایج این آزمایش نیز بیاتگر عدم تاثیر قابل ملاحظه این عامل بر بازده تشویه می‌باشد و در شکل (۶) ارایه گردیده است. عدم تاثیر اتمسفر تشویه بر بازده آن، می‌تواند به این معنی باشد که ترکیبات وانادیوم موجود در سرباره در حالت پنج ظرفیتی بوده و برای اکسید شدن نیازی به اکسیژن ندارند. این موضوع مورد انتظار نیز

تاثیر چگونگی سرد کردن محصولات تشویه

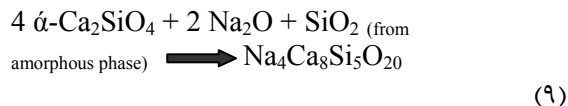
در این آزمایش چهار گونه عملیات سرد کردن پس از تشویه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این آزمایش که در شکل (۴) مشاهده می‌گردد، حاکی از عدم تاثیر قابل توجه عملیات آنیل کردن در بازده تشویه و تاثیر محسوس شوکه کردن محصولات تشویه در آب در کاهش بازده می‌باشد. برای انجام عملیات آنیل کردن، گندله‌ها پس از تشویه، بلافاصله از کوره تشویه خارج گردیده و در کوره دیگری که برای آنیل کردن در نظر گرفته شده بود، در دمای مشخص و زمان ۱۰ دقیقه قرار داده شدند. کاهش بازده پس از شوکه کردن در آب، به تشکیل فازهای شیشه‌ای نامحلول در آب که حاوی وانادیوم می‌باشند، نسبت داده شده است. در واقع، هنگام فرآیند تشویه نمکی، مذابی حاوی اکسیدهای سدیم، کلسیم، سیلیسیم و تیتانیوم ایجاد می‌شود. اگر این مذاب به سرعت سرد شود، یک فاز شیشه‌ای نامحلول در آب را نتیجه می‌دهد که وانادیوم در ساختار اکسید کلسیم آن محبوس می‌شود اما اگر مذاب به آرامی سرد شود، فازهای بلورین آن از هم جدا می‌شوند و ترکیبات وانادیوم در کنار ساختار اکسید سیلیسیم قرار می‌گیرند [۱۰].



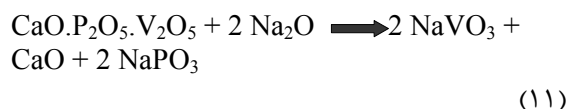
شکل ۴: بازده تشویه در روش‌های مختلف سرد کردن محصولات تشویه زمان تشویه: ۹۰ دقیقه، دمای تشویه: ۸۵۰ °C، نسبت وزنی نمک به سرباره: ۰/۵، دانه بندی: ۲۴۶ μm.

تاثیر اندازه دانه ذرات سرباره

نتایج این آزمایش در شکل (۵) مشاهده می‌شود. این شکل حاکی از عدم تاثیر چشمگیر دانه‌بندی بر بازده تشویه می‌باشد. عدم تاثیر قابل توجه دانه بندی ذرات بر بازده تشویه می‌تواند نشانه عدم کنترل واکنش‌های تشویه



در مورد واکنش‌های تشویق و انادیوم، می‌توان آن‌ها را به صورت زیر پیش‌بینی کرد [۱۳]:



CaO حاصل از این واکنش‌ها، احتمالاً در واکنش‌های قبلی مصرف می‌شود. در مورد اکسید فسفر، یافته‌های برخی از محققین حاکی از تبدیل آن به فسفات سدیم می‌باشد که این ترکیب به عنوان عامل کاهش دهنده بازده در مرحله حل‌سازی عمل می‌کند [۶]. در برخی مقالات از فسفر به عنوان مضرترین ناخالصی در مرحله رسوب دادن ترکیبات و انادیوم یاد می‌کنند. در این‌جا فسفر سبب کاهش تمایل به رسوب و انادیوم و در نتیجه، کاهش بازده این مرحله شود [۱۴].

نتیجه‌گیری

- سرباره کنورتور فولادسازی ذوب آهن اصفهان دارای مقادیر قابل ملاحظه‌ای و انادیوم می‌باشد. با توجه به حجم زیاد سرباره انبار شده فعلی و نیز میزان تولید بالای آن، بررسی بازیابی و انادیوم از این ماده، هم به لحاظ اقتصادی و هم از نظر زیست محیطی ضروری می‌باشد.
- تحت شرایط بهینه بدست آمده در این تحقیق، بازیابی حدود ۸۵ درصد از و انادیوم سرباره در مرحله تشویق میسر شد.
- شرایط بهینه تشویق برای مخلوط گندله شده سرباره و نمک کربنات سدیم عبارت است از: دمای 850°C ، زمان ۶۰ دقیقه، نسبت نمک به سرباره ۰/۵، اتمسفر هوای ساکن و سرد کردن محصولات تشویق در هوا.
- و انادیوم در سرباره کنورتور فولادسازی به صورت پنج ظرفیتی موجود است. بنابراین، اگر نمک مورد استفاده، کربنات سدیم باشد، احتیاجی به تشویق اکسیدان و استفاده از مواد اکسید کننده نمی‌باشد.

هست چراکه شرایط اکسایش در کنورتور بسیار شدید است و قاعدتاً ترکیبات اکسیدی باید با ظرفیت‌های بالای خود در سرباره موجود باشند. همچنین مشاهده شده است که اکسید سدیم، ظرفیت‌های بالاتر و انادیوم را پایدار می‌کند [۱۱].

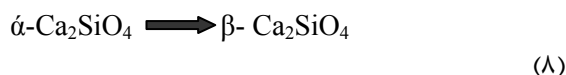
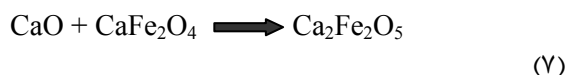
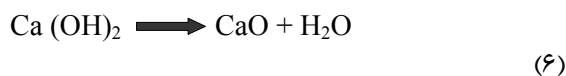
ب) ساختار شناسی

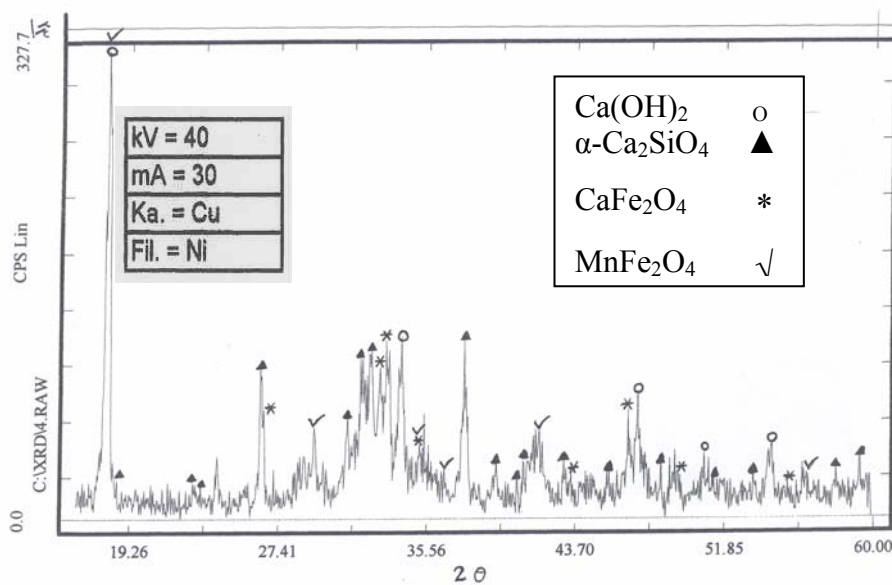
- بررسی فازی سرباره کنورتور به روش XRD

شکل (۷) نشان‌دهنده نتایج این آنالیز می‌باشد. فازهای شناسایی شده عبارتند از: $\alpha\text{-Ca(OH)}_2$ ، CaFe_2O_4 ، Ca_2SiO_4 ، MnFe_2O_4 . مشاهده این فازها در تطابق با نتایج بررسی SEM می‌باشد. همچنین وجود تپه‌هایی در زمینه طیف، حاکی از وجود فازهای آمورف در ساختار سرباره می‌باشد که این امر مورد انتظار نیز هست چراکه سرباره کنورتور حاوی SiO_2 است که ماده اصلی شیشه را تشکیل می‌دهد [۱۲]. همچنین وجود دو فاز CaFe_2O_4 ($\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) و MnFe_2O_4 ($\text{MnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$)، نشان‌دهنده شرایط بسیار قوی اکسیدی در فرآیند فولادسازی است که باعث شده است آهن با بالاترین ظرفیت اکسید شود. بنابراین، منطقی به نظر می‌رسد که و انادیوم نیز در این شرایط با بالاترین ظرفیت خود اکسید شده باشد.

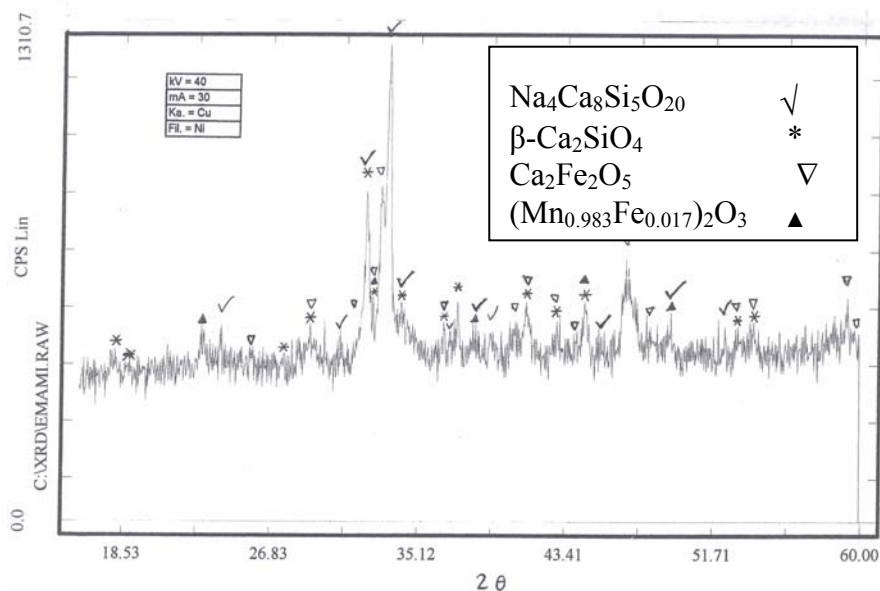
- بررسی فازی سرباره تشویق شده به روش XRD

شکل (۸) نشان‌دهنده نتایج این بررسی می‌باشد. فازهای شناسایی شده عبارتند از $\beta\text{-Na}_4\text{Ca}_8\text{Si}_5\text{O}_{20}$ ، $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ ، Ca_2SiO_4 ، $(\text{Mn}_{0.983}\text{Fe}_{0.017})_2\text{O}_3$. چنانچه به زمینه این طیف دقت شود، مشاهده می‌گردد که نسبت به زمینه الگوی پراش برای سرباره خام، به شدت بالا آمده است. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده به وجود آمدن مقادیر زیادی فاز آمورف در ساختار محصولات تشویق باشد. با توجه به نتایج آنالیز فازی XRD برای سرباره خام و سرباره تشویق شده می‌توان واکنش بین فازهای اصلی هنگام فرآیند تشویق را به صورت زیر حدس زد:





شکل ۷: الگوی پراش پرتو ایکس برای سرباره خام.



شکل ۸: الگوی پراش پرتو ایکس برای سرباره تشویه شده.

مراجع

- 1 - Habashi, F. (1997). *Handbook of Extractive Metallurgy*. Wiley -VCH.
- 2 - Gupta, C. K. andd Krishnamurthy, N. (1992). *Extractive Metallurgy of Vanadium*. Elsevier Sciece Pablishers.
- ۳- صفرنورا... م. "بررسی رفتار وانادیوم در خاکستر سوخت و امکان بازیابی اکسید وانادیوم از خاکستر." پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، (۱۳۷۵).
- 4 - Burwell, B. (1961). "Extractive metallurgy of vanadium." *JOM*, PP. 562-6.
- 5 - Silva, F. T. and Ogasawara, T. (1993). "Salt roasting-water leaching of complex vanadium ores: a thermodynamic approach." *Transaction-Institute of Mining and Metallurgy, Sec.C*, Vol. 102, PP. 184 -7.
- ۶ - افلاکی، ع. "تحقیق روی پارامترهای مؤثر در بازیابی ترکیبات وانادیومی از سرباره." پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، (۱۳۷۴).

- 7 - Mittelstadt, R. and Schwerdtfeger, K. (1990). "The dependence of the oxidation state of vanadium on the oxygen pressure in melts of VO_x , Na_2O-VO_x and $CaO-SiO_2-VO_x$." *Met. Trans. B*, Vol. 21B, No. 1, PP. 111-20.
- ۸ - پاکزاد، ا. "فولاد سازی." مرکز نشر دانشگاهی، (۱۳۶۲).
- 9 - Goddard, J. B. and Fox, J. S. (1981). "Salt roasting of vanadium ores." *Extractive Metallurgy of Refractory Metals*, H.Y.Sohn, O.C.Norman, T.Smith, eds., AIME, PP. 127-45.
- 10 - Bold, T. and Kuziak, R. (1990). "Phase transformation during oxidising roasting of titanomagnetite pellets in vanadium recovery process." *Ironmaking and Steelmaking*, Vol. 17, No. 3, PP. 167-78.
- 11- Silva, F. T. and Ogasawara, T. (1993). "Thermodynamic analysis of precipitation in sodium vanadate solutions." *Transaction-Institute of Mining and Metallurgy, Sec.C*, Vol. 102, PP. 188-90.
- ۱۲- برگرون، ک. جی. و ریسبود، س. اچ، "درآمدی بر تعادل فازی در سرامیک‌ها." ترجمه ف. مضطرزاده، و. مارقوسیان، ا. صلاحی، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، (۱۳۷۸).
- 13 - Mittelstadt, R. and Schwerdtfeger, K. (1990). "The dependence of the oxidation state of vanadium on the oxygen pressure in melts of VO_x , Na_2O-VO_x and $CaO-SiO_2-VO_x$." *Met., Trans. B*, Vol. 21B, No. 1, PP. 111-20.
- 14 - Wilkomirsky, A. I. E., Luraschi, A. and Reghezza, A. (1985). "Vanadium extraction process from basic steel refining slags." *In: Extractive Metallurgy '85, The Institution of Mining and Metallurgy*, PP. 531-49.