IRANIAN MINES AND MINING INDUSTRIES DEVELOPMENT AND RENOVATION ORGANIZATION

سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران

بررسی و مقایسه روش های صنعتی استحصال پنتا اکسید وانادیوم از کنسانتره تیتانومگنتیت کهنوج و اجرای روش بهینه در مقیاس آزمایشگاهی با لحاظ پارامترهای اقتصادی

گزارش مدیریتی

شماره قرارداد: ۲۵۵۵۸

دانشگاه صنعتی همدان

مجری: دکتر مهدی پورعبدلی

همکاران: مهندس زهرا حسینی، مهندس زهرا صاحبی

بهمن ۱۴۰۰

چکیده

کنسانتره تیتانومگنتیت محصول ثانویه تولید کنسانتره ایلمنیت در مجتمع تیتانیوم کهنوج است. این کنسانتره دارای حدود ۵۴ درصد آهن (آهن موجود در اکسیدهای آهن)، ۱۲ درصد اکسید تیتانیوم و حدود ۰/۹ درصد پنتا اکسید وانادیوم است. برای استحصال اکسید وانادیوم از کنسانتره تیتانومگنتیت می توان از روش های پیرومتالورژی (Highveld، NTMK، Panzhihua، New Zealand، SSAB) و هیدرومتالورژی (Vametco، Balla Balla، Largo، VEPT و TIVAN) بهره برد. قابل ذکر است که روش های مذکور، روش های صنعتی و استاندارد تولید پنتااکسید وانادیوم از کنسانتره تیتانومگنتیت هستند. در این تحقیق که آزمایش های آن بر اساس روش Highveld طراحی و انجام شد، برای استحصال پنتااکسید وانادیوم از کنسانتره تیتانومگنتیت کهنوج چندین مرحله شامل الف- احیا کربوترمی کنسانتره تیتانومگنتیت، ب- تولید چدن حاوی وانادیوم، ج- تولید سرباره وانادیوم (و فولاد) با دمش اکسیژن به چدن، د- تشویه سرباره وانادیوم، ه- لیچینگ سرباره وانادیوم تشویه شده در آب، و- رسوب پلی وانادات آمونیوم از محلول لیچینگ و ز- آمونیوم زدایی و تولید پنتا اکسید وانادیوم مورد استفاده قرار گرفت. مواد اولیه و محصولات با استفاده از روش های XRD، XRF، SEM، UV-visible، AAS و کوانتومتری مورد ارزیابی قرار گرفتند. هم چنین پارامترهای تاثیرگذار در هر یک از مراحل مورد بررسی قرار گرفت و شرایط مطلوب برای هر مرحله بدست آمد. مطابق با فلوشیت آزمایشگاهی بدست امده برای تبدیل کنسانتره تیتانومگنتیت به پنتااکسید وانادیوم (خلوص حدود ۹۵ درصد) و فولاد در شرایط بهینه به ازای هر تن کنسانتره تیتانومگنتیت نیاز به ۲۲۵ کیلوگرم کک متالورژی، ۳۰ کیلوگرم کربنات سدیم، ۱۰۰ کیلوگرم آهک، ۱۵ کیلوگرم سرباره ساز، ۴/۲ کیلوگرم سولفات آمونیوم، ۲/۸۵ کیلوگرم اسید سولفوریک و ۶۰۰ لیتر آب نیاز است. مطابق نتایج حاصل، مقدار پنتااکسید وانادیوم و فولاد قابل تولید از یک تن کنسانتره تیتانومگنتیت به ترتیب حدود ۵/۵ کیلوگرم و ۴۵۰ کیلوگرم است. این مقدار تولید محصولات نشان داد که بازیابی کل وانادیوم و آهن در این فرایند به ترتیب برابر با ۵۸ درصد و ۸۳ درصد است. مطالعه فنی و اقتصادی طرح نشان داد که شاخص های اقتصادی برای تولید پنتااکسید وانادیوم به عنوان محصول اصلی و شمش فولاد از کنسانتره تیتانومگنتیت (۱۰۰ هزار تن در سال) شامل: ۷،۶۳۷،۹۵۲ میلیون ریال هزینه سرمایه گذاری کل، ۳،۱۷۷،۵۴۸ میلیون ریال سود خالص سالانه، ۳۵/۵ درصد نرخ بازده داخلی، ۳۴ ماه دوره بازگشت سرمایه و ۳۱/۵ درصد نقطه سر به سر تولید است.

کلمات کلیدی: کنسانتره تیتانومگنتیت، احیا کربوترمی، تشویه، لیچینگ، پنتااکسید وانادیوم، فولاد.

فهرست مطالب

بخش	عنوان	صفحه
۱-	**مقدمه**	۲
۲-	**مروری بر منابع**	۴
	۲-۱-کلیات وانادیوم	۴
	۲-۲- ذخایر وانادیوم در ایران	۵
	۲-۳- معرفی مجتمع تیتانیم کهنوج و محصولات تولیدی آن	۶
	۲-۴- روش های صنعتی استحصال پنتااکسید وانادیوم	۷
	۲-۴-۱- روش های پیرومتالورژیکی استحصال پنتااکسید وانادیوم	۷
	۲-۴-۲- روش های هیدرومتالورژیکی استحصال پنتااکسید وانادیوم	۷
	۲-۵- مقایسه روش های صنعتی استحصال پنتاکسیدوانادیوم	۸
	۲-۶- پژوهشهای انجام شده در ایران و دنیا در مورد تولید پنتااکسید وانادیوم از تیتانومگنتیت	۱۰
	۲-۷- انتخاب روش بهینه برای تولید پنتااکسید وانادیوم از کنسانتره تیتانومگنتیت کهنوج در مقیاس آزمایشگاهی	۱۱
۳-	**تهیه، نمونه گیری، شناسایی مواد اولیه و روش انجام آزمایشها**	۱۳
۴-	**نتایج و بحث**	۱۶
	۴-۱- مطالعه اثر پیش اکسیداسیون کنسانتره تیتانومگنتیت	۱۶
	۴-۲- مطالعه اثر دما و زمان احیا کربوترمی	۱۶
	۴-۳- کانی شناسی و مطالعه میکروسکوپی تیتانومگنتیت احیا شده	۱۷
	۴-۴- مطالعه اثر افزودن کربنات سدیم	۱۸
	۴-۵- مطالعه اثر مقدار کک متالورژی	۱۹
	۴-۶- بررسی ابعاد تیتانومگنتیت به عنوان بار ورودی بر آزمایش احیا	۲۰
	۴-۷- تولید چدن حاوی وانادیوم	۲۰
	۴-۸- تولید سرباره وانادیوم و فولاد	۲۱
	۴-۹- تولید پنتااکسید وانادیوم	۲۲
	۴-۱۰- ارایه فلوشیت آزمایشگاهی همراه با موازنه مواد	۲۶
۵-	**بررسی فنی و اقتصادی طرح**	۲۸
۶-	**مقایسه پارامترهای فنی و اقتصادی دو طرح پژوهشی**	۳۰
۷-	**نتیجه‌گیری‌ها و پیشنهادات**	۳۴
	منابع و مراجع	۳۷

فهرست جدول ها

جدول	عنوان	صفحه
۲-۱	آنالیز شیمیایی کنسانتره ایلمنیت کهنوج	۶
۲-۲	آنالیز شیمیایی کنسانتره تیتانومگنتیت کهنوج	۶
۲-۳	تحقیقات صورت گرفته در زمینه‌ی تولید وانادیوم از تیتانومگنتیت	۱۰
۴-۱	مقدار وانادیوم در کنسانتره و فاز فلزی حاصل از احیا و درصد بازیابی	۲۰
۴-۲	آنالیز شیمیایی چدن به روش کوانتومتری	۲۰
۴-۳	آنالیز سرباره حاصل از احیا تیتانومگنتیت و تولید چدن مذاب (سرباره دورریز)	۲۰
۴-۴	آنالیز شیمیایی چدن حاصل از احیا تیتانومگنتیت	۲۱
۴-۵	درصد وانادیوم در سرباره های وانادیوم	۲۱
۴-۶	آنالیز شیمیایی سرباره وانادیوم با دمش ۱۵ دقیقه اکسیژن	۲۱
۴-۷	آنالیز شیمیایی فولاد بعد از ۲۵ دقیقه دمش اکسیژن به چدن مذاب	۲۱
۴-۸	آنالیز پسماند لیچینگ	۲۴
۴-۹	آنالیز شیمیایی پنتا اکسید وانادیوم تولیدی به روش XRF (درصد وزنی)	۲۵
۵-۱	خلاصه شاخصهای اقتصادی	۲۸
۶-۱	مقایسه پارامترهای اقتصادی دو طرح پژوهشی	۳۲

فهرست شکل ها

شکل	عنوان	صفحه
۳-۱	مراحل انجام تحقیق	۱۳
۳-۲	تصاویر برخی از مواد اولیه، محصولات و تجهیزات و مراحل مختلف آزمایش ها	۱۴
۴-۱	پراش اشعه ایکس نمونه های پیش اکسید شده	۱۶
۴-۲	تاثیر دمای پیش اکسیداسیون بر کسر واکنش احیا در دماها و زمان های مختلف	۱۶
۴-۳	اثر زمان احیا کنسانتره تیتانومگنتیت بر کسر واکنش احیا	۱۷
۴-۴	اثر دمای احیا کنسانتره تیتانومگنتیت بر کسر واکنش احیا	۱۷
۴-۵	نتایج کانی شناسی با استفاده از اشعه ایکس نمونه های احیا شده	۱۷
۴-۶	اثر زمان احیا در دمای ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد بر میکروساختار کنسانتره تیتانومگنتیت	۱۸
۴-۷	اثر دمای احیا در زمان ۶۰ دقیقه بر میکروساختار کنسانتره تیتانومگنتیت	۱۸
۴-۸	اثر افزودن کربنات سدیم بر کسر واکنش احیا	۱۸
۴-۹	تاثیر افزودن کربنات سدیم بر میکروساختار تیتانومگنتیت احیا شده	۱۹
۴-۱۰	اثر مقدار کک متالورژی بر کسر واکنش احیا	۱۹
۴-۱۱	نتایج استفاده از انواع کک و ذغالسنگ در احیا تیتانومگنتیت	۱۹
۴-۱۲	نتایج نقش ابعاد بار ورودی تیتانومگنتیت بر کسر واکنش احیا	۲۰
۴-۱۳	تاثیر دمای تشویه بر لیچینگ وانادیوم در آب	۲۲
۴-۱۴	تاثیر زمان تشویه بر لیچینگ وانادیوم در آب	۲۲
۴-۱۵	تاثیر درصد کربنات سدیم بر لیچینگ وانادیوم در آب	۲۲
۴-۱۶	اثر سرعت همزدن محلول بر لیچینگ وانادیوم در آب	۲۳
۴-۱۷	اثر نسبت مایع به جامد بر لیچینگ وانادیوم در آب	۲۳
۴-۱۸	اثر دمای محلول بر لیچینگ وانادیوم در آب	۲۳
۴-۱۹	اثر زمان بر لیچینگ وانادیوم در آب	۲۴
۴-۲۰	اثر اندازه ذرات بر لیچینگ وانادیوم در آب	۲۴
۴-۲۱	بررسی اثر زمان حرارت دهی و pH محلول بر بازیابی وانادیوم از محلول لیچینگ به صورت پلی وانادات آمونیوم	۲۴
۴-۲۲	اثر دمای رسوب دهی بر میزان بازیابی وانادیوم از محلول لیچینگ به صورت پلی وانادات آمونیوم	۲۵
۴-۲۳	تاثیر افزودن سولفات آمونیوم بر بازیابی وانادیوم به صورت پلی وانادات آمونیوم (APV)	۲۵
۴-۲۴	تاثیر دما و زمان بر فرایند آمونیوم زدایی پلی وانادات آمونیوم و تولید پنتااکسید وانادیوم	۲۵
۴-۲۵	فلوشیت آزمایشگاهی تولید پنتااکسید وانادیوم و شمش فولاد از کنسانتره تیتانومگنتیت همرا با موازنه جرم و درصد بازیابی	۲۷

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس یکتای بی همتا را که لطفش بر ما عیان است، ادای شکرش را هیچ زبان و دریای فضلش را هیچ کران نیست و اگر در این وادی هستیم، همه محبت اوست.

بدینوسیله از حمایتهای مالی سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) برای انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد. هم چنین از زحمات و حمایتهای **آقایان دکتر غلامرضا ملاطاهری (ریاست محترم مرکز آموزش، پژوهش و فناوری سازمان ایمیدرو)، دکتر فرهاد فرشاد (معاون ریاست محترم مرکز آموزش، پژوهش و فناوری سازمان ایمیدرو) و دکتر جعفر جعفری (مسوول کنترل پروژه‌های پژوهشی سازمان ایمیدرو)** کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم. همچنین از ناظر محترم پروژه و کلیه عزیزانی که با نظرات سازنده خود موجبات ارتقای این تحقیق را فراهم آوردند، قدردانی می‌نمایم.

بر خود لازم می دانم از حمایتها، هماهنگی‌ها و زحمات مسوولان محترم دانشگاه صنعتی همدان به ویژه **آقایان دکتر امیر مومنی (ریاست محترم دانشگاه)، دکتر حسن ختن لو (ریاست سابق دانشگاه)، دکتر هادی دلاوری (معاونت محترم آموزشی و پژوهشی) و دکتر حسن بشیری (مدیر محترم پژوهشی)** تشکر و قدردانی نمایم.

مهدی پورعبدلی
گروه مهندسی مواد
دانشگاه صنعتی همدان
بهمن ۱۴۰۰

فصل اول:

مقدمه

۱– مقدمه

اکسید وانادیوم به صورت پنتا اکسید وانادیوم ماده‌ای استراتژیک است که دارای کاربردهای مختلفی در صنایع شیمیایی (رنگسازی)، صنایع مهندسی مواد و متالورژی (تولید فروواناديوم و آلیاژهای خاص) و صنایع نفت و پتروشیمی (ساخت کاتالیست) است. کنسانتره تیتانومگنتیت محصول ثانویه تولید کنسانتره ایلمنیت در مجتمع تیتانیوم کهنوج است. این کنسانتره دارای حدود ۵۴ درصد آهن کل (آهن موجود در اکسیدهای آهن)، ۱۲ درصد اکسید تیتانیوم و حدود ۱ درصد پنتا اکسید وانادیوم است. این کنسانتره با توجه به عیار اکسید وانادیوم در آن یکی از کنسانتره پر عیار در دنیا محسوب می شود که از لحاظ کیفیت و ترکیب شیمیایی هم ردیف ذخایر افریقای جنوبی و روسیه است. افریقای جنوبی و روسیه از تولید کنندگان مهم و مطرح محصولات وانادیوم دار هستند. بنابراین کنسانتره تیتانومگنتیت کهنوج می تواند به عنوان ماده اولیه برای تولید محصولات وانادیوم دار از جمله پنتا اکسید وانادیوم مورد استفاده قرار گیرد که در این صورت ارزش افزوده بسیار زیادی را نصیب کشور خواهد کرد. برای استحصال اکسید وانادیوم از کنسانتره تیتانومگنتیت از تلفیق روش‌های هیدرومتالورژی و پیرومتالورژی استفاده می شود.

با توجه به وجود منابع و پتانسیل‌های فراوان معدنی در کشور و نیز بر اساس سیاست خودکفایی و توسعه صنایع معدنی و متالورژی به عنوان صنایع مادر، انجام فعالیت‌های تحقیقاتی به منظور بهره‌برداری صحیح از این منابع و دست‌یابی به روش‌های علمی و نوین تولید موادی همچون پنتااکسید وانادیوم بسیار ضروری است. پنتا اکسید وانادیوم، به دلیل کاربردهای خاص آن، ماده ای استراتژیک محسوب می شود. میزان واردات پنتااکسید وانادیوم به ایران در فاصله سالهای ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۹ (۸ سال) حدود ۲۰۰ تن و عمدتا از کشورهای امارات، کره جنوبی و هند بوده است.

هدف از انجام این تحقیق، مطالعه روشهای صنعتی استحصال پنتا اکسید وانادیوم از کنسانتره تیتانومگنتیت کهنوج جهت شناسایی روشهای استاندارد و پارامترهای تاثیر گذار بر آنها و انتخاب یک روش بهینه از میان آنها برای انجام در مقیاس آزمایشگاهی است. با انجام آزمایشهای عملی جهت استحصال پنتا اکسید وانادیوم از کنسانتره تیتانومگنتیت کهنوج، امکان تولید ترکیبات وانادیوم از جمله سرباره وانادیوم، فولاد و پنتا اکسید وانادیوم، پارامترهای فرایندی از جمله بازیابی وانادیوم، خلوص محصولات تولیدی، نوع محصولات ثانویه (فولاد) و راندمان فرایند بررسی و ارزیابی شد. انجام این تحقیق گامی هرچند کوچک برای بومی‌سازی تولید ترکیبات وانادیوم در ایران است.

فصل دوم:

مروری بر منابع

۲- مروری بر منابع

۲-۱- کلیات وانادیوم

وانادیوم با غلظت ۱۵۰ ppm دارای فراوانی مشابه عنصر روی و بیش از عناصر مس و نیکل است. این فلز بیست و دومین عنصر فراوان موجود در پوسته زمین است. وانادیوم هیچ گاه بطور خالص یافت نمی‌شود. وانادیوم و ترکیبات آن از منابعی مانند کانی ها، کنسانتره ها، سرباره‌های وانادیوم و پسماند-های نفتی استخراج می شود. وانادیوم موجود در این منابع با استفاده از روش های مختلف استخراج و به فلز وانادیوم، فروونادیوم، پنتااکسید وانادیوم و سایر مواد شیمیایی مختلف تبدیل می‌شود.

تولیدکنندگان اصلی ترکیبات وانادیوم در جهان، کشورهای چین، آفریقای جنوبی، روسیه، استرالیا و آمریکا می‌باشند. مواد خام ثانویه مانند تیتانومگنتیت، کاتالیزورهای حاوی وانادیوم و یا خاکستر کوره های مازوت نیز می‌توانند به عنوان منابع بالقوه وانادیوم مورد استفاده قرار گیرند.

حداقل عیار اقتصادی برای منابع وانادیوم در حدود ۰/۳ درصد برای وانادیوم می‌باشد. وانادیوم از سه منبع شامل منابع اولیه، سرباره های فولاد سازی (منابع مشترک) و منابع ثانویه استحصال می شود.

الف- منابع اولیه

کانه‌های اصلی وانادیوم دارای ۲-۰/۵ درصد پنتااکسید وانادیوم هستند که عموماً در گروه ذخایر تیتانومگنتیت قرار دارند. منابع اصلی تقریباً ۱۸ درصد تولید جهانی را در سال ۲۰۱۹ شامل شدند. تولید کنندگان عمده منابع اصلی در افریقای جنوبی و استرالیا قرار دارند.

ب- سرباره های فولاد سازی

بیشترین تولید وانادیوم در دنیا (۷۱ درصد در سال ۲۰۱۹) از فرایند تولید فولاد که از تیتانومگنتیت به عنوان مواد اولیه استفاده می کنند، حاصل می گردد. وانادیوم از سرباره‌های فولادسازی در افریقای جنوبی، روسیه، چین، جمهوری های شوروی سابق و نیوزیلند بازیابی می‌شود. این سرباره ها به نام سرباره های وانادیوم خوانده می شوند. تقریباً دو سوم تولید جهانی وانادیوم از سرباره های وانادیوم تهیه می شود. سرباره‌های وانادیوم حاصل از فولادسازی دارای ۲۵-۱۳ %wt V_2O_5 هستند، در حالی که منابع اصلی وانادیوم ۲- ۰/۵ %wt V_2O_5 دارند.

ج- منابع ثانویه

وانادیوم از منابع ثانویه حاصل از احتراق و تصفیه سوخت‌های فسیلی و بازیافت کاتالیزورهای مصرف شده نیز بازیابی می‌گردد. منابع ثانویه معمولاً ۱۵-۱۰ درصد تولید جهانی را شامل می‌شود. وانادیوم کمتر به صورت خالص مورد استفاده قرار می‌گیرد و عمدتا به صورت عنصر آلیاژی و ترکیبات اکسیدی

کاربرد دارد. بیش از ۸۰ درصد وانادیوم تولید شده در جهان صرف تولید فروواناديوم (FeV) می‌شود. چین (۳۶ درصد)، روسیه (۱۸ درصد)، آفریقای جنوبی (۳۲ درصد) و امریکا (۱۱ درصد) بزرگ‌ترین منابع شناخته شده وانادیوم جهان را در اختیار دارند.

۲-۲- ذخایر وانادیوم در ایران

یکی از عمده‌ترین منابع وانادیوم در ایران، سنگ آهن‌های تیتانیوم- وانادیوم واقع در مناطق مرکزی ایران است. از جمله این ذخایر می توان به ذخیره سنگ آهن چغارت وکانسارهای اصلی ناحیه بافق- ساغند اشاره کرد که حضور وانادیوم در آنها چشم‌گیر است. در این کانسارها وانادیوم همراهی و مشارکت بسیار خوبی را با کانه‌های مگنتیتی نشان می‌دهد. عیار وانادیوم در کانسنگ‌های این ناحیه با میزان عیار آهن و تیتانیوم نسبت مستقیم و با میزان فسفر نسبت معکوس دارد. به عبارتی می‌توان گفت سنگ آهن‌های پر عیار و کم فسفر دارای مقدار بیشتری وانادیوم در شبکه خود هستند. همچنین وانادیوم احتمالاً در کانی مگنتیت تمرکز پیدا کرده است. عیار پنتااکسید وانادیوم در کانسار معدن سنگ آهن چاه‌گز در حدود ۰/۴ درصد، در معدن چغارت بین ۰/۰۱ درصد در سنگ آهن‌های کم#عیار و پرفسفر، تا ۰/۵ درصد در سنگهای آهن پرعیار و کم‌فسفر متغیر است. همچنین در معدن تیتانیوم کهنوج که کانی‌های عمده‌ی آن ایلمنیت، مگنتیت و تیتانومگنتیت می‌باشد نیز عیار قابل توجهی از وانادیوم (تا ۲٪) گزارش شده است. با توجه به اینکه عیار وانادیوم در این کانسارها از عیار حد اقتصادی این عنصر در بازارهای جهانی بیشتر است لذا بنظر می‌رسد که استحصال وانادیوم از کانسنگهای این ناحیه و بخصوص معدن تیتانیوم کهنوج اقتصادی است.

۲-۳- معرفی مجتمع تیتانیم کهنوج و محصولات تولیدی آن

معدن تیتانیوم کهنوج در جنوب استان کرمان و در کیلومتر ۲۵ جاده کهنوج به بندرعباس قرار گرفته است. این معدن دارای ذخایر قابل توجهی از سنگ معدن حاوی تیتانیوم (عیار متوسط ۳/۷ درصد وزنی) از نوع سنگی و آبرفتی است. ذخیره قطعی این معدن ۱۵۰ میلیون تن و ذخیره احتمالی آن ۴۰۰ میلیون تن برآورد شده است. در حال حاضر یک پایلوت در این معدن جهت پرعیارسازی کانسنگ تیتانیوم به کنسانتره ایلمنیت احداث شده و ظرفیت تولید سالانه آن، هزار تن کنسانتره ایلمنیت به عنوان محصول اصلی است.

آنالیز شیمیایی تقریبی کنسانتره ایلمنیت و کنسانتره تیتانومگنتیت تولیدی در مجتمع تیتانیوم کهنوج به ترتیب در جدول های ۱-۲ و ۲-۲ آمده است.

۱-۲- آنالیز شیمیایی کنسانتره ایلمنیت کهنوج

TiO_2	FeO	Fe_2O_3	P_2O_5	Al_2O_3	MgO	MnO	SiO_2	CaO	V_2O_5	Cr_2O_3
۴۷/۴	۳۴/۲	۱۰/۶	۰/۱۵	۱/۳	۱	۱/۷	۲	۱	۰/۳	۰/۰۳

۲-۲- آنالیز شیمیایی کنسانتره تیتانومگنتیت کهنوج

TiO_2	FeO	Fe_2O_3	P_2O_5	Al_2O_3	MgO	MnO	SiO_2	CaO	V_2O_5	Cr_2O_3
۱۱/۵	۲۵/۱۲	۵۲/۵	۰/۱۵	۳/۱	۱/۷	۱	۳/۱	۱	۱/۲	۰/۰۴۵

۲-۴- روش های صنعتی استحصال پنتااکسید وانادیوم

۲-۴-۱- روش های پیرومتالورژیکی استحصال پنتااکسید وانادیوم

در این روشها کنسانتره تیتانومگنتیت با استفاده از یک عامل احیا کننده (کربن) در یک کوره احیا می شود. در فرایند احیا معمولا از کمک ذوب نیز استفاده می‌کنند. محصول فرایندهای پیرومتالورژی بسته به نوع فرایند احیا کربوترمی (مذاب یا جامد) می تواند سرباره وانادیوم، فولاد، پودر آهن و ترکیبات اکسیدی باشد. در فرایند احیا کربوترمی حالت مذاب، محصول فرایند سرباره وانادیوم و فولاد است و در کربوترمی حالت جامد، محصول فرایند پودر آهن و ترکیبات اکسیدی است که بسته به تنظیم شرایط فرایند، وانادیوم می تواند در پودر آهن یا ترکیبات اکسیدی تمرکز پیدا کند. در مرحله بعد وانادیوم موجود در ماده مورد با استفاده از حل سازی شیمیایی و ترسیب به صورت پنتااکسید استحصال می شود. عمده این فرایندها پیرومتالورژیکی است و در صورتی که هدف استحصال پنتااکسید وانادیم باشد، یک مرحله فرایند هیدرومتالورژی نیز به آخر فرایند افزوده می شود.

پنج فرایند شناخته شده پیرومتالورژی که بر مبنای روش فوق کار می کنند، عبارتند از:

الف- فرایند Highveld (افریقای جنوبی)؛ ب- فرایند Panzhihua (چین)؛ ج- فرایند NTMK-duplex (روسیه)؛ د- فرایند New Zealand Steel (نیوزیلند)؛ ه- فرآیند SSAB (سوئد).

۲-۴-۲- روش های هیدرومتالورژیکی استحصال پنتااکسید وانادیوم

در روش های هیدرومتالورژیکی، کنسانتره تیتانومگنیتت حاوی وانادیوم (یا برخی موارد هر منبع وانادیوم دیگر شامل سرباره فولادسازی، سرباره وانادیوم، پسماندهای نیروگاهی) بعد از پیش اکسیداسیون و تشویه مستقیماً تحت فرایند هیدرومتالورژیکی برای استخراج وانادیوم قرار می گیرند. به عبارتی دیگر کارخانه هایی که از روش هیدرومتالورژی استفاده می کنند، دارای بخش یا واحد های پیرومتالورژی در کارخانه نیستند و فقط نقطه آغاز فرایند در آنها فرایندهای پیرومتالورژی است. این روش به طور گسترده در کارخانه های مختلف در دنیا مورد استفاده قرار می گیرد و تقریباً اصول و تجهیزات مورد استفاده در آنها بسیار مشابه است. از جمله فرایندهایی هیدرومتالورژیکی که به طور صنعتی و مطابق با روش های مرسوم یعنی پیش اکسیداسیون، تشویه، لیچینگ و ترسیب کار می کنند، می توان به روش Balla Balla در استرالیا و روش Vametco در افریقای جنوبی و Largo در برزیل اشاره کرد. روشی دیگر به نام VEPT که در سال ۲۰۱۸ میلادی توسط شرکت Vanadium corp معرفی شده است، روشی بر پایه انحلال منابع حاوی وانادیوم در اسید سولفوریک است که روشی سازگار با محیط زیست در مقایسه با روش های مرسوم شناخته شده است زیرا پیش اکسیداسیون و تشویه در این روش استفاده نمی شود.

۲-۵- مقایسه روش های صنعتی استحصال پنتاکسیدوانادیوم

اصول، میزان مصرف انرژی و ظرفیت اقتصادی: اصول روش های پیرومتالورژی بر پایه روش احیا کربوترمی در حالت جامد یا مذاب و روش های پیرومتالورژی عمدتا بر اساس لیچینگ منابع حاوی وانادیوم و ترسیب در دمای کمتر از ۱۰۰ درجه سانتیگراد کار می کنند. بدیهی که انرژی مورد نیاز برای فرایند های پیرومتالورژیکی بیشتر از روشهای هیدرومتالورژی است. هزینه خرید، تعمیرات و نگهداری تجهیزات مورد استفاده برای روش های پیرومتالورژی بسیار بیشتر از روش های هیدرومتالورژی است. حداقل ظرفیت اقتصادی برای روش های پیرومتالورژی بسیار بیشتر از روش های هیدرومتالورژی می تواند باشد به طوری که طرح پایلوت هیدرومتالورژی می تواند کاملا اقتصادی باشد در حالی که طرح پایلوت یک فرایند پیرومتالورژیکی با ظرفیت مشابه می تواند اقتصادی نباشد.

نوع و عیار مواد اولیه: روش هیدرومتالورژی نسبت به مواد اولیه انعطاف پذیرتر از روشهای پیرومتالورژی است. در روش هیدرومتالورژیکی هم می توان از کنسانتره های حاوی وانادیوم (اگر چه باعث افزایش مصرف آب و حلال های لیچینگ می شوند) و هم می توان از سایر منابع حاوی وانادیوم (پسماندها سوخت های فسیلی، سرباره های فولادسازی) استفاده کرد ولی در روش پیرومتالورژی حتما باید از کنسانتره های حاوی آهن و وانادیوم استفاده کرد.

نوع، خلوص و سودآوری محصولات تولیدی: روشهای پیرومتالورژیکی استحصال پنتااکسید وانادیوم دارای سودآوری بیشتری (تا چندین برابر) نسبت به روش های هیدرومتالورژی دارد. از نظر خلوص پنتااکسید وانادیوم تولیدی هر دو روش در جایگاه یکسانی قرار دارند، زیرا انتهای هر دو فرایند به فرایندهای مشابهی ختم می شود. مهمترین عیب روشهای هیدرومتالورژیکی، تبدیل آهن به ترکیباتی است که ارزش افزوده و قابلیت فروش بسیار کمتری نسبت به فولاد دارند.

بازیابی وانادیوم: بازیابی وانادیوم در روش های هیدرومتالورژیکی می تواند بیشتر از روش های پیرومتالورژیکی باشد زیرا در روشهای پیرومتالورژیکی مقداری از وانادیوم به صورت غبارات در مرحله ذوب و احیا و دمش اکسیژن تلف می شود.

هزینه های سرمایه گذاری و میزان نیروی انسانی مورد نیاز (اشتغال زایی): هزینه سرمایه گذاری فرایندهای پیرومتالورژیکی بسیار بیشتر از فرایندهای هیدرومتالورژی است. میزان اشتغال زایی کارخانه های پیرومتالورژیکی بیشتر از کارخانه های هیدرومتالورژیکی است و این می تواند یکی از نکات مثبت فرایندهای پیرومتالورژیکی در مقایسه با روشهای هیدرومتالورژیکی باشد.

میزان آلودگی: آلودگی ناشی از فرایندهای پیرومتالورژیکی از نظر خروج گازهای CO، CO_2 و SO_2 و غبارات کوره ها بسیار بیشتر از روش های هیدرومتالورژیکی است. . محلول های تولیدی در روش هیدرومتالورژیکی می تواند بسیار خطرناک تر از آلودگی های پیرومتالورژیکی باشد، زیرا میزان آسیب آنها به گیاهان وجانداران و نفوذ آنها در زمین بسیار بیشتر می تواند باشد.

محل احداث و نوع سرمایه گذاری (دولتی یا خصوصی): معمولاً در مناطق محروم با سرمایه گذاری دولتی، تمایل به احداث کارخانه های پیرومتالورژیکی بیش از کارخانه های هیدرومتالورژیکی در مورد استحصال پنتااکسید وانادیوم می تواند باشد. اگر چه همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، هزینه های سرمایه گذاری کارخانه های پیرومتالورژیکی بیش از کارخانه های هیدرومتالورژیکی است ولی چون درآمدزایی و اشتغال زایی آن بسیار بیشتر است، در نتیجه موجب افزایش درامد و توسعه صنعتی مناطق محروم خواهد شد. در صورتی که سرمایه گذاری خصوصی مد نظر باشد شاید بتوان گفت که کارخانه های هیدرومتالورژیکی استحصال پنتااکسید وانادیوم به دلیل مزایایی همچون هزینه های سرمایه گذاری کمتر (ثابت و در گردش) و مشکلات کمتر به دلیل آلودگی زیست محیطی کمتر، مصرف انرژی کمتر و سایر موارد، برای سرمایه گذاران خصوصی جذاب تر باشد.

۲-۶- پژوهشهای انجام شده در ایران و دنیا در مورد تولید پنتااکسید وانادیوم از تیتانومگنتیت

برخی از تحقیقات مهم در زمینه احیا تیتانومگنتیت در جدول ۳-۲ ارایه شده است.

جدول ۳-۲- تحقیقات صورت گرفته در زمینه‌ی تولید پنتا اکسید وانادیوم از تیتانومگنتیت

ردیف	عنوان مقاله	سال	مرجع
۱	تولید وانادیوم و فولاد از تیتانومگنتیت‌ها	۱۹۸۵	۱
۲	استخراج تیتانیوم، وانادیوم و آهن از کانسارهای تیتانومگنتیت	۱۹۹۵	۲
۳	احیا کربوترمیک تیتانومگنتیت وانادیوم توسط تابش مایکروویو و رفتار ذوب	۲۰۱۳	۳
۴	یک فرآیند جدید برای بازیابی آهن، وانادیوم و تیتانیوم از تیتانومگنتیت وانادیوم	۲۰۱۴	۴
۵	یک روش جدید برای استخراج آهن، تیتانیوم، وانادیوم و کروم از کنسانتره‌های تیتانومگنیتیت وانادیوم دارای کروم	۲۰۱۴	۵
۶	یک فرآیند استخراج برای بازیابی وانادیوم از تیتانومگنتیت با درجه پایین وانادیوم	۲۰۱۵	۶
۷	توصیف کانی شناسی کاربردی ایلمنیت از کانسار جایگزین کهنوج، جنوب ایران	۲۰۱۵	۷
۸	استخراج وانادیوم از تیتانومگنتیت توسط اسید هیدروفلوئوریک	۲۰۱۶	۸
۹	یک فرآیند جدید برای بازیابی آهن، تیتانیوم و وانادیوم از تیتانومگنتیت حاوی وانادیوم: اصلاح سدیم - فرایند احیا مستقیم	۲۰۱۷	۹
۱۰	استفاده از اکسیدهای وانادیوم و تیتانیوم با استفاده از استخراج انتخابی آهن در کنسانتره مگنتیت حاوی تیتانیوم کم	۲۰۱۷	۱۰
۱۱	استخراج موثر وانادیوم از کنسانتره تیتانومگنتیت - وانادیوم توسط مواد افزودنی تشویه‌کننده نمک پتاسیم	۲۰۱۸	۱۱
۱۲	روش بازیابی آهن، تیتانیوم و وانادیوم از تیتانومگنتیت وانادیوم	۲۰۱۸	۱۲
۱۳	تبدیل کنسانتره تیتانومگنتیت وانادیوم در تشویه بدون افزودنی و لیچینگ با فشار قلیایی برای استخراج وانادیوم	۲۰۱۹	۱۳
۱۴	پرعیارسازی کنسانتره تیتانیوم معدن کهنوج به روش سرباره سازی	۱۳۷۹	۱۴
۱۵	استحصال وانادیم از تیتانومگنتیت قره آغاج به روش تشویه و انحلال	۱۳۸۷	۱۵
۱۶	بررسی فیزیکو شیمیایی و استحاله ساختاری در احیا کربوترمی کنسانتره تیتانومگنتیت برای توسعه منابع اولیه پایه ای و تجدیدپذیر	۲۰۲۰	۳۳
۱۷	تاثیر نوع احیا کننده بر احیا مستقیم کنسانتره تیتانومگنتیت ساحلی	۲۰۱۹	۳۴
۱۸	احیا حالت جامد کنسانتره تیتانومگنتیت ایران، مطالعه و بهینه سازی	۲۰۱۹	۳۵
۱۹	احیا حالت جامد کنسانتره های تیتانومگنتیت Panzhihua با پودر ذغال	۲۰۱۱	۳۶

۲-۷- انتخاب روش بهینه برای تولید پنتااکسید وانادیوم از کنسانتره تیتانومگنتیت کهنوج در مقیاس آزمایشگاهی

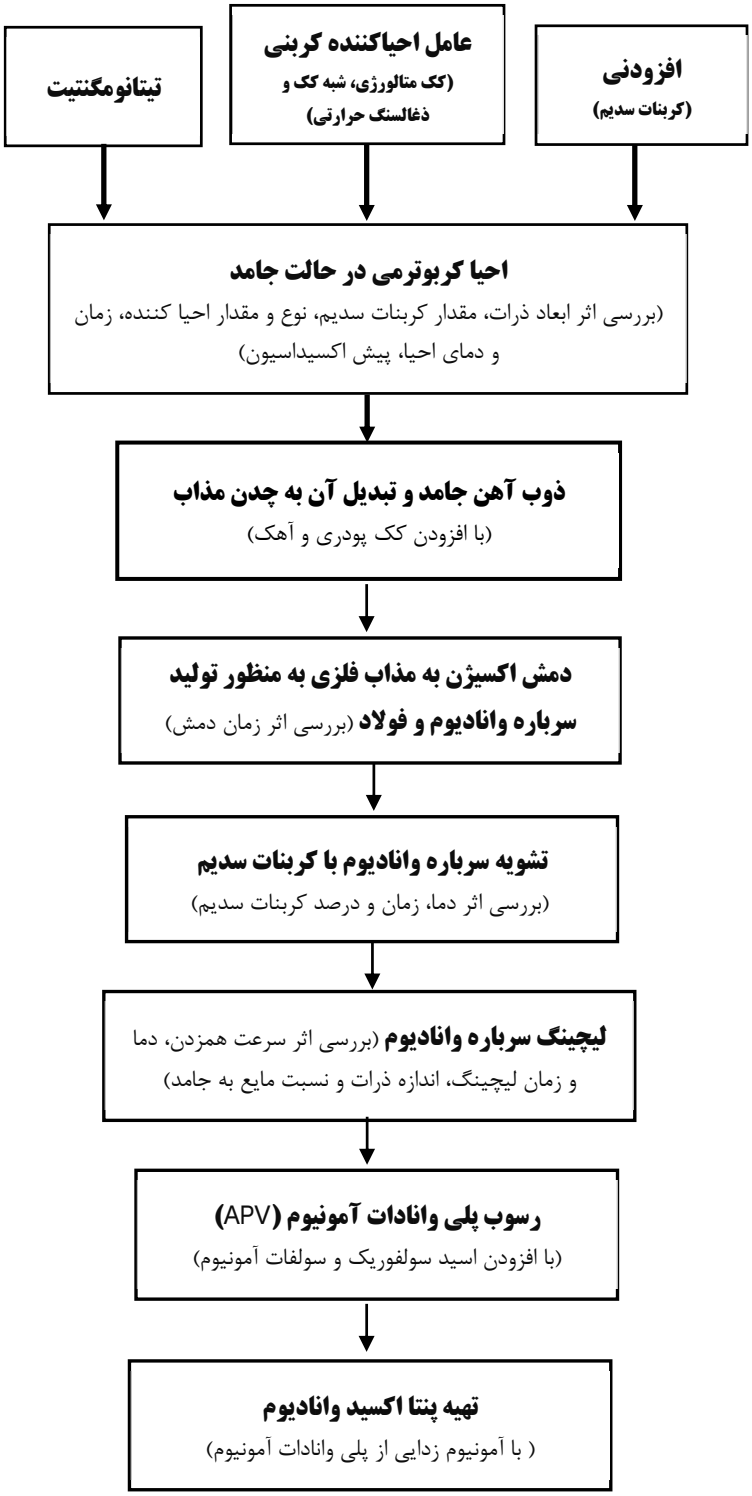
کنسانتره تیتانومگنتیت کهنوج دارای عیار وانادیوم بیش از حد متوسط جهانی است و این بدین معنی است که هم روش پیرومتالورژی و هم روش هیدرومتالورژی می تواند برای استحصال پنتااکسید وانادیوم از آن بکار برده شود. استفاده از روش های پیرومتالورژی منجر به تولید ترکیبات وانادیوم به همراه فولاد به عنوان محصول ثانویه می شود در حالی که استفاده از روش هیدرومتالورژی فقط منجر به تولید ترکیبات وانادیوم و اکسیدهای آهن به جای فولاد و در نتیجه ارزش افزوده کمتر می گردد. مهم ترین عیب روش های هیدرومتالورژیکی، تبدیل آهن به ترکیباتی است که ارزش افزوده و قابلیت فروش کمتری دارند.

به دلیل اینکه معدن تیتانیوم کهنوج در منطقه محروم واقع شده است و موقعیت جغرافیایی آن به نحوی است که به بنادر تجاری کشور نیز نزدیک است و می تواند محصولات تولیدی آن با هزینه کمتر به کشورهای خارجی صادر شود، لذا استفاده از فرایندهای پیرومتالورژیکی جهت تولید همزمان ترکیبات وانادیوم (سرباره وانادیوم، پنتااکسید وانادیوم، تری اکسید وانادیوم، فروواناديوم، نیتریدوانادیوم) و فولاد جهت ایجاد ارزش افزوده بیشتر و اشتغال زایی بیشتر، منطقی تر و مناسب تر به نظر میرسد.

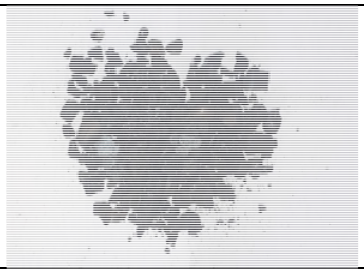
فصل سوم:

تهیه، نمونه گیری، شناسایی مواد اولیه و روش انجام آزمایش ها

۳- تهیه، نمونه گیری، شناسایی مواد اولیه و روش انجام آزمایش ها



شکل ۱-۳- مراحل انجام تحقیق.

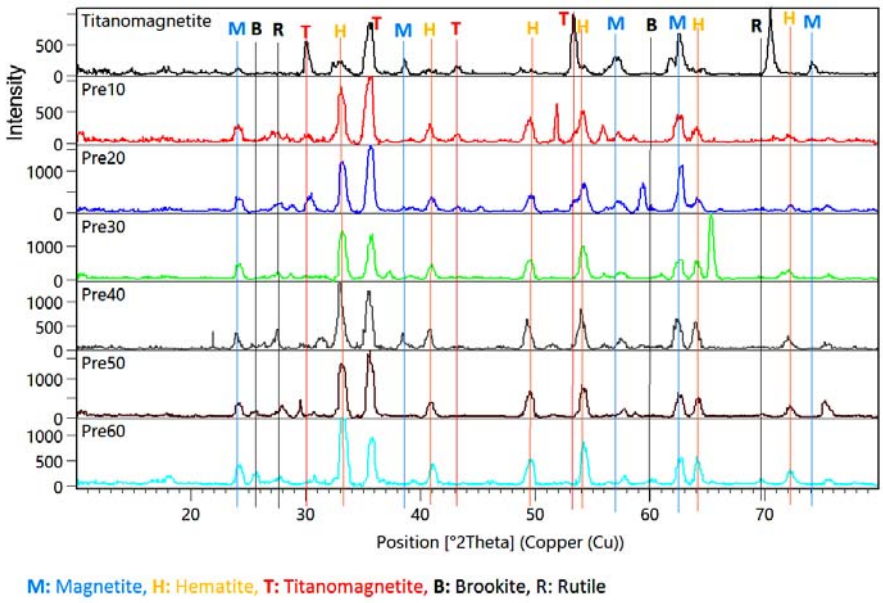
کنسانتره تیتانومگنتیت	تصویر یکی از کوره های مورد استفاده برای احیا حالت
توده کنسانتره تیتانومگنتیت احیا شده در حالت جامد (آهن اسفنجی)	گندله کنسانتره تیتانومگنتیت احیا شده (آهن اسفنجی)
	
فولاد حاصل از دمش اکسیژن به چدن مذاب	سرباره وانادیوم حاصل از دمش اکسیژن به چدن مذاب
محلول لیچینگ صاف شده (حاوی یون های وانادیوم) حاصل از لیچینگ سرباره وانادیوم	فیلتراسیون کیک قرمز رسوب داده شده
پلی وانادات آمونیوم برای مرحله آمونیوم زدایی	پنتا اکسید وانادیوم بعد از فرایند امونیوم زدایی

شکل ۲-۳ - تصاویر برخی از مواد اولیه، محصولات، تجهیزات و مراحل مختلف آزمایش ها.

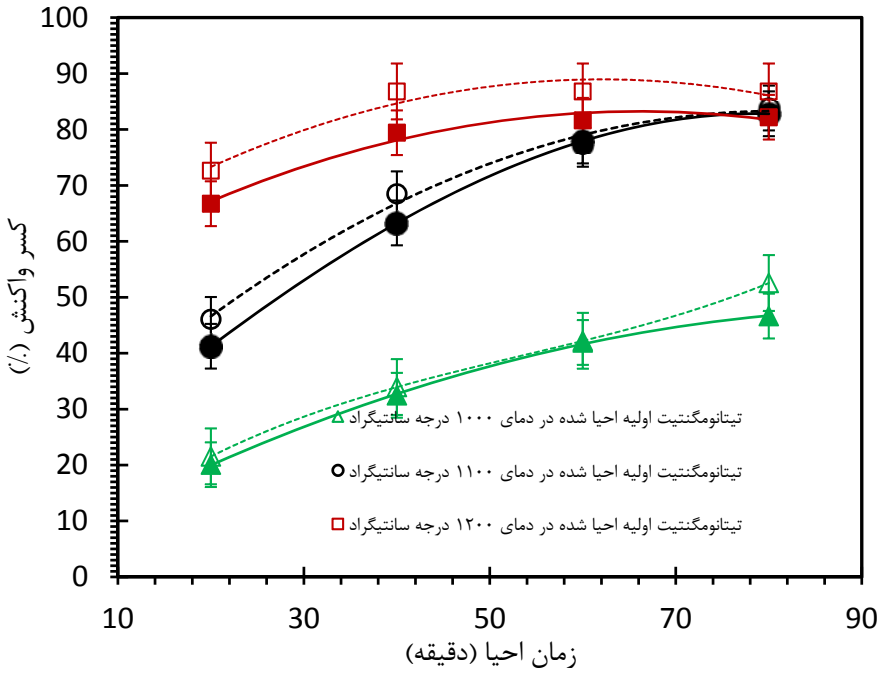
فصل چهارم:

نتایج و بحث

۴-۱- مطالعه اثر پیش اکسیداسیون کنسانتره تیتانومگنتیت

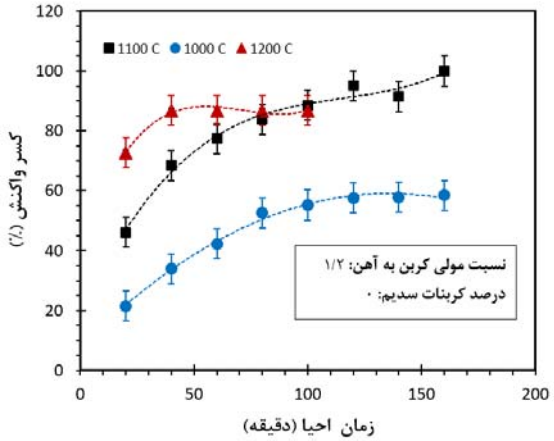


شکل ۱-۴- پراش اشعه ایکس نمونه های پیش اکسید شده.

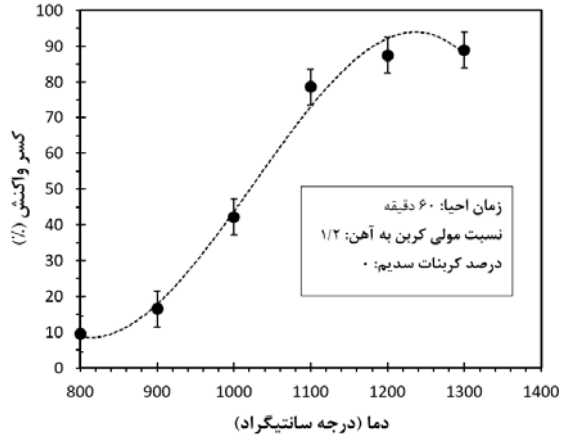


شکل ۲-۴- تاثیر دمای پیش اکسیداسیون بر کسر واکنش احیا در دماها و زمان های مختلف.

۴-۲- مطالعه اثر دما و زمان احیا کربوترمی

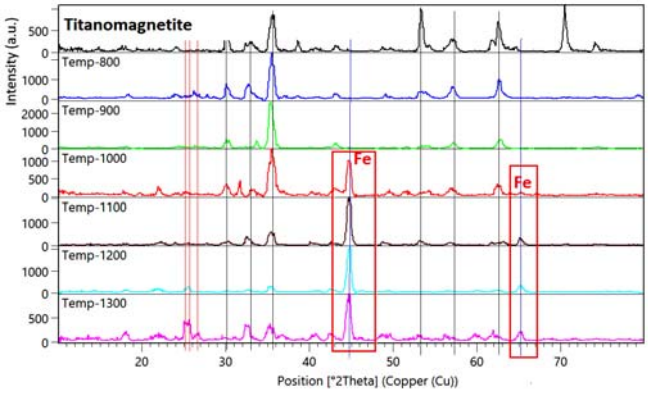


شکل ۳-۴- اثر زمان احیا کنسانتره تیتانومگنتیت بر کسر واکنش احیا.

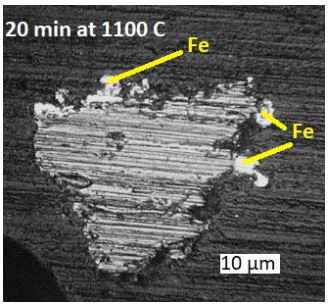


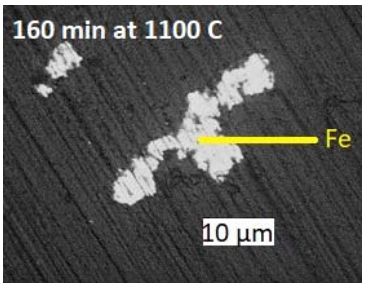
شکل ۴-۴- اثر دمای احیا کنسانتره تیتانومگنتیت بر کسر واکنش احیا.

۴-۳- کانی شناسی و مطالعه میکروسکوپی تیتانومگنتیت احیا شده

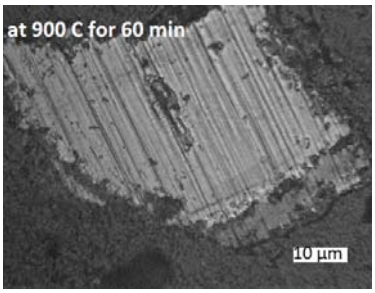


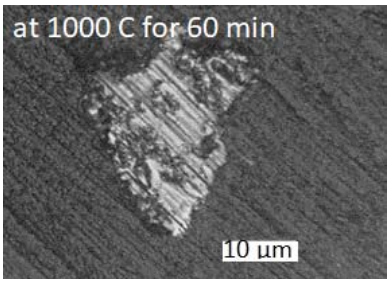
شکل ۵-۴- نتایج کانی شناسی با استفاده از اشعه ایکس نمونه های احیا شده.

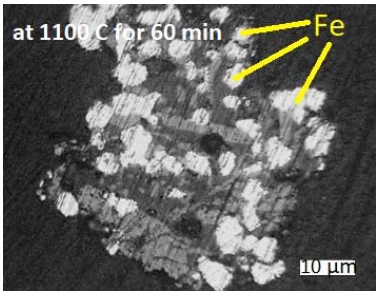


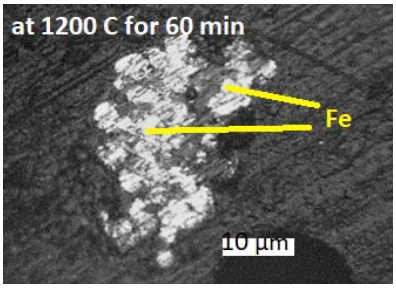


شکل ۶-۴- اثر زمان احیا (۲۰ و ۱۶۰ دقیقه) در دمای ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد بر میکروساختار کنسانتره تیتانومگنتیت.



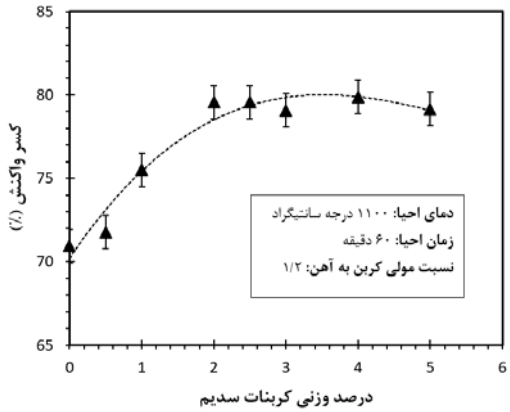




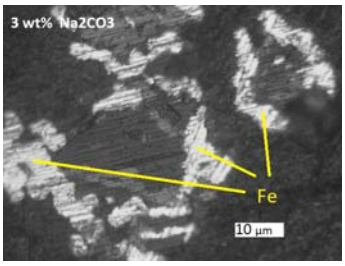


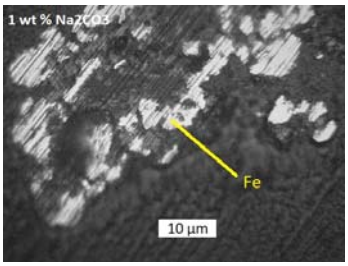
شکل ۷-۴- اثر دمای احیا (۹۰۰، ۱۰۰۰، ۱۱۰۰ و ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد) در زمان ۶۰ دقیقه بر میکروساختار کنسانتره تیتانومگنتیت.

۴-۴- مطالعه اثر افزودن کربنات سدیم



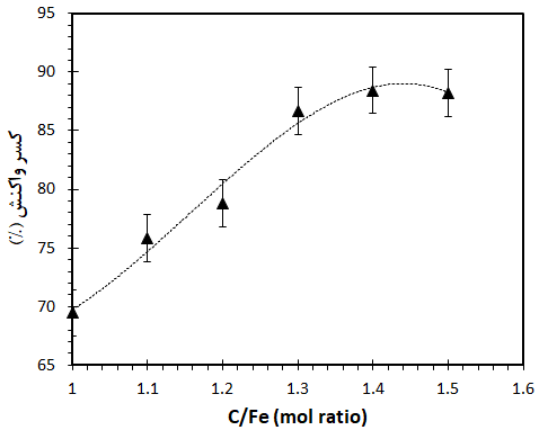
شکل ۸-۴- اثر افزودن کربنات سدیم بر کسر واکنش احیا.



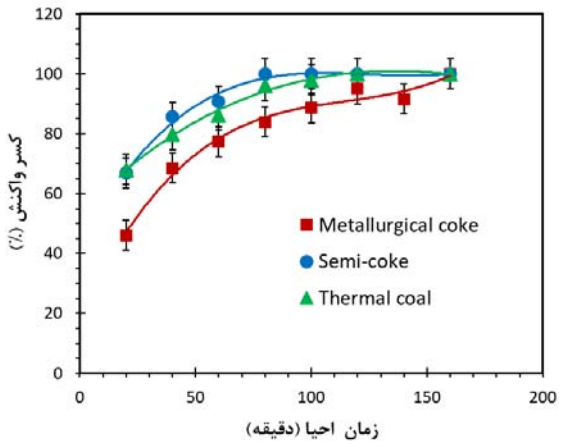


شکل ۹-۴ – تاثیر افزودن کربنات سدیم بر میکروساختار تیتانومگنتیت احیا شده.

۴–۵– مطالعه اثر مقدار کک متالورژی

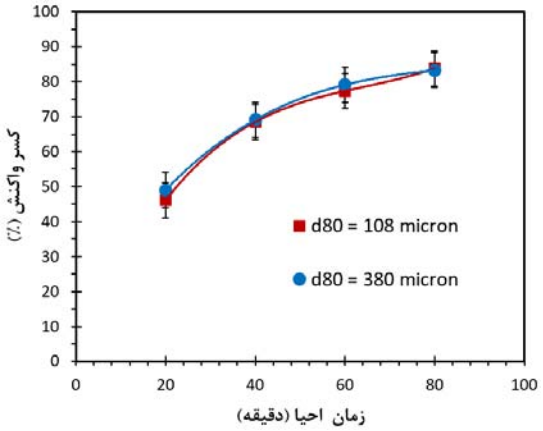


شکل ۱۰-۴- اثر مقدار کک متالورژی بر کسر واکنش احیا.



۱۱-۴- نتایج استفاده از انواع کک و ذغالسنگ در احیا تیتانومگنتیت.

۴-۶- بررسی ابعاد تیتانومگنتیت به عنوان بار ورودی بر آزمایش احیا



۴-۱۲- نتایج نقش ابعاد بار ورودی تیتانومگنتیت بر کسر واکنش احیا.

۴-۷- تولید چدن حاوی وانادیوم

جدول ۴-۱- مقدار وانادیوم در کنسانتره و فاز فلزی حاصل از احیا و درصد بازیابی آن

مقدار V_2O_5 در تیتانومگنتیت پر عیار (درصد وزنی)	معادل V عنصری در تیتانومگنتیت پرعیار (درصد وزنی)	V در چدن (درصد وزنی)	معادل V_2O_5 در چدن (درصد وزنی)	درصد بازیابی وانادیوم
۰/۹	۰/۴۵	۰/۷۸	۱/۳۹	۸۹

جدول ۴-۲- آنالیز شیمیایی چدن به روش کوانتومتری

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al
Base	۳/۴۲	۰/۱۳	۰/۰۲۹۸	۰/۰۹۵۴	۰/۱۲۴	۰/۰۴۰۲	۰/۰۱۷۵	۰/۰۰۰۹۹	<۰/۰۰۰۳۰
Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	Mg	As
۰/۰۱۲۳	۰/۰۱۹۸	<۰/۰۰۱۰	۰/۰۹	۰/۷۸	<۰/۰۰۱۰	<۰/۰۰۰۲۰	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰۲۸۰	۰/۰۰۱۱
Zr	Bi	Ca	Sb	B	Zn				
<۰/۰۰۰۵۰	۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۰۴۳	<۰/۰۰۰۵۰	<۱۰/۰۰۰	۰/۰۰۱۸				

جدول ۴-۳- آنالیز سرباره حاصل از احیا تیتانومگنتیت و تولید چدن مذاب (سرباره دورریز)

اکسید	Fe_2O_3	TiO_2	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	V_2O_5	MnO	Na_2O
درصد	۲۳/۲۷	۲۷/۱۳	۱۱/۲۴	۶/۹۰	۳/۳۷	۲۶/۶۲	۰/۱۶	۰/۹۸	۰/۲۹

۴-۸- تولید سرباره وانادیوم و فولاد

جدول ۴-۴- آنالیز شیمیایی چدن حاصل از احیا تیتانومگنتیت

چدن بعد از احیا کربوترمی (Hot Metal)		
Fe	**C**	**V**
Base	3.42	**0.78**
چدن بعد از ۵ دقیقه دمش اکسیژن		
Fe	**C**	**V**
Base	2.73	**0.41**
چدن بعد از ۱۰ دقیقه دمش اکسیژن		
Fe	**C**	**V**
Base	2.38	**0.17**
فولاد بعد از ۱۵ دقیقه دمش اکسیژن		
Fe	**C**	**V**
Base	1.93	**0.07**

جدول ۵-۴- درصد وانادیوم در سرباره های وانادیوم

زمان دمش (دقیقه)	۵	۱۰	۱۵
درصد V_2O_5	۷/۱۴	۱۰/۵۰	۱۴/۲۵

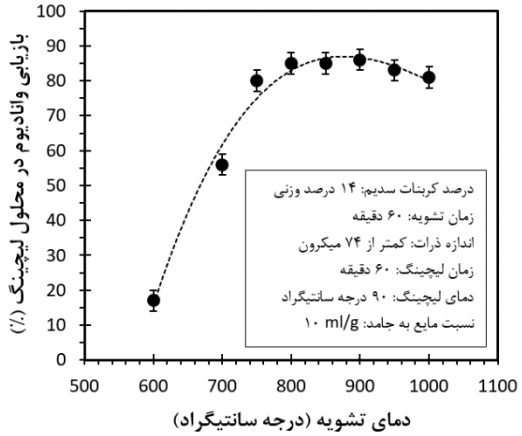
جدول ۶-۴ - آنالیز شیمیایی سرباره وانادیوم با دمش ۱۵ دقیقه اکسیژن

V_2O_5	Fe_2O_3	SiO_2	CaO	Al_2O_3	TiO_2	Cr_2O_3	MnO
۱۴/۲۵	۳۴/۵۷	۱۹/۴۵	۲۱/۹۴	۶/۷۶	۱/۶۲	۰/۶۳	۰/۵۱

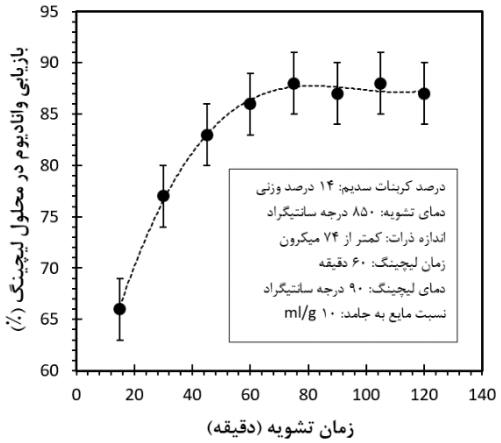
جدول ۷-۴- آنالیز شیمیایی فولاد بعد از ۲۵ دقیقه دمش اکسیژن به چدن مذاب

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al
Base	۰/۰۲۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	۰/۰۱۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۸	۰/۰۰۸۷	۰/۰۰۵
Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn		
۰/۰۶	۰/۰۳۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	<۰/۰۰۰۲۰	۰/۰۰۴۳		

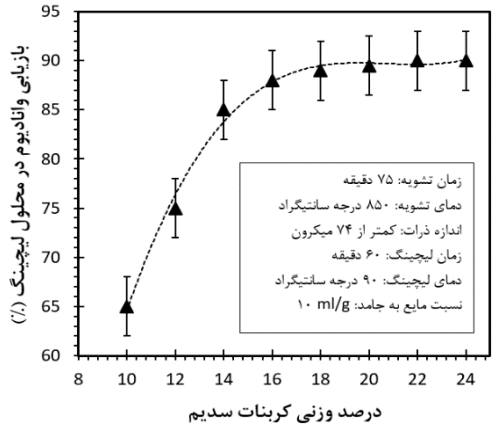
۴-۹- تولید پنتا اکسید وانادیوم



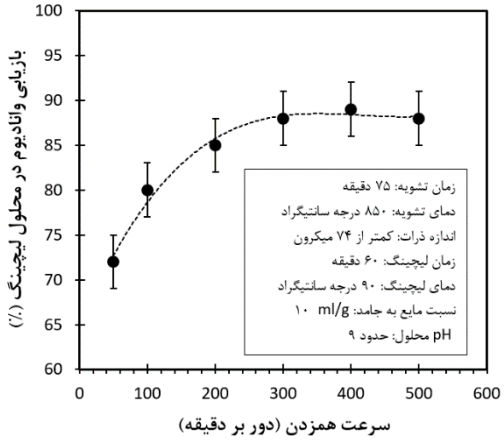
شکل ۱۳-۴- تاثیر دمای تشویه بر لیچینگ وانادیوم در آب.



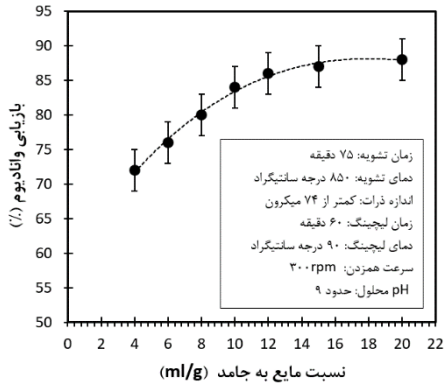
شکل ۱۴-۴- تاثیر زمان تشویه بر لیچینگ وانادیوم در آب.



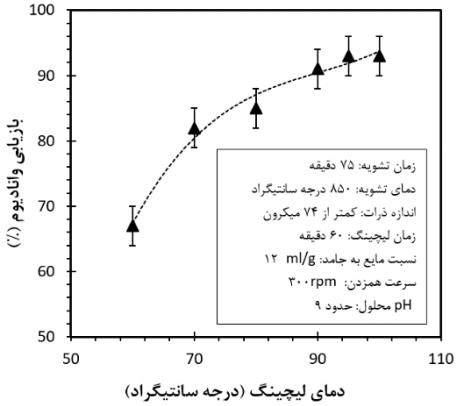
شکل ۱۵-۴- تاثیر درصد کربنات سدیم بر لیچینگ وانادیوم در آب.



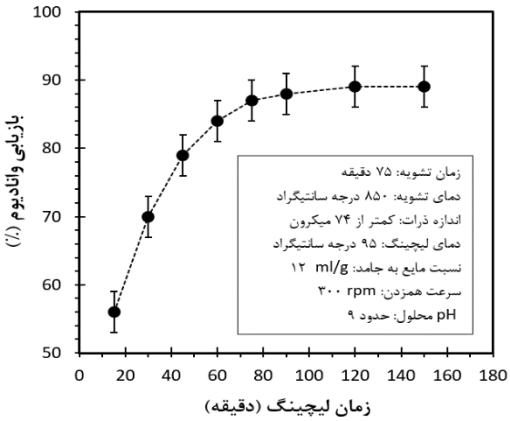
شکل ۱۶-۴- اثر سرعت همزدن محلول بر لیچینگ وانادیوم در آب.



شکل ۱۷-۴- اثر نسبت مایع به جامد بر لیچینگ وانادیوم در آب.



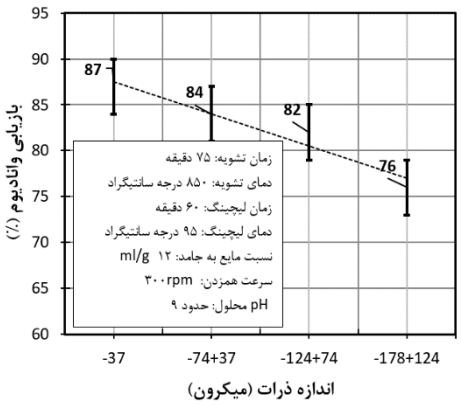
شکل ۱۸-۴- اثر دمای محلول بر لیچینگ وانادیوم در آب.



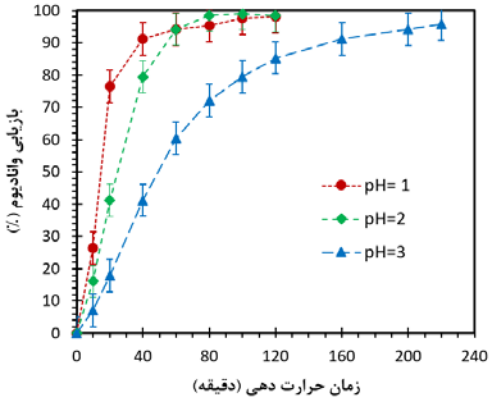
شکل ۱۹-۴- اثر زمان بر لیچینگ وانادیوم در آب.

جدول ۸-۴- آنالیز پسماند لیچینگ

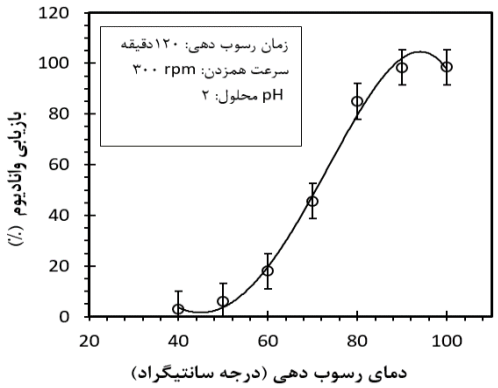
V_2O_5	Fe_2O_3	CaO	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Cr_2O_3	MnO
۲/۸۴	۳۶/۲۰	۲۴/۴۵	۲۳/۸۶	۸/۸۱	۱/۶۵	۰/۶۴	۱/۴۲



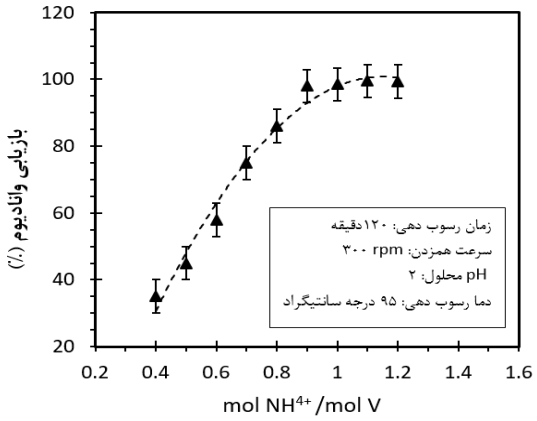
شکل ۲۰-۴- اثر اندازه ذرات بر لیچینگ وانادیوم در آب.



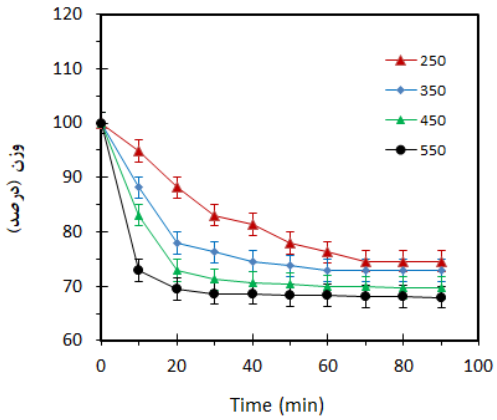
شکل ۲۱-۴ - بررسی اثر زمان حرارت دهی و pH محلول بر بازیابی وانادیوم از محلول لیچینگ به صورت پلی وانادات آمونیوم.



شکل ۲۲-۴ - اثر دمای رسوب دهی بر میزان بازیابی وانادیوم از محلول لیچینگ به صورت پلی وانادات آمونیوم.



شکل ۲۳-۴- تاثیر افزودن سولفات آمونیوم بر بازیابی وانادیوم به صورت پلی وانادات آمونیوم (APV).



شکل ۲۴-۴- تاثیر دما و زمان بر فرایند آمونیوم زدایی پلی وانادات آمونیوم و تولید پنتااکسید وانادیوم.

جدول ۹-۴ - آنالیز شیمیایی پنتا اکسید وانادیوم تولیدی به روش XRF (درصد وزنی)

V_2O_5	Na_2O	SiO_2	CaO	Al_2O_3
۹۵/۸۹	۳/۲۳	۰/۳۱	۰/۱۳	۰/۱۰

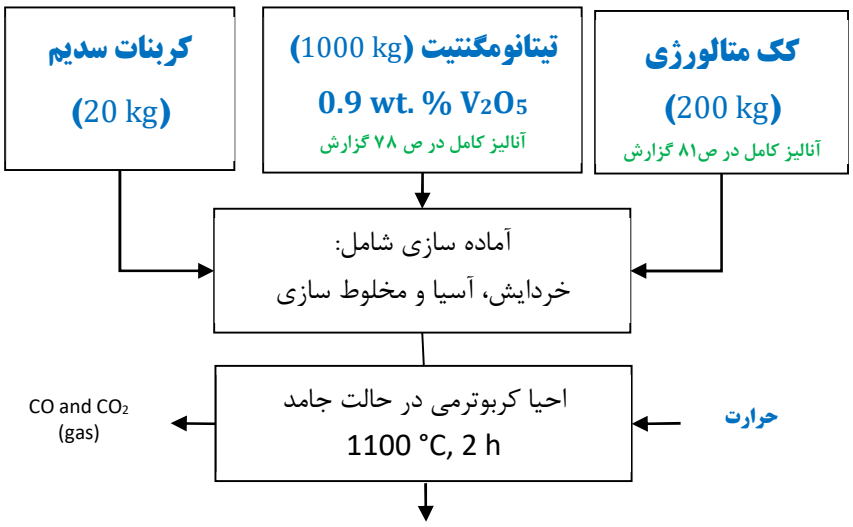
۴-۱۰- ارایه فلوشیت آزمایشگاهی همراه با موازنه مواد

شکل ۴-۲۶ فلوشیت آزمایشگاهی استحصال پنتااکسیدوانادیوم و فولاد را از کنسانتره تیتانومگنتیت نشان میدهد. مطابق این فلوشیت برای استحصال پنتااکسید وانادیوم از کنسانتره تیتانومگنتیت باید چهار مرحله اصلی شامل ۱- فرایند احیا کربوترمی، ۲- فرایند تولید سرباره وانادیوم و فولاد، ۳- فرایند تشویه سرباره وانادیوم و ۴- فرایند لیچینگ و تولید پنتااکسید وانادیوم را طی کرد. هم چنین مطابق این فلوشیت برای تبدیل یک تن کنسانتره تیتانومگنتیت به پنتااکسید وانادیوم و فولاد به حدود ۲۲۵ کیلوگرم کک متالورژی، ۳۰ کیلوگرم کربنات سدیم، ۱۰۰ کیلوگرم آهک، ۱۵ کیلوگرم سرباره ساز، ۴/۲ کیلوگرم سولفات آمونیوم، ۲/۸۵ کیلوگرم اسید سولفوریک و ۶۰۰ لیتر آب نیاز است. مقدار پنتااکسید وانادیوم (خلوص ۹۵ درصد) و فولاد تولیدی از یک تن کنسانتره تیتانومگنتیت به ترتیب حدود ۵/۵ کیلوگرم و ۴۵۰ کیلوگرم است که معادل با درصد بازیابی ۶۱/۹۴ درصد وانادیوم و ۸۳ درصد آهن است. مقدار بازیابی بدست آمده برای وانادیوم و آهن در این فرایند نزدیک به مقادیر بازیابی در کارخانه Highveld افریقای جنوبی است.

- توضیح اینکه در حال حاضر کوره قوس الکتریکی که مهمترین و گرانترین تجهیز روش Highveld محسوب می شود، در مجتمع کارخانه تیتانیوم کهنوج وجود دارد و هم چنین به دلیل تلفیقی بودن روش Highveld یعنی وجود تجهیزات پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی در آن، قابلیت شارژ کنسانتره تیتانومگنتیت به صورت مستقیم نیز برای تولید پنتااکسید وانادیوم (بدون استفاده از فرایند پیرومتالورژی) به این خط وجود دارد. لذا پیشنهاد می شود که خط موجود بر اساس فرایند Highveld تکمیل شود که در این صورت دو خط تولید پیرو و هیدرومتالورژی در کنار هم در این کارخانه وجود خواهد داشت که می تواند مبنای مطالعات برای احداث کارخانه اصلی تولید پنتااکسید وانادیوم مورد استفاده قرار گیرد.

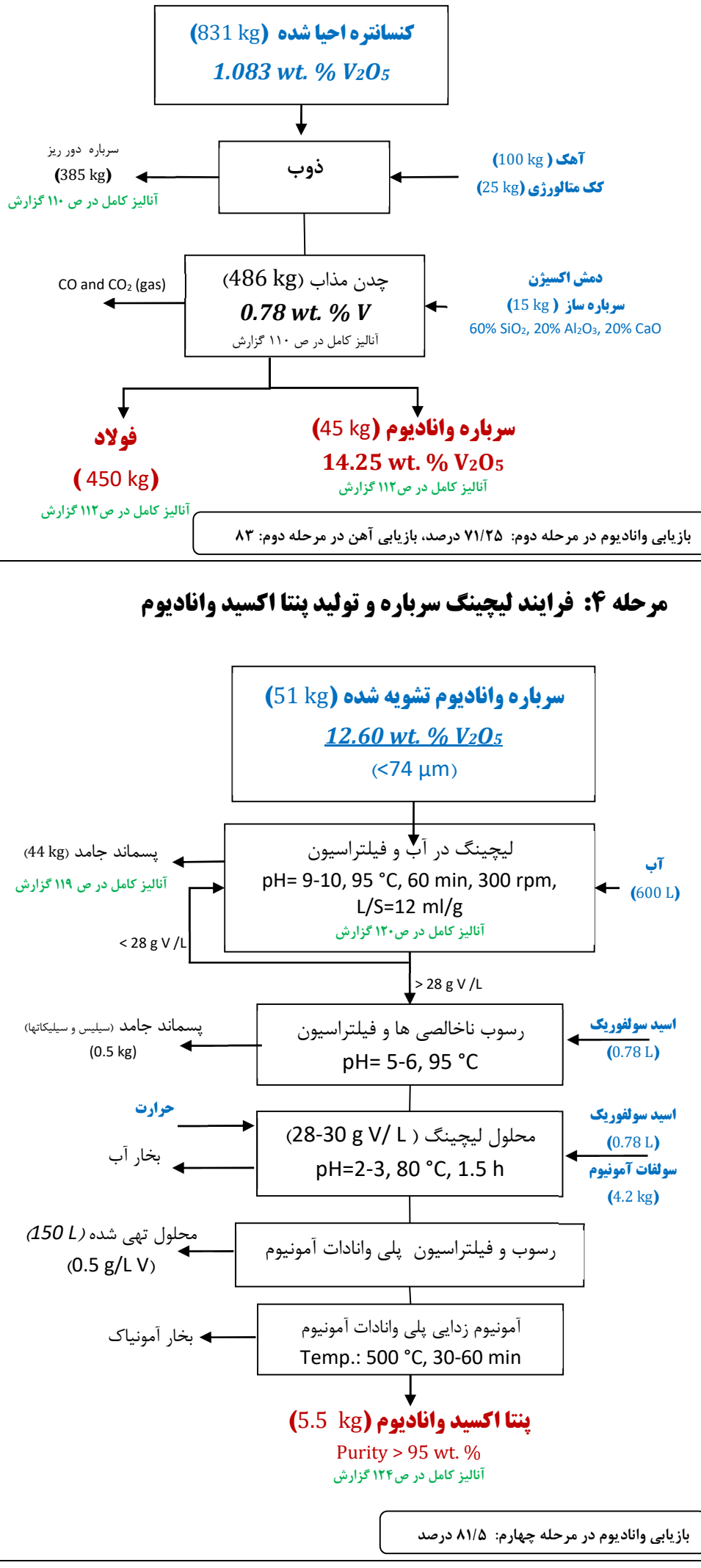
فرایند استحصال پنتا اکسید وانادیوم از کنسانتره تیتانومگنتیت
به روش پیرومتالورژی – هیدرومتالورژی

مرحله ۱: فرایند احیا کربوترمی کنسانتره



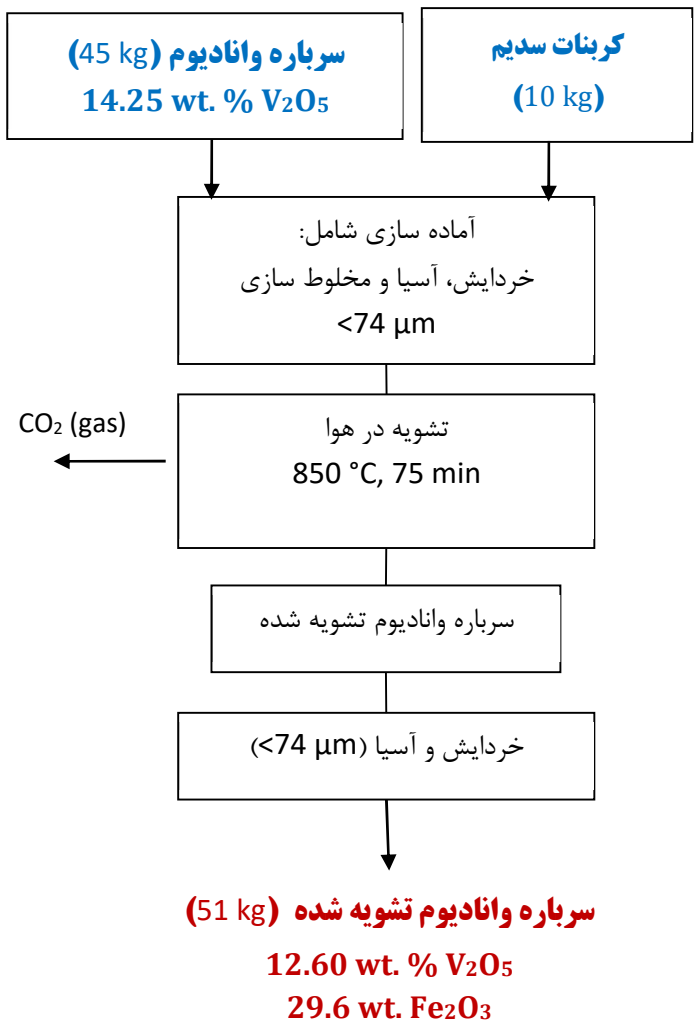
بازیابی وانادیوم در مرحله اول: ۱۰۰ درصد، بازیابی آهن در مرحله اول: ۱۰۰ درصد

مرحله ۲: فرایند تولید سرباره وانادیوم و فولاد



بازیابی وانادیوم در مرحله دوم: ۷۱/۲۵ درصد، بازیابی آهن در مرحله دوم: ۸۳

مرحله ۳: فرایند تشویه سرباره وانادیوم



بازیابی وانادیوم در مرحله سوم: ۱۰۰ درصد

مرحله ۴: فرایند لیچینگ سرباره و تولید پنتا اکسید وانادیوم

بازیابی وانادیوم در مرحله چهارم: ۸۱/۵ درصد

بازیابی کل وانادیوم: ۵۸ درصد

بازیابی کل آهن: ۸۳ درصد

شکل ۲۵-۴ - فلوشیت آزمایشگاهی تولید پنتا اکسید وانادیوم و شمش فولاد از کنسانتره تیتانومگنتیت همراه با موازنه جرم و درصد بازیابی.

فصل پنجم:

بررسی فنی و اقتصادی طرح

۵- خلاصه مطالعات فنی و اقتصادی

هدف از اجرای طرح تبدیل سالانه ۱۰۰ هزار تن کنسانتره تیتانومگنتیت به پنتااکسید وانادیوم به عنوان محصول اصلی و شمش فولاد خام به عنوان محصول فرعی است. محل اجرای طرح شهرستان کهنوج واقع در استان هرمزگان می باشد. برای تولید محصولات با ظرفیت ذکر شده، ۷۱ نفر نیروی انسانی با دو و سه شیفت کاری ۸ ساعته در روز و ۳۰۰ روز کاری در سال در نظر گرفته شده است.

ظرفیت عملی سالانه طرح براساس طراحی های انجام شده و ظرفیت ماشین آلات انتخاب شده برابر ۵۵۰ تن پنتااکسید وانادیوم با خلوص ۹۵ درصد و ۴۵۰۰۰ تن شمش فولاد خام در سال (۳۰۰ روز کاری) است. شاخصهای اقتصادی به دست آمده برای این طرح به صورت جدول ۵-۲۶ می باشد.

جدول ۱-۵ – خلاصه شاخصهای اقتصادی

شرح	مقدار	واحد
دوران ساخت	۳۶	ماه
دوران بهره‌برداری	۲۰	سال
سرمایه ثابت	۷،۰۸۷،۴۱۱	میلیون ریال
سرمایه‌درگردش	۵۵۰،۵۴۱	میلیون ریال
هزینه‌های کل سرمایه‌گذاری	۷،۶۳۷،۹۵۲	میلیون ریال
نرخ بازده داخلی	۳۵/۵	درصد
دوره بازگشت سرمایه	۳۴	ماه
سود خالص سالانه در ظرفیت کامل	۳،۱۷۷،۵۴۸	میلیون ریال
اشتغال زایی	۷۱	نفر
نقطه سربه‌سر در ظرفیت کامل	۳۱/۵	درصد
درآمد حاصل از فروش در ظرفیت کامل	۸،۶۴۹،۰۰۰	میلیون ریال
جمع کل هزینه‌های پیش بینی شده محصولات تولیدی	۵،۹۳۹،۴۵۲	میلیون ریال
هزینه مصارف تاسیساتی مورد نیاز برای تولید	۸۲۸۵۵	میلیون ریال

فصل ششم:

مقایسه پارامترهای فنی و اقتصادی دو طرح پژوهشی (پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی)

۶- مقایسه پارامترهای فنی و اقتصادی روش‌های پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی

برای مقایسه پارامترهای فنی و اقتصادی تولید پنتااکسید وانادیوم و فلز آهن از کنسانتره تیتانومگنتیت از نتایج بررسی فنی و اقتصادی دو پروژه تحقیقاتی زیر بهره برده شد:

الف- *بررسی و مقایسه روش های صنعتی استحصال پنتا اکسید وانادیوم از کنسانتره تیتانومگنتیت کهنوج و اجرای روش بهینه در مقیاس آزمایشگاهی با لحاظ پارامترهای اقتصادی* به شماره قرارداد ۲۵۵۵۸ انجام شده در دانشگاه صنعتی همدان، گروه مهندسی مواد و متالورژی

ب- *استحصال وانادیوم و آهن از محصول تیتانومگنتیتی کهنوج در مقیاس آزمایشگاهی* به شماره قرارداد ۱۵۹۲۳ انجام شده در مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران (کرج)

به طور کلی قابلیت ها و نقاط ضعف دو طرح را از نظر فنی می توان به شرح زیر خلاصه کرد:

ویژگیهای فنی طرح الف:

- روش یا فرایند مورد استفاده در طرح الف، روش و فرایندی استاندارد و شناخته شده در جهان است و در کشورهایی همچون افریقای جنوبی (کارخانه Highveld)، روسیه (کارخانه NTMK)، چین (کارخانه Panzhi hua) و نیوزیلند (کارخانه New Zealand Steel) در حال انجام است.
- محصول جانبی فرایند شمش فولاد است که به طور مستقیم و بدون نیاز به تجهیزات و فرایندهای جانبی تولید می شود. این محصول به راحتی قابل فروش بوده و دارای ارزش افزوده بسیار بالایی است.
- به دلیل فراگیر بودن این روش و شناسایی جنبه های مختلف فرایند آن در طی سالیان متمادی در قالب تحقیقات مختلف، کنترل و تسلط بر این فرایند به راحتی در دسترس است.
- تجهیزات و فرایند این روش در کل دنیا شناخته شده است لذا برای توسعه آتی کارخانه صنعتی یا نیمه صنعتی هیچ مشکلی وجود نخواهد داشت.

ویژگیهای فنی طرح ب:

- روش یا فرایند انتخاب شده عمدتا یک روش تحقیقاتی است که برای شناخت جنبه های مختلف فرایند راه زیادی در پیش دارد و تاکنون کارخانه صنعتی بر اساس آن احداث نشده است.

- مهمترین ماده اولیه در این فرایند یعنی حلال آلی، در داخل کشور تولید نمی شود. به دلیل حجم زیاد استفاده از حلال آلی در فرایند، عدم واردات یا وجود مشکل در واردات آن، خط تولید را با مشکل جدی مواجه خواهد کرد.
- در صورتی که فرایند تبدیل اکسید آهن به آهن فلزی از این فرایند حذف شود، هزینه سرمایه گذاری آن نسبت به روش پیرومتالورژی کمتر است.
- درصورت حذف فرایند تبدیل اکسید آهن به آهن فلزی، آلودگی زیست محیطی کمتر نسبت به روش های پیرومتالورژی دارد.
- بازیابی وانادیوم نسبت به روش پیرومتالورژی بالاتر است.
- محصول قابل فروش این فرایند فقط پنتااکسید وانادیوم می تواند باشد. سایر محصولات جانبی و فرایندهای پیشنهادی برای آنها فقط جنبه نمایشی دارد.
- استفاده از کربن به میزان یک چهارم کربن مورد نیاز برای فرایند احیا اکسیدهای آهن، منجر به عدم تکمیل واکنش احیا می شود و در نتیجه آهن تولیدی حاوی مقادیر قابل توجهی اکسید های آهن احیا نشده است. این محصول به عنوان آهن فلزی قابلیت فروش ندارد.

پارامترهای اقتصادی دو طرح را نیز می توان به شرح جدول ۱-۶ خلاصه و مقایسه کرد:

جدول ۱-۶- مقایسه پارامترهای اقتصادی دو طرح

	طرح الف	طرح ب	توضیحات
کیفیت بررسی فنی و اقتصادی	خوب	ضعیف	در طرح ب، برخی از داده های مهم و تاثیر گذار در محاسبات فنی و اقتصادی کاملا تخمینی و بدون هیچ محاسبه و مستندی ارایه شده است. لیست تجهیزات و واحدهای مختلف کارخانه نیز در گزارش ذکر نشده است. لذا محاسبات با خطای زیادی می تواند همراه باشد.
کیفیت فرایند استفاده شده	کاملا استاندارد و شناخته شده صنعتی	عمدتا تحقیقاتی و در حد نیمه صنعتی	در طرح ب، مستندی در مورد استفاده از این فرایند به صورت صنعتی وجود ندارد و در گزارش مربوطه نیز به کارخانه ای که از این فرایند استفاده می کند، اشاره نشده است. به نظر می رسد این فرایند در حال حاضر عمدتا به صورت تحقیقاتی استفاده می شود.
ظرفیت تولید سالانه محصول اصلی	۵۵۰ تن پنتااکسید وانادیوم با خلوص بیش از ۹۵ درصد	۸۰۰ تن پنتااکسید وانادیوم با خلوص ۸۶ درصد	در طرح ب، خلوص محصول اصلی و فرعی پایین است.
ظرفیت تولید سالانه محصول فرعی	۴۵۰۰۰ تن شمش فولاد	۵۷۰۰۰ تن آهن با خلوص ۸۷ درصد	در طرح ب، آهن تولیدی به دلیل وجود ناخالصی های زیاد (محتوای زیاد اکسیدهای آهن) قابلیت فروش ندارد.
هزینه سرمایه گذاری کل	۷،۶۳۷،۹۵۲ میلیون ریال	۳،۰۷۵،۰۰۰ میلیون ریال	در طرح ب، هزینه سرمایه گذاری کل به دلیل عدم ارایه لیست تجهیزات و نیز کمتر در نظر گرفتن مقدار ذغالسنگ مصرفی (یک چهارم مقدار واقعی) قابل اطمینان نیست.
اشتغال زایی	۷۱ نفر	۳۱ نفر	
سود خالص سالانه در ظرفیت کامل تولید	۳،۱۷۷،۵۴۸ میلیون ریال	۱،۴۴۶،۷۴۲ میلیون ریال	در طرح ب، سود خالص محاسبه شده به دلیل موارد ذکر شده در ردیف قبل، قابل اطمینان نیست.
نرخ بازده داخلی	۳۵/۵ درصد	۴۷ درصد	در طرح ب، نرخ بازده داخلی به دلیل موارد ذکر شده در ردیف قبل، قابل اطمینان نیست.
دوره بازگشت سرمایه	۳۴ ماه	۲۵ ماه	در طرح ب، دوره بازگشت سرمایه به دلیل موارد ذکر شده در ردیف قبل، قابل اطمینان نیست.
نقطه سربه سر تولید	۳۱/۵ درصد	ارایه نشده است	

با توجه به مطالب فوق و مقایسه دو طرح از نظر فنی و اقتصادی، استفاده از طرح الف برای استحصال پنتااکسید اکسید وانادیوم از کنسانتره تیتانومگنتیت کهنوج نسبت به طرح ب ارجحیت دارد.

فصل هفتم:

نتیجه‌گیریها و پیشنهادات

۷-۱- نتیجه‌گیریها

از انجام تحقیق حاضر، نتایج زیر حاصل شد:

۱- پیش اکسیداسیون تاثیر محسوسی روی بهبود احیا کربوترمی کنسانتره تیتانومگنتیت کهنوج نداشت و تیتانومگنتیت اولیه رفتار احیا پذیری بهتری از تیتانومگنتیت پیش اکسید شده، دارد.

۲- قدرت احیا کنندگی منابع کربن مورد استفاده به ترتیب شبه کک > ذغالسنگ حرارتی> کک متالورژی است.

۳- کاهش اندازه ذرات کنسانتره تیتانومگنتیت تاثیر محسوسی روی راندمان احیا کربوترمی تیتانومگنتیت نداشت.

۴- شرایط مناسب برای احیا کربوترمی تیتانومگنتیت در حالت جامد عبارت است از:

دمای ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد، زمان ۲ ساعت، نسبت مولی آهن به کربن ۱/۳ و ۲ درصد وزنی کربنات سدیم

۵- با دمش اکسیژن به مدت ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه به چدن حاوی ۰/۷۸ درصد وزنی وانادیوم، وانادیوم چدن به ترتیب به ۰/۴۱، ۰/۱۷ و ۰/۰۷ رسید. مقدار اکسید وانادیوم در سرباره وانادیوم بعد از ۱۵ دقیقه دمش به ۱۴/۲۵ درصد وزنی رسید.

۶- شرایط مناسب برای تشویه سرباره وانادیوم به صورت زیر تعیین شد:

زمان تشویه ۷۵ دقیقه، دمای تشویه ۸۵۰ درجه، اندازه ذرات ۷۴ میکرون، ۱۸ درصد وزنی کربنات سدیم

۷- شرایط مناسب برای لیچینگ سرباره وانادیوم به صورت زیر تعیین شد:

حلال آب، دمای لیچینگ ۹۵ درجه سانتیگراد، زمان لیچینگ ۶۰ دقیقه، نسبت مایع به جامد ۱۲، سرعت همزدن ۳۰۰ دور در دقیقه، اندازه ذرات کمتر از ۷۴ میکرون

۸- شرایط مناسب برای رسوب پلی وانادات آمونیوم از محلول لیچینگ حاوی حداقل ۲۸ گرم وانادیوم، عبارت است از: pH محلول در محدوده ۳-۲، افزودن سولفات آمونیوم، نگهداری به مدت ۲-۱/۵ ساعت در محدوده دمایی ۹۰-۸۰ درجه سانتیگراد

۹- پنتا اکسید وانادیوم با خلوص حدود ۹۵ درصد وزنی از آمونیوم زدایی پلی وانادت آمونیوم (APV) در دمای حدود ۴۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۶۰ دقیقه حاصل شد.

۱۰- با استفاده از فرایند بکار برده شده و شرایط تعیین شده در این تحقیق، از هر تن کنسانتره تیتانومگنتیت، مقدار ۵/۵ کیلوگرم پنتااکسید وانادیوم و ۴۵۰ کیلوگرم فولاد قابل تولید است.

۱۱- بازیابی کل وانادیوم و آهن در این تحقیق به ترتیب برابر با ۵۸ درصد و ۸۳ درصد بود که تقریبا مشابه با بازیابی فرایند Highveld افریقای جنوبی است.

۱۲- بررسی فنی و اقتصادی طرح نشان داد که مقدار شاخص های اقتصادی برای تولید پنتااکسید وانادیوم به عنوان محصول اصلی و شمش فولاد به عنوان محصول ثانویه به صورت زیر است:

- سرمایه گذاری کل: ۷،۶۳۷،۹۵۲ میلیون ریال
- سود خالص سالانه در ظرفیت کامل تولید: ۳،۱۷۷،۵۴۸ میلیون ریال
- نرخ بازده داخلی: ۳۵/۵ درصد
- دوره بازگشت سرمایه: ۳۴ ماه
- نقطه سربه سر تولید: ۳۱/۵ درصد

۱۳- پیشنهاد می شود که خط نیمه صنعتی موجود در کارخانه تیتانیوم کهنوج بر اساس فرایند Highveld تکمیل شود که در این صورت دو خط تولید پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی در کنار هم در این کارخانه وجود خواهد داشت که می تواند مبنای مطالعات برای احداث کارخانه اصلی تولید پنتااکسید وانادیوم با روش پیرومتالورژی یا هیدرومتالورژی مورد استفاده قرار گیرد.

۷-۲- پیشنهادات

۱- استفاده از روش VEPT کانادا برای کنسانتره تیتانومگنتیت کهنوج جهت بازیابی عناصر باارزش آن.

۲- تولید نیترید وانادیوم (جایگزینی برای فروواناديوم) از پنتااکسید وانادیوم به عنوان محصولی با ارزش افزوده بالاتر

۳- تکمیل خط تولید نیمه صنعتی پنتااکسید وانادیوم و شمش فولاد به روش تلفیقی پیرومتالورژی – هیدرومتالورژی (روش Highveld) از کنسانتره تیتانومگنتیت در مجتمع تیتانیوم کهنوج.

- توضیح اینکه در حال حاضر کوره قوس الکتریکی که مهمترین و گرانترین تجهیز روش Highveld محسوب می شود، در مجتمع کارخانه تیتانیوم کهنوج وجود دارد و هم چنین به دلیل تلفیقی بودن روش Highveld یعنی وجود تجهیزات پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی در آن، قابلیت شارژ کنسانتره تیتانومگنتیت به صورت مستقیم نیز برای تولید پنتااکسید وانادیوم (بدون استفاده از فرایند پیرومتالورژی) به این خط وجود دارد. لذا پیشنهاد می شود که خط موجود بر اساس فرایند Highveld تکمیل شود که در این صورت دو خط تولید پیرو و هیدرومتالورژی در کنار هم در این کارخانه وجود خواهد داشت که می تواند مبنای مطالعات برای احداث کارخانه اصلی تولید پنتااکسید وانادیوم مورد استفاده قرار گیرد.

منابع و مراجع

References:

1. Fathi Habashi, Handbook of Extractive Metallurgy, Wiley-VCH, 1998.
2. C. K. Gupta, Extractive Metallurgy of Vanadium (Process Metallurgy), Elsevier Science, 1992.
3. B. Yang, J. He, G. Zhang, J. Guo, Vanadium: Extraction, Manufacturing and Applications, 1st ed, Elsevier, 2020.
4. R. R. Moskalyc, A. Alfantazi, Processing of Vanadium: A Review, Minerals Engineering 16(9):793-805.
5. www.Evraz.com, Highveld Vanadium and Steel Co., Processing Technology.

۶. گزارش فنی "ذخایر معدن تیتانیوم کهنوج"، طرح تیتانیوم کهنوج، ۱۳۸۵.

7. https://www.bushveldminerals.com/about-vanadium.

۸. امکان سنجی تولید دی اکسید تیتانیوم از کنسانتره تیتانیوم کهنوج، طرح تیتانیوم کهنوج، ۱۳۸۵.

9. M. Lindwall, Selective oxidation of vanadium prior to iron and phosphorus, MSc Thesis, Lulea University of Technology, 2006.
10. http://www.ntmk.ru/en.
11. https://www.nzsteel.co.nz/
12. G. Ye, Recovery of Vanadium from LD Slag, A state of the art report, Part 1: Facts and metallurgy of Vanadium, Mefos report, 2006.
13. hotcopper.com.au, Balla Balla Vanadium Plant Feasibility Study, 2007.
14. https://www.bushveldminerals.com/vametco.
15. https://www.largoresources.com/operations/maracas-menchen-mine.
16. Metallurgical and chemical processes for recovering vanadium and iron values from vanadiuferous titanomagnetite and vanadiferrous feed stocks, Inetrantional Patent No: WO 2018/152628 A1.
17. V.I. Lakshmanan, R. Sridhar, T. Sheikhzeinoddin, M. A. Halim, R. Roy, Extraction of titanium and vanadium by chloride leach processes, Symposium on Hydrometallurgy, Electrometallurgy and Materials Characterization, 2012.
18. E. Hukkanen, H. Walden, The production of vanadium and steel from titanomagnetites, Int. J. Miner. Process. 15 (1985) 89–102.
19. B.C. Jena, W. Dresler, I.G. Reilly, Extraction of titanium, vanadium and iron from titanomagnetite deposits at pipestone lake, Manitoba, Canada, Miner. Eng. 8 (1995) 159–168.
20. X. Lv, Z. Lun, J. Yin, C. Bai, Carbothermic reduction of vanadium titanomagnetite by microwave irradiation and smelting behavior, ISIJ Int. 53 (2013) 1115–1119.
21. S.Y. Chen, M.S. Chu, A new process for the recovery of iron, vanadium, and titanium from vanadium titanomagnetite, J. South. African Inst. Min. Metall. 114 (2014) 481–488.
22. L. Zhao, L. Wang, T. Qi, D. Chen, H. Zhao, Y. Liu, A novel method to extract iron, titanium, vanadium, and chromium from high-chromium vanadium-bearing titanomagnetite concentrates, Hydrometallurgy. 149 (2014) 106–109.
23. D. Chen, H. Zhao, G. Hu, T. Qi, H. Yu, G. Zhang, L. Wang, W. Wang, An extraction process to recover vanadium from low-grade vanadium-bearing titanomagnetite, J. Hazard. Mater. 294 (2015) 35–40.
24. A. Mehdilo, M. Irannajad, B. Rezai, Applied mineralogical characterization of ilmenite from Kahnuj placer deposit, Southern Iran, Period. Di Mineral. 84 (2015) 289–302.
25. X. Zhu, W. Li, X. Guan, Vanadium extraction from titano-magnetite by hydrofluoric acid, Int. J. Miner. Process. 157 (2016) 55–59.
26. Y. Zhang, L. Yi, L. Wang, D. Chen, W. Wang, Y. Liu, H. Zhao, T. Qi, A novel process for the recovery of iron, titanium, and vanadium from vanadium-bearing titanomagnetite: sodium modification–direct reduction coupled process, Int. J. Miner. Metall. Mater. 24 (2017) 504–511.
27. Y. Kapelyushin, V.E. Roshchin, A. V Roshchin, Beneficiation of Vanadium and Titanium Oxides by Using Selective Extraction of Iron in Low-Titanium Magnetite Concentrate, in: Solid State Phenom., Trans Tech Publ, 2017, 913–918.
28. R. Li, T. Liu, Y. Zhang, J. Huang, C. Xu, Efficient extraction of vanadium from vanadium–Titanium magnetite concentrate by potassium salt roasting additives, Minerals. 8 (2018) 25.
29. Y. Zhang, L. Wang, D. Chen, W. Wang, Y. Liu, H. Zhao, T. Qi, A method for recovery of iron, titanium, and vanadium from vanadium-bearing titanomagnetite, Int. J. Miner. Metall. Mater. 25 (2018) 131–144.
30. H. Zheng, W. Zhang, Y. Guo, Q. Gao, F. Shen, Transformation of Vanadium-Bearing Titanomagnetite Concentrate in Additive-Free Roasting and Alkaline-Pressure Leaching for Extracting Vanadium (V), Minerals. 9 (2019) 197.

۳۱. آماده، احمد علی. پرعیارسازی کنسانتره تیتانیوم معدن کهنوج به روش سرباره سازی. نشریه دانشکده فنی ۱۳۷۹؛

۳۴ (۳): ۴۳-۳۵.

۳۲. مهدیلو، اکبر؛ غفاری، سعید؛ ایران نژاد، مهدی. استحصال وانادیم از تیتانومگنتیت قره آغاج به روش تشویه و انحلال. نشریه علمی-پژوهشی "مهندسی معدن" ۱۳۸۷؛ ۳ (۶): ۱۷-۹.

33. D. Baboshko, L. Saithareiev, H. Hubin, O. Vodennikova, I. Skidin, Researching of physicochemical and structural-phase transformations in carbothermal titanomagnetite concentrates reduction for sustainable development of raw materials base of metallurgical enterprises, E3S Web of Conferences 166, 06011 (2020).
34. Y. Zhao, T. Sun1, H. Zhao, C. Chen, X. Wang, Effect of reductant type on the embedding direct reduction of beach titanomagnetite concentrate, International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials 26 (2019) 152.
35. S. Poyanfar, M. Askari, Solid state reduction of Iranian titanomagnetite concentrate optimization and study, Mineral Processing and Extractive Metallurgy, https://doi.org/10.1080/25726641.2019.1698852.
36. D. Chen, B. Song, L. Wang, T. Qi, Y. Wang, W. Wang, Solid state reduction of Panzhihua titanomagnetite concentrates with pulverized coal, Minerals Engineering, Minerals Engineering 24 (2011) 864–869.

Abstract

Titanomagnetite concentrate is a by-product of the production of ilmenite concentrate in the Kahnooj titanium complex. This concentrate contains about 54% iron (iron in iron oxides), 12% titanium oxide and about 0.9% vanadium pentoxide. Pyrometallurgical methods (Highveld, NTMK, Panzhihua, New Zealand, SSAB) and hydrometallurgical methods (Vametco, Balla Balla, Largo, VEPT and TIVAN) can be used to extract vanadium oxide from titanium magnetite concentrate. It should be noted that the mentioned methods are industrial methods and standard production of vanadium pentoxide from titanomagnetite concentrate. In this research according to Highveld process, several steps were used for the extraction of vanadium pentoxide from Kahnooj titanomagnetite concentrate including: a- Solid state carbothermic reduction of titanomagnetite concentrate, b- Production of cast iron containing vanadium, c- Production of vanadium slag (and steel) by blowing oxygen into cast iron, d- Roasting of vanadium salg, e-leaching of vanadium slag in water, f-Precipitation of ammonium polyvanadate from the leaching solution, and g- ammonium removing and production of vanadium pentoxide. Raw materials and products were characterized by XRD, XRF, SEM, UV-visible, AAS, and SES methods. Moreover, the effective parameters in each of the steps were examined and the optimal conditions for each step were obtained. According to laboratory Process Flow Diagram, to convert titanomagnetite concentrate to vanadium pentoxide (95 %) and steel in optimal conditions, a ton of titanomagnetite concentrate requires 225 kg of metallurgical coke, 30 kg of sodium carbonate, 100 kg burnt lime, 15 kg of flux, 4.2 kg of ammonium sulfate, 2.85 kg of sulfuric acid, and 600 liters of water are required. According to the results, the amount of vanadium pentoxide and steel that can be produced from one ton of titanomagnetite concentrate is equal to 5.5 kg and 450 kg, respectively. This amount of production showed that the total recovery of vanadium and iron in this process is equal to 58% and 83%, respectively. Feasibility studies of the project showed that the economic indicators for the production of vanadium pentoxide as the main product and steel ingots from Kahnooj titanomagnetite concentrate (100 thousand tons per year) include: 7,637,952 million rials Total investment cost; 3,177, 548 million rials annual net profit; 35.5% of the internal rate of return; 2.819 years of return of investment; and 31.5% of the break even point (BEP).

Keywords: Titanomagnetite concentrate, Carbothermic reduction, Roasting, Leaching, Vanadium Oxide, Steel.

IRANIAN MINES AND MINING INDUSTRIES DEVELOPMENT AND RENOVATION ORGANIZATION

سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران

Evaluation and comparison of industrial methods of vanadium pentoxide production from Kahnooj titano-magnetite concentrate and implementation of optimal method on a laboratory scale in terms of economic parameters

Management report

Contract number: 25558

Hamedan University of Technology

Project Manager: Mehdi Pourabdoli, PhD

Researchers: Z. Hosseini, MSc; Z. Sahebi, MSc

February 2022