

پرعیار سازی کنسانتره تیتانیوم معدن کهنوج به روش سرباره سازی

احمد علی آماده

استاد یار گروه مهندسی متالورژی و مواد - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

محمد حسین پایدار

دانشجوی دکتری گروه مهندسی متالورژی و مواد - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

ابوالقاسم عطایی

استاد یار گروه مهندسی متالورژی و مواد - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

مسعود امامی

استاد یار گروه مهندسی متالورژی و مواد - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

رامز وقار

استاد گروه مهندسی متالورژی و مواد - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۷۸/۱۱/۶، تاریخ تصویب ۷۹/۷/۹)

چکیده

تحقیق حاضر به منظور پرعیار سازی کنسانتره های معدن تیتانیوم کهنوج، ایلمنیت و تیتانومگنتیت، به روش سرباره سازی به انجام رسیده است. در این پژوهش سعی شده است ضمن تعیین پارامترهای مؤثر بر فرآیند سرباره سازی و بررسی چگونگی تأثیر آنها بر نحوه تشکیل و جدایش چدن از سرباره و توزیع عناصر مختلف در آنها، تأثیر اکسیداسیون و استحاله های فازی کنسانتره ها در دمای بالا نیز بر روند فرآیند سرباره سازی مورد بررسی قرار گیرد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان دادند که دما و زمان احیاء و ذوب، نوع و میزان مواد کمک ذوب و عامل احیاء کننده از مهمترین پارامترهای کنترل کننده فرآیند سرباره سازی بوده و هر کدام بنحوی بر چگونگی جدایش چدن از سرباره و ترکیب شیمیایی آنها تأثیر می گذارند. در این رابطه نتایج نشان دادند که در حضور ۵ درصد وزنی خوراک اولیه، دولومیت، با افزایش زمان و دمای مرحله ذوب از میزان اکسیدهای رنگی سرباره از جمله اکسید وانادیم کاسته شده و با اعمال شرایط عکس امکان بازیابی تقریباً کامل اکسید وانادیم و دیگر اکسیدهای موجود در خوراک اولیه در سرباره وجود دارد. این نتایج همچنین نشان دادند که اکسیداسیون اولیه کنسانتره تأثیر چندانی بر روند فرآیند سرباره سازی ندارد.

واژه های کلیدی: پرعیار سازی، ایلمنیت، تیتانومگنتیت، سرباره سازی، تیتانیوم، کهنوج

مقدمه

درصد آهن و بقیه اکسیژن است. روتیل نیز که سنگ معدن مرغوبتری برای تولید اکسید تیتانیوم به عنوان رنگدانه و تیتانیوم فلزی به شمار می آید، دارای ۶۰٪ وزنی تیتانیوم و ۴۰٪ اکسیژن می باشد [۱]. سنگ معدن ایلمنیت نسبت به روتیل، در طبیعت از فراوانی بیشتری برخوردار بوده و بدین لحاظ بعنوان مهمترین سنگ معدن تیتانیوم شناخته شده و مورد استفاده قرار می گیرد. ایلمنیت معمولاً همراه با مقداری مگنتیت در سنگهای آذرین و رسوبی دیده می شود. در این سنگها ایلمنیت اغلب بصورت هم رشدی با مگنتیت پدید می آید. ایلمنیت در کشورهایی چون ایالات متحده آمریکا، استرالیا، کانادا، نروژ، فنلاند، مالزی، هند، اسپانیا و آفریقای جنوبی یافت می شود. در ایران کانسار ابرفتی واقع در ۲۵

تیتانیوم فلزی به رنگ خاکستری - نقره ای، سبک و قابل انعطاف است. این فلز با تشکیل حدود ۰/۶۳ درصد وزنی از پوسته زمین از لحاظ فراوانی نهمین عنصر و بعد از آلومینیوم، آهن و منیزیم چهارمین فلز صنعتی فراوان در پوسته زمین به شمار می رود [۱]. فلز تیتانیوم تقریباً در اکثر سنگهای آذرین و رسوبی یافت می شود، بطوریکه تاکنون ۷۰ نوع سنگ معدن مختلف حاوی عنصر تیتانیوم شناخته شده است. از بین این ترکیبات، ایلمنیت با فرمول شیمیایی $FeOTiO_2$ و روتیل با فرمول TiO_2 عملاً جهت استخراج اکسید و در ادامه آن فلز تیتانیوم مورد استفاده قرار می گیرند. ایلمنیت خالص دارای ۳۱/۶ درصد وزنی تیتانیوم، ۳۶/۹

روش تحقیق

در فرآیند سرباره‌سازی خوراک اولیه از سه جزء اصلی شامل کنسانتره‌های تیتانیوم (در این مورد از مخلوط کنسانتره‌های ایلمنیت و تیتانومگنتیت و مخلوط آنها با نسبت‌های مختلف استفاده شد)، عامل احیاء کننده (کک نفتی) و مواد کمک ذوب (کربنات سدیم، دولومیت و فلورین)، تشکیل می‌شد. جداول (۱) تا (۳) ترکیب شیمیایی این مواد را نشان می‌دهند به منظور بررسی استحاله فازی کنسانتره‌ها حین اکسیداسیون در دمای بالا و بررسی تأثیر آن بر فرآیند سرباره‌سازی، آزمایش‌هایی در دمای ثابت و زمان‌های مختلف انجام پذیرفت [۶]. در این آزمایش‌ها از اندازه‌گیری افزایش وزن نمونه به منظور تعیین درجه اکسیداسیون و از آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) جهت تعیین استحاله‌های فازی استفاده شد.

آزمایش‌های سرباره‌سازی [۷]، با استفاده از کوره تاومن و در سه مرحله کلسینه، احیاء و ذوب مطابق با فلوشیت ارائه شده در شکل (۱) انجام پذیرفت. در این آزمایش‌ها مقدار عامل احیاء کننده برای کنسانتره قبل و بعد از اکسیداسیون، متناسب با مقدار لازم جهت احیاء تمامی اکسید آهن موجود در کنسانتره به ترتیب ۱۲ و ۱۴/۳ درصد وزنی خوراک اولیه انتخاب شد.

کیلومتری جنوب شهرستان کهنوج با متوسط عیار اکسید تیتانیوم حدود ۳/۷ درصد، و در مساحتی حدود ۳/۲ کیلومتر مربع و ذخیره قطعی حدود ۴۴ میلیون تن یکی از بزرگترین معادن تیتانیوم محسوب می‌شود [۲]. جداسازی و تخلیص اکسید تیتانیوم از سنگ معدن آن به روش‌های گوناگون صورت می‌پذیرد که از آنجمله می‌توان به پرعیارسازی سنگ معدن توسط روش‌های فیزیکی و جداسازی اکسید تیتانیوم و اکسید آهن به روش‌های شیمیایی اشاره نمود. در مرحله فیزیکی فرآیند پرعیار سازی متناسب با نوع کنسانتره، درصد اکسید تیتانیوم حاصل متغیر بوده و تا ۶۰ درصد نیز قابل ارتقاء می‌باشد. در مراحل بعدی و با استفاده از روش‌های شیمیایی از جمله احیاء در دمای بالا، انحلال در اسید سولفوریک غلیظ و کلرزنی، عیار اکسید تیتانیوم تا بیش از ۹۵ درصد نیز قابل دسترسی است [۵-۱].

در تحقیق حاضر که به منظور پرعیارسازی کنسانتره معدن تیتانیوم کهنوج، ایلمنیت و تیتانومگنتیت، به روش سرباره‌سازی به انجام رسید، سعی شده است ضمن تعیین پارامترهای مؤثر بر این فرآیند و چگونگی تأثیر آنها بر نحوه تشکیل و جدایش چدن از سرباره و توزیع عناصر مختلف در آنها، تأثیر اکسیداسیون و استحاله‌های فازی احتمالی کنسانتره‌ها در دمای بالا نیز بر روند فرآیند سرباره سازی مورد بررسی قرار گیرد.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی کنسانتره‌های ایلمنیت و تیتانومگنتیت.

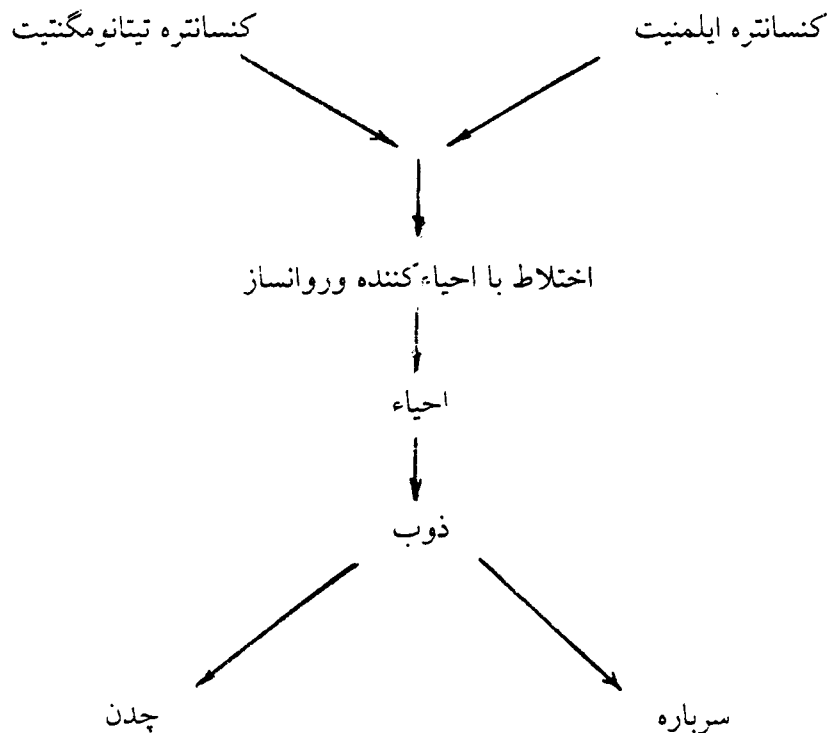
P ₂ O ₅	V ₂ O ₅	MgO	CaO	MnO	FeO	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	ترکیب شیمیایی (%) نوع کنسانتره
۰/۱۵	۰/۱۹	۱	۱	۱/۸	۳۵	۲/۴	۰/۰۲	۱/۲	۱/۹	۴۹/۷	ایلمنیت
۰/۱۵	۱/۷	۱/۷	۱	۱	۲۳/۵	۵۲/۵	۰/۱	۳/۱	۳/۱	۱۱/۵	تیتانومگنتیت

جدول ۲: ترکیب شیمیایی کک نفتی (%).

C	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	NiO	V ₂ O ₅
> ۸۵	۶/۷۳	۰/۷۳	۴/۳۸	۰/۰۸	۰/۳۳

جدول ۳: ترکیب شیمیایی دولومیت استفاده شده.

L.O.I	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂
۴۰/۸۶	۳/۴۸	۵۱/۳۳	۰/۲۲	۰/۲۸	۲/۰۶



شکل ۱: فلوشیت مراحل فرآیند سربارسازی.

کنسانتره‌های ایلمنیت و تیتانومگنتیت [۵] نشان دادند که شرایط بهینه جهت اکسیداسیون کامل این ترکیبات در دمای ۱۰۰۰°C به ترتیب زمان یک و دو ساعت و اندازه ذراتی کوچکتر از ۱۰۰ مش می‌باشد.

آنالیز محصولات حاصل از فرآیند اکسیداسیون که با استفاده از پراش اشعه ایکس به انجام رسید حاکی از استحاله فازهای اولیه و تشکیل فازهای جدیدی بود که نتایج حاصل از آنها در جدول (۴) و شکل (۲) آورده شده است.

مقدار مواد کمک ذوب نیز با توجه به رابطه زیر [۸ و ۹] تعیین شد.

$$\frac{\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2} = 0.16 - 0.13 \quad (1)$$

اجزاء این رابطه درصد وزنی هر یک از ترکیبات در سرباره است.

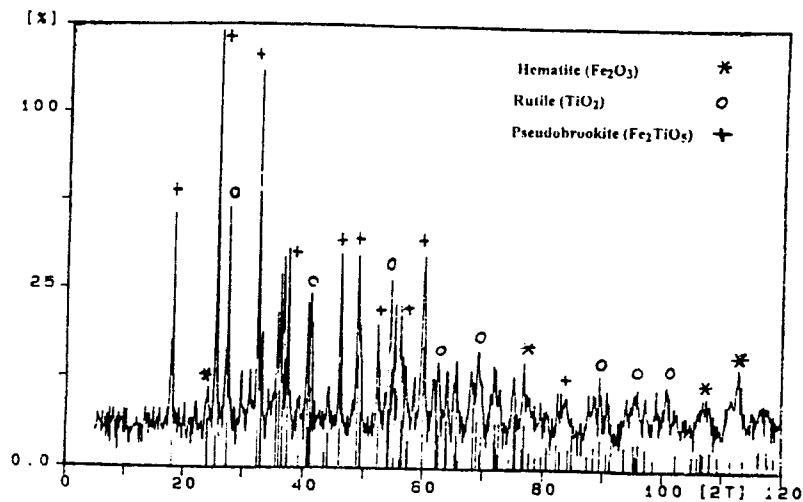
نتایج

بررسی‌های انجام شده در رابطه با سینتیک اکسیداسیون

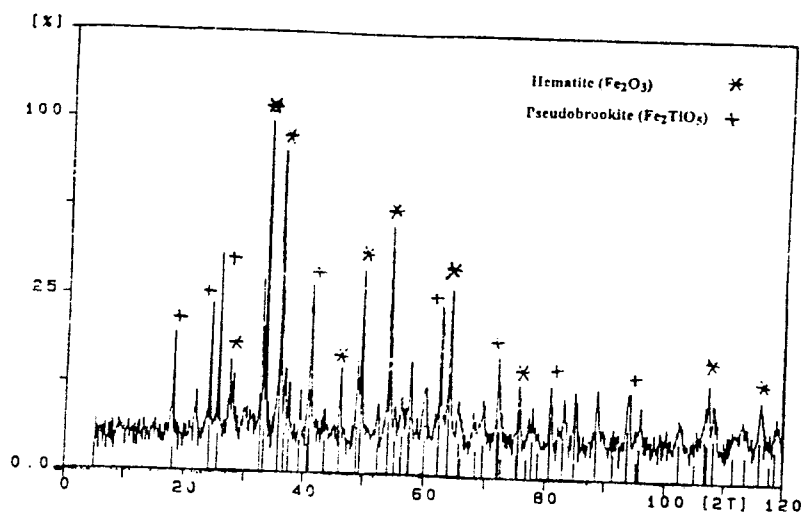
جدول ۴: نتایج حاصل از آنالیز ساختاری کنسانتره‌های تیتانیوم.

فازهای موجود	اتمسفر	زمان (ساعت)	دما (°C)	نوع کنسانتره
ایلمنیت FeO.TiO ₂	-	-	-	* ایلمنیت
هماتیت Fe ₂ O ₃ ، روتیل TiO ₂ و سود بروکایت Fe ₂ TiO ₅	هوا	۱	۱۰۰۰	ایلمنیت
هماتیت Fe ₂ O ₃ ، مگنتیت Fe ₃ O ₆ و ایلمنیت FeO.TiO ₂	-	-	-	* تیتانومگنتیت
هماتیت Fe ₂ O ₃ ، سود بروکایت Fe ₂ TiO ₅	هوا	۲	۱۰۰۰	تیتانومگنتیت

* اکسید شده



(الف)



(ب)

شکل ۲: الگوی پراش اشعه ایکس (XRD) الف - کنسانتره ایلمنیت اکسید شده ب - کنسانتره تیتانومگنتیت اکسید شده.

اولیه، دما و زمان احیاء و سربارسازی، نوع و مقدار مواد گدازآور و عامل احیاء کننده است. در این رابطه جداول (۵) و (۶) به ترتیب تأثیر اکسیداسیون اولیه کنسانتره و نوع مواد گدازآور مصرفی بر ترکیب شیمیایی سرباره و نحوه جدایش آن از چدن را نشان می‌دهند.

نتایج بدست آمده از آزمایشهای سرباره‌سازی با استفاده از کنسانتره‌های اولیه و یا استحاله یافته در اثر اکسیداسیون، نشان دادند که ترکیب شیمیایی چدن و سرباره به عنوان محصولات نهایی فرآیند سرباره‌سازی و همچنین نحوه جدایش آنها از یکدیگر شدیداً تابع پارامترهای فرآیند از جمله ترکیب شیمیایی خوراک

جدول ۵: تأثیر اکسیداسیون اولیه کنسانتره بر فرآیند سرباره‌سازی مخلوط کنسانتره ایلمنیت و

تیتانومگنتیت با نسبت ۱:۰/۸.

شرایط آزمایش: درجه حرارت احیاء (۱۱۰۰°C)، زمان احیاء (۱ ساعت)، دمای سرباره‌سازی (۱۵۰۰°C)، زمان سرباره‌سازی (۲۰ دقیقه) کمک ذوب کربنات سدیم به میزان ۵ درصد.

شماره	کنسانتره ۱:۰/۸		ترکیب شیمیایی سرباره (%)				ماده احیاکننده	
	ایلمنیت (گرم)	تیتانومگنتیت (گرم)	درصد	نوع	TiO ₂	%FeO	V ₂ O ₅	SiO ₂
۱	۸۳/۳۳	۶۶/۶۶	۱۲	کک نفتی	۶۵/۳۵	۴/۴۲	۰/۴۹	۱۱/۴۹
۲	"	"	۱۴/۳	کک نفتی	۶۳/۱۸	۴/۵۹	۰/۶۷	۱۲/۸۶
۳	(اکسید شده)	(اکسید شده)	۱۲	کک نفتی	۶۲/۰۲	۸/۲۴	۰/۷۴	۱۲/۴۳

جدول ۶: اثر انواع مواد گدازآور بر کیفیت و ترکیب شیمیایی سرباره حاصل از مخلوط کنسانتره‌های ایلمنیت و تیتانومگنتیت با نسبت ۱:۰/۸.

شرایط: درجه حرارت احیاء (۱۱۰۰°C)، زمان احیاء (۱ ساعت)، دمای سرباره‌سازی (۱۵۰۰°C)، زمان سرباره‌سازی (۲۰ دقیقه) عامل احیاء کننده کک نفتی به میزان ۱۲ درصد.

شماره	کنسانتره ۱:۰/۸		کمک ذوب (درصد)	چگونگی جدایش	ترکیب شیمیایی سرباره (%)			
	ایلمنیت (گرم)	تیتانومگنتیت (گرم)			SiO ₂	V ₂ O ₅	FeO	TiO ₂
۱	۸۳/۳۳	۶۶/۶۶	-	نامناسب	-	۰/۷	۲۶/۴	۵۲/۵
۲	۸۳/۳۳	۶۶/۶۶	کربنات سدیم (۵)	عالی	۱۱/۴۹	۰/۴۹	۴/۴۲	۶۵/۳۵
۳	۸۳/۳۳	۶۶/۶۶	دولومیت (۵)	عالی	۱۱/۰۹	۰/۵۳	۱۲/۱	۶۲/۷
۴	۸۳/۳۳	۶۶/۶۶	دولومیت (۷)	عالی	۱۳/۵۹	۰/۳۸	۳/۱۸	۶۱/۲۵

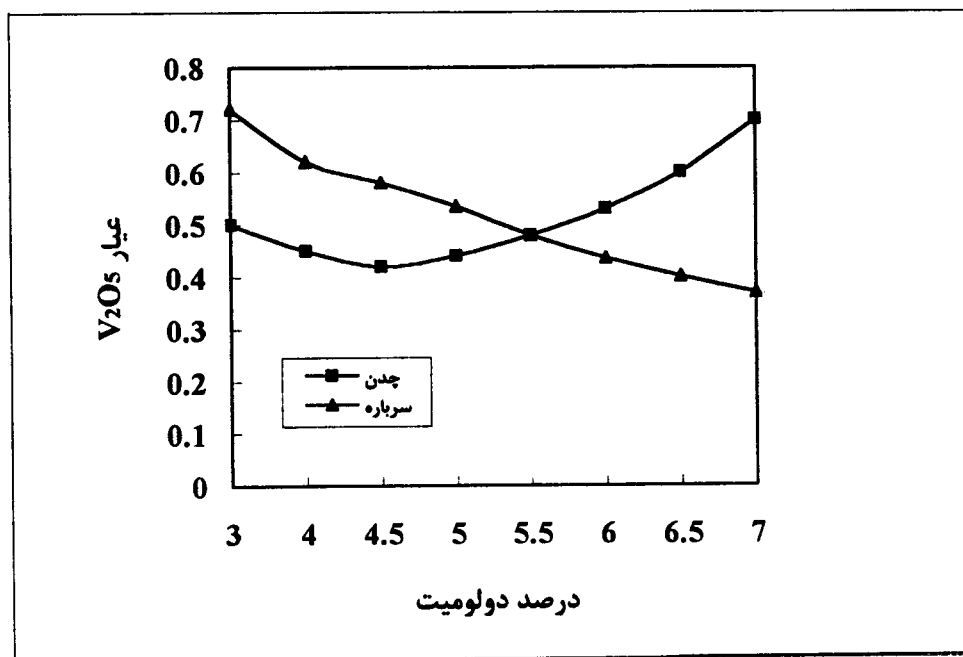
جدول ۷: شرایط بهینه جهت توزیع دلخواه اکسید وانادیوم در سرباره و یا چدن حاصل از کنسانتره تیتانومگنتیت.

شرایط آزمایش: دمای احیاء (۱۱۰۰°C)، زمان احیاء (۱ ساعت)، عامل احیاء کننده: کک نفتی به میزان ۱۲ درصد.

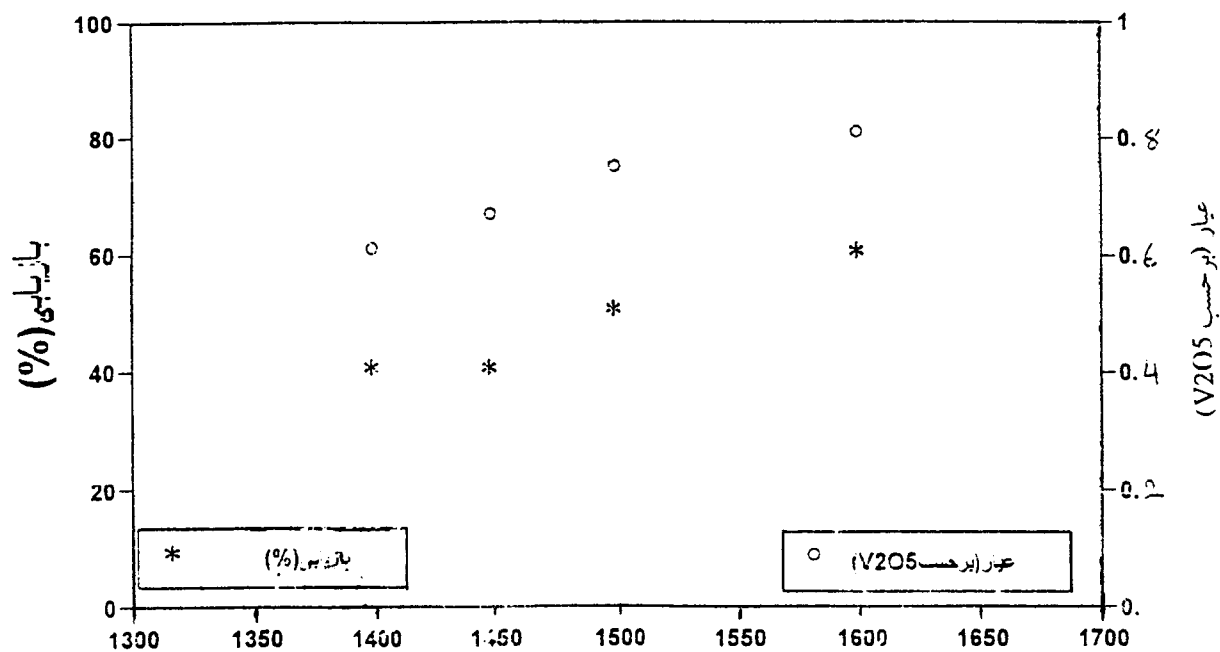
شماره	کنسانتره تیتانومگنتیت (گرم)	کمک ذوب (درصد)	دمای سرباره‌سازی (°C)	زمان سرباره‌سازی (دقیقه)	ترکیب شیمیایی سرباره (%)			
					SiO ₂	V ₂ O ₅	FeO	TiO ₂
۱	۱۵۰	دولومیت (۵)	۱۴۵۰	۵	۲۱/۴۲	۲/۶	۱۶	۳۵/۰۲
۲	۱۵۰	دولومیت (۵)	۱۵۰۰	۲۰	۲۳/۰۵	۱/۳۹	۵/۵	۴۰/۸۵
۳	۱۵۰	کربنات سدیم (۵)	۱۵۵۰	۲۰	۲۳/۱۸	۰/۸۷	۲/۳۴	۴۰/۳

این تحقیق، شرایط بهینه جهت توزیع دلخواه اکسید وانادیوم به نمایندگی از مجموعه اکسیدهای موجود در کنسانتره را در سرباره و یا چدن نشان می‌دهد.

اثر مقدار مواد گدازآور بر ترکیب شیمیایی سرباره در شکل (۳) و اثر دمای سرباره‌سازی بر ترکیب شیمیایی چدن در شکل (۴) نشان داده شده است. جدول (۷) نیز بعنوان نتایج کاربردی حاصل از



شکل ۳: اثر درصد دولومیت بر عیار اکسید وانادیوم در سرباره و چدن حاصل از کنسانتره ایلمنیت و تیتانومگنتیت با نسبت ۱:۰/۸.

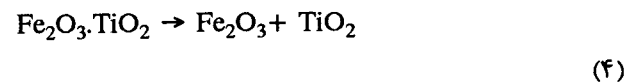
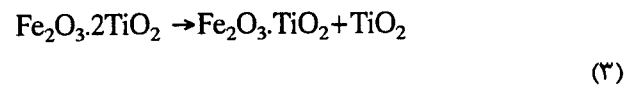
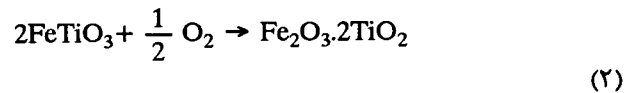


شکل ۴: اثر دمای سرباره‌سازی بر بازیابی و عیار وانادیوم در چدن حاصل از ذوب کنسانتره تیتانومگنتیت.

بحث

اکسیداسیون و استحاله فازی کنسانتره‌های تیتانیوم

نتایج حاصل از آزمایش‌های فاز شناسی توسط پراش اشعه ایکس نشان دادند که فازهای موجود در کنسانتره‌های ایلمنیت و تیتانومگنتیت قبل از اکسیداسیون عمدتاً فاز ایلمنیت (FeO.TiO_2) و اکسیدهایی نظیر Fe_2O_3 و Fe_3O_4 هستند. با توجه به این مسئله استحاله‌های فازی انجام شده حین فرآیند اکسیداسیون بصورت زیر قابل ارائه است [۱۰].



نتایج آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) نمونه‌های ایلمنیت پس از اکسیداسیون، انجام واکنش‌های فوق را تأیید کرده و هماهنگ با نتایج دیگر محققان [۱۰] تحول ایلمنیت به سودوبروکایت (Fe_2TiO_5) و روتیل را نشان می‌دهد. آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) نمونه‌های تیتانومگنتیت اکسید شده در شرایط بهینه نیز بیانگر تبدیل فاز ایلمنیت (FeO.TiO_2) موجود در آن به فاز سودوبروکایت (Fe_2TiO_5) می‌باشد. در این آنالیز فاز Fe_2O_3 نیز تشخیص داده شد که با توجه به فازهای موجود در نمونه اولیه (هماتیت Fe_2O_3 ، مگنتیت Fe_3O_4 و ایلمنیت FeO.TiO_2) قابل پیش‌بینی است زیرا در فرآیند اکسیداسیون فاز Fe_3O_4 به همتایت تبدیل شده و فاز ایلمنیت به سودوبروکایت و روتیل تبدیل می‌گردد (واکنش‌های ۱ و ۲) که فاز روتیل بدلیل کم بودن مقدار آن، قابل تشخیص نبوده است.

سربراره‌سازی

در این آزمایش‌ها سعی شده است ضمن بررسی تأثیر پارامترهای فرآیند بر ترکیب شیمیایی و نحوه تشکیل و جدایش چدن از سربراره، اثر اکسیداسیون اولیه کنسانتره بر شرایط احیاء، ذوب و ترکیب شیمیایی محصولات فرآیند نیز مورد بررسی قرار گیرد.

ترکیب شیمیایی کنسانتره و اکسیداسیون اولیه آن

ترکیب شیمیایی کنسانتره تیتانیوم تأثیر مستقیمی بر ترکیب

شیمیایی محصولات نهایی داشته و معمولاً پارامترهای فرآیند متناسب با آن انتخاب می‌شوند. بطوریکه مثلاً زمان بهینه مرحله احیاء برای کنسانتره تیتانومگنتیت در شرایط بهینه دو برابر کنسانتره ایلمنیت تعیین شد. در این تحقیق با توجه به احتمال از هم‌پاشی و تخریب شبکه ایلمنیت در اثر اکسیداسیون و در نتیجه رها شدن اکسید آهن از آن و به منظور بررسی اثر این پدیده بر پارامترهای مؤثر فرآیند سربراره‌سازی، کنسانتره تیتانیوم (نسبت ۱۰/۸ کنسانتره‌های ایلمنیت و تیتانومگنتیت) تعیین شده در مراحل قبل، اکسید شده و سپس در آزمایش‌های سربراره‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. با انجام این آزمایش‌ها انتظار می‌رفت فرآیند احیاء و ذوب کنسانتره با سهولت بیشتر و در زمانی کوتاه‌تر انجام پذیرد. اما نتایج (جدول (۵)) نشان دادند که اکسیداسیون اولیه کنسانتره نه تنها تأثیر چندانی بر شرایط احیاء اکسید آهن موجود در کنسانتره ندارد بلکه بطور جزئی موجب کاهش سیالیت مذاب و جدایش نامناسب چدن از سربراره شده و مقدار عامل احیاء کننده مورد نیاز را افزایش می‌دهد. این مسئله از آنجا ناشی می‌گردد که اگرچه اکسید آهن از شبکه ایلمنیت خارج شده است اما با توجه به افزایش درجه اکسیداسیون آن و تبدیل FeO یا Fe_3O_4 به Fe_2O_3 ، اولاً مقدار عامل احیاء کننده بیشتری مورد نیاز است و ثانیاً بدلیل طولانی‌تر شدن مراحل احیاء، تفاوت چندانی در سینتیک احیاء اکسید آهن کنسانتره قبل و بعد از اکسیداسیون مشهود نمی‌باشد.

نوع و مقدار مواد گداز آور

مواد گداز آور به عنوان یکی از اجزاء اصلی خوراک اولیه در فرآیند سربراره‌سازی مطرح بوده و دارای تأثیر بسزایی بر دمای تشکیل، سیالیت، نحوه جدایش و ترکیب شیمیایی چدن و سربراره می‌باشد. در این رابطه جدول (۶) اثر انواع مواد کمک ذوب بکار رفته در این آزمایش‌ها را بر نحوه جدایش و ترکیب شیمیایی سربراره تشکیل شده از ذوب مخلوط ۱۰/۸ کنسانتره‌های ایلمنیت و تیتانومگنتیت نشان می‌دهد. همانطور که از این جدول نتیجه می‌شود، عدم حضور مواد کمک ذوب موجب تشکیل سربراره در دمای بالا ($T > 1550^\circ\text{C}$) شده و در نتیجه بدلیل غلیان بیش از حد و غیرقابل کنترل چدن و سربراره، جدایش آنها بطور کامل انجام نشده و سربراره مناسبی حاصل نمی‌گردد. با بکارگیری مواد کمک ذوب از جمله کربنات سدیم و یا دولومیت، سربراره در دمای پایین‌تری ذوب شده و با سهولت بیشتری از چدن جدا می‌گردد.

سیلیسیوم و منگنز بخوبی مشاهده شد. بطوریکه با افزایش دمای سرباره‌سازی همچنانکه در شکل (۴) برای اکسیدوانادیوم بعنوان شاخص ترکیبات ذکر شده نشان داده شده است، درصد این عناصر در چدن افزایش و در سرباره کاهش می‌یابد. با توجه به موارد ذکر شده دما و زمان بهینه مرحله سرباره‌سازی متناسب با ترکیب شیمیایی خوراک اولیه، محدوده دمایی 1500°C - 1450°C و زمان ۳۰-۲۰ دقیقه تعیین شد.

بازیابی اکسید تیتانیوم، آهن و وانادیوم

آزمایشهای انجام شده نشان دادند که بخش عمده اکسید تیتانیوم وارد سرباره شده و ضریب توزیع آن در سرباره همواره بیش از ۹۵ درصد است. مقدار این اکسید بصورت عنصر در چدن بسیار محدود و حدود ۰/۱ درصد بدست آمد. بازیابی آهن نیز قابل قبول بوده و به نظر می‌رسد که حداقل ۹۰-۸۵ درصد آهن موجود در کنسانتره وارد چدن می‌شود و مقدار آهن موجود در سرباره در شرایط بهینه معمولاً از حدود ۵ الی ۸ درصد تجاوز نمی‌کند.

اکسید وانادیوم از جمله اکسیدهای رنگی است که حضور بیش از ۰/۲۲ درصد آن عملاً اکسید تیتانیوم تولید شده از سرباره به روش انحلال در اسید سولفوریک غلیظ را غیرقابل کاربرد بعنوان رنگدانه می‌نماید. با توجه به این مسئله نحوه توزیع اکسید وانادیوم در سرباره و چدن و تعیین تأثیر پارامترهای مختلف فرآیند بر آن از اهمیت و حساسیت فراوانی برخوردار است. در این تحقیق با انجام آزمایشهایی که شرح آنها آورده شد نوع و مقدار مواد گدازآور و همچنین دما و زمان سرباره‌سازی از جمله مهمترین عوامل تعیین کننده نحوه توزیع اکسید وانادیوم در سرباره و چدن تشخیص داده شدند. در این رابطه شکل‌های (۳) و (۴) به ترتیب اثر مقدار مواد گدازآور و دمای سرباره‌سازی را بر چگونگی توزیع اکسید وانادیوم بین محصولات این فرآیند نشان داده و جدول (۷) نیز شرایط بهینه جهت انتقال درصد عمده اکسید وانادیوم به سرباره و چدن را معرفی می‌نماید. همانطور که در این جدول آورده شده است به منظور بازیابی اکسید وانادیوم در سرباره (جهت استخراج بعدی اکسید وانادیوم) می‌بایستی دما و زمان سرباره‌سازی کوتاه انتخاب شده و از حداقل مواد گدازآور ممکن استفاده شود. در شرایطی که هدف تولید سرباره‌ای با حداقل مقدار ممکن از اکسید وانادیوم باشد اعمال شرایط عکس، مطلوب خواهد بود.

افزودن مواد کمک ذوب علاوه بر کاهش دمای تشکیل سرباره، ترکیب شیمیایی محصولات فرآیند را نیز دستخوش تغییراتی می‌نماید. بطوریکه با افزایش آنها (کربنات سدیم و یا دولومیت) همچنانکه در شکل (۳) نیز نشان داده شده است، توزیع اکسید وانادیوم در سرباره کاهش و در چدن افزایش می‌یابد. این موضوع با توجه به واکنش موادگدازآور با ایلمنیت و رهاشدن اکسید وانادیوم از ساختار پیچیده آن قابل توجیه است [۱۱]. بهرحال از آنجا که مواد گدازآور پس از اتمام فرآیند عمدتاً در سرباره باقی می‌مانند، افزایش مقدار آنها در خوراک اولیه موجب کاهش درصد اکسید تیتانیوم شده و مقدار بهینه آنها، باید حداقل مقدار لازم برای جدایش مناسب سرباره از چدن انتخاب گردد. با توجه به این امر و با عنایت به تأثیر نامطلوب کربنات سدیم بر دیواره کوره‌های ذوب و فشار بخار بالای آن و نیز مسائل اقتصادی، بکارگیری دولومیت بعنوان ماده گدازآور و به میزان ۵ درصد وزنی خوراک اولیه جهت تشکیل سرباره‌ای با سیالیت و ترکیب شیمیایی قابل قبول، مناسب تشخیص داده شد.

دما و زمان احیاء

در این آزمایشها عملیات احیاء در محدوده دمایی 1200°C - 1000°C و به مدت نیم تا یک ساعت انجام شد. دما و زمان بهینه (1100°C و ۳۰ دقیقه برای کنسانتره ایلمنیت و مخلوط ۱:۰/۴ آن با کنسانتره تیتانومگنتیت و ۶۰ دقیقه برای دیگر کنسانتره‌ها) جهت فرآیند احیاء آنچنان انتخاب شد که هنگام شروع مرحله سرباره‌سازی، اکسید آهن موجود در محدوده ۱۵ تا ۲۰ درصد باشد. حضور این مقدار از اکسید آهن موجب کاهش دمای تشکیل سرباره و افزایش سیالیت آن می‌گردد.

دما و زمان سرباره‌سازی

حداقل دمای تشکیل سرباره تابع ترکیب شیمیایی کنسانتره و مواد گدازآور است. زمان سرباره‌سازی نیز معمولاً آنچنان انتخاب می‌گردد که عملیات احیاء اکسید آهن باقیمانده از مرحله احیاء تقریباً کامل (تا حدود ۵ درصد اکسید آهن در سرباره) شده و در ضمن جدایش چدن از سرباره نیز به طور کامل انجام پذیرد. علاوه بر این موارد دما و زمان سرباره‌سازی بر ترکیب شیمیایی چدن و سرباره نیز تأثیر می‌گذارد. بنحوی که در دمای بالا و زمانهای طولانی درصدی از اکسیدهای موجود در سرباره احیاء شده و وارد چدن می‌گردد. این مسئله در مورد اکسید وانادیوم، تیتانیوم،

نتیجه گیری

۴- بکارگیری مواد گدازآور نه تنها موجب سهولت در تشکیل چدن و سرباره می‌گردد بلکه تا حدودی کنترل کننده ترکیب شیمیایی آنها نیز می‌باشد. بکارگیری دولومیت بمیزان ۵ درصد وزنی خوراک اولیه موجب افزایش سیالیت و جدایش آسان چدن از سرباره می‌شود.

۵- با کنترل دما، زمان، نوع و مقدار مواد گدازآور، کنترل توزیع ترکیبات مختلف خوراک اولیه و سرباره و یا چدن امکان پذیر است. بنحوی که مثلاً به منظور افزایش اکسید وانادیوم در سرباره می‌بایستی مقدار مواد گدازآور و همچنین دما و زمان سرباره‌سازی حداقل مقدار ممکن انتخاب شوند و به منظور کاهش آن در سرباره شرایط عکس اعمال می‌گردد.

۱- کنسانتره ایلمنیت حین اکسیداسیون در دمای 1000°C تغییر فاز داده و در نتیجه آن ایلمنیت $\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ تبدیل به روتیل، سوددوبروکایت (Fe_2TiO_5) و هماتیت Fe_2O_3 می‌گردد.

۲- کنسانتره تیتانومگنتیت قبل از اکسیداسیون دارای فازهای هماتیت Fe_2O_3 ، مگنتیت Fe_3O_4 و ایلمنیت $\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$ است که در فرآیند اکسیداسیون فاز مگنتیت به هماتیت و ایلمنیت به سوددوبروکایت و روتیل تبدیل می‌گردد.

۳- اکسیداسیون اولیه کنسانتره‌های تیتانیوم تأثیر چندانی بر شرایط احیاء و ذوب آنها حین فرآیند سرباره‌سازی ندارد.

مراجع

- 1 - Macking, T. (1994). "Upgrading ilmenite into a high - grade synthetic rutile." *JOM*, PP. 59-64.
- 2 - Ogden, H. R. (1961). "Titanium." *Rare Metals Handbook*, Edited by A. Hampel, Second Ed., Reinhold (pub), PP. 559-579.
- 3 - Simons, En. (1967). "Titanium." *Guide to Uncommon Metals*, Muller (pub), PP. 205-210.
- 4 - Roberts, J. M. C. (1971). "Ilmenite upgrading." *Mining Magazine*, Vol. 175, No. 6, P. 543.
- ۵- گزارش نهایی طرح تحقیقاتی "بررسی و تحقیق در زمینه تولید سرباره با مشخصات قابل قبول از کنسانتره ایلمنیت و مخلوط آن با کنسانتره تیتانومگنتیت." گروه مهندسی متالورژی و مواد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، اسفند (۱۳۷۶).
- ۶- پایدار، م. ح. و همکاران. "بررسی سینتیک اکسیداسیون و تغییر فازهای کنسانتره ایلمنیت و تیتانومگنتیت معدن تیتانیوم کهنوج." مجموعه مقاله‌های دومین کنگره سالانه انجمن مهندسی متالورژی ایران، صفحه ۸۵، مهرماه (۱۳۷۷).
- ۷- پایدار، م. ح. و همکاران. "بررسی پارامترهای مؤثر بر فرآیند استحصال اکسید تیتانیوم از کنسانتره ایلمنیت و تیتانومگنتیت معدن تیتانیوم کهنوج به روش سرباره‌سازی." مجموعه مقالات سومین کنگره سالانه انجمن مهندسی متالورژی ایران، صفحه ۲۱، مهرماه (۱۳۷۸).
- 8 - Armant, D. L. (1956). United States Patent, 2, 751, 307, June 19.
- 9 - Cole, S. S. (1949). United States Patent, 2, 631, 941, May 17.
- 10 - Gupta, S. K., Rajakumar, V. and Grieveson, P. (1991). "Phase transformation during heating of ilmenite concentrates." *Metall. Trans.*, Vol. 22B, PP. 711-718.
- 11 - Tawil, S. Z. El., Morsi, I. M., Yehia, A., and Francis, A. A. (1996). "Alkali reductive roasting of ilmenite ore." *Canad. Metall.*, Vol. 35, No. 1, PP. 31-38.

