



۲۹۴۱۸

به نام خدا

دانشکده متالورژی

تهیه روئیل مصنوعی از کنسانتره ایلمنیت کهنوج جهت استفاده در پوشش الکتروود جوشکاری

آرش رجیبی تبار

۳۶۴۱۸

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی متالورژی - استخراج فلزات

اساتید راهنما: دکتر محمد شیخ شاب بافقی

دکتر مسعود گودرزی

| صفحه | عنوان مطالب |
|------|---|
| ۱ | چکیده |
| | فصل اول: |
| ۳ | ۱-۱ مقدمه |
| ۴ | ۲-۱ مصارف دی اکسید تیتانیوم |
| | فصل دوم: |
| ۸ | ۱-۲ فرآوری ایلمنیت |
| ۹ | ۲-۲ روش سرباره سازی |
| ۱۱ | ۳-۲ روش کلرینه کردن |
| ۱۲ | ۴-۲ روش عملیات حرارتی و جداسازی شیمیایی یا فیزیکی |
| | فصل سوم: |
| ۱۹ | ۱-۳ اکسیداسیون و احیاء |
| ۱۹ | ۲-۳ اکسیداسیون |
| ۲۳ | ۳-۳ احیاء |
| ۲۵ | ۴-۳ احیاء کنسانتره ایلمنیت در حالت جامد |
| ۲۷ | ۵-۳ مکانیزم احیاء |
| ۲۸ | ۶-۳ کینتیک احیاء |
| ۲۹ | ۷-۳ احیاء ایلمنیت در حضور مواد قلیایی |
| | فصل چهارم: |
| ۳۱ | ۱-۴ حل کردن (Leaching) |
| ۳۳ | ۲-۴ حل کردن توسط اسید کلریدریک |
| ۳۶ | ۳-۴ کینتیک حل شدن |
| ۳۹ | ۴-۴ حل کردن بوسیله کلرورفریک |

| صفحه | عنوان مطالب |
|------|--|
| ۴۱ | فصل پنجم: گزارش نتایج پژوهشهای عملی |
| ۴۱ | ۱-۵ آزمایش‌های مربوط به قسمت اکسیداسیون |
| ۴۱ | ۱-۱-۵ ماده مورد استفاده |
| ۴۳ | ۲-۱-۵ روش آزمایش |
| ۴۴ | ۳-۱-۵ نتایج و بحث |
| ۴۷ | ۲-۵ آزمایش‌های مربوط به قسمت احیاء |
| ۴۸ | ۱-۲-۵ روش آزمایش |
| ۵۰ | ۲-۲-۵ نتایج و بحث |
| ۵۴ | ۱-۲-۲-۵ تأثیر مواد افزودنی |
| ۵۶ | ۲-۲-۲-۵ احیاء پلت‌های حاوی کنسانتره ایلمنیت طبیعی [اکسید نشده] |
| ۵۹ | ۳-۲-۲-۵ بررسی تأثیر نوع ماده احیاء کننده |
| ۶۳ | ۳-۵ آزمایش‌های حل کردن (Leaching) |
| ۶۳ | ۱-۳-۵ روش آزمایش |
| ۶۵ | ۲-۳-۵ نتایج و بحث |
| ۶۵ | ۱-۲-۳-۵ اثر نسبت مولی |
| ۶۷ | ۲-۲-۳-۵ تأثیر غلظت کلرورفریک |
| ۶۸ | ۳-۲-۳-۵ تأثیر دما |
| ۶۹ | ۴-۲-۳-۵ تأثیر زمان |
| ۷۱ | ۴-۵ ساختار محصول |
| ۷۲ | ۵-۵ جمع بندی نتایج |
| ۷۳ | ضمیمه |
| ۷۵ | فهرست منابع و مراجع |

| عنوان | فهرست تصاویر و نمودارها | صفحه |
|--|-------------------------|------|
| ۱-۲ مراحل تهیه دی اکسید تیتانیوم از طریق حل کردن در اسید سولفوریک | | ۱۳ |
| ۱-۵ نمودار پراش اشعه X مربوط به نمونه کنسانتره ایلمنیت طبیعی | | ۴۲ |
| ۲-۵ مقایسه نتایج اکسیداسیون ایلمنیت | | ۴۶ |
| ۳-۵ نمودار پراش اشعه X مربوط به نمونه اکسید شده | | ۴۷ |
| ۴-۵ مقایسه نتایج احیاء در درجه حرارت های 1100°C و 1200°C | | ۵۲ |
| ۵-۵ مقایسه نتایج احیاء پلت های کامپوزیتی و غیر کامپوزیتی | | ۵۳ |
| ۶-۵ مقایسه نتایج احیاء پلت های کامپوزیتی در دو حالت مدفون و غیر مدفون | | ۵۳ |
| ۷-۵ مقایسه سرعت و درجه فلزی شدن پلت های کامپوزیتی، محتوی مقادیر مختلف کربن | | ۶۱ |
| ۸-۵ مقایسه نتایج احیاء پلت های کامپوزیتی | | ۶۲ |
| ۹-۵ نمودار پراش اشعه X، مربوط به یک نمونه ماده احیاء شده | | ۶۳ |
| ۱۰-۵ اثر نسبت مولی کلرور فریک بر میزان حل شدن آهن فلزی | | ۶۶ |
| ۱۱-۵ تاثیر غلظت کلرور فریک در محلول لیچ بر روی بازیابی حل شدن آهن فلزی | | ۶۸ |
| ۱۲-۵ تاثیر دما بر بازیابی حل شدن آهن فلزی موجود در کنسانتره احیاء شده | | ۶۹ |
| ۱۳-۵ نتایج تاثیر زمان حل سازی بر حل شدن آهن فلزی موجود در کنسانتره احیاء شده | | ۷۰ |
| ۱۴-۵ نمودار پراش اشعه X نمونه فرآوری شده (احیاء و حل شده) | | ۷۱ |

چکیده:

هدف از اجرای این پروژه، حذف انتخابی آهن از کنسانتره ایلمنیت داخلی (کهنوج کرمان) و تولید دی اکسید تیتانیوم، موسوم به روتیل مصنوعی بوده است. این ماده که در حال حاضر از خارج تأمین می‌شود، بیش از ۵۰ درصد وزن پوشش الکترودهای جوشکاری روتیلی، که یکی از مهمترین انواع الکترودهای جوشکاری است، را تشکیل می‌دهد. روتیل مصنوعی بدست آمده از این طریق، می‌تواند برای تولید تتراکلرور تیتانیوم ($TiCl_4$) که ماده اولیه تولید فلز تیتانیوم است نیز، مورد استفاده قرار گیرد.

در این تحقیق، سه مرحله اکسیداسیون، احیاء و حل کردن (Leaching) کنسانتره ایلمنیت در مقیاس آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته و عوامل مؤثر در هر مرحله بهینه گردیده است. گرچه تأثیر مثبت اکسیداسیون ایلمنیت به اثبات رسیده است، اما نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که اکسیداسیون ایلمنیت در مراحل احیاء و حل کردن، بهبودی بوجود نیاورده است. شاید بتوان احیاء اکسید آهن تا آهن فلزی و در درجه حرارت‌های بالا را مهمترین علت بی تأثیر بودن فرآیند اکسیداسیون بر شمرد.

مرحله احیاء، مهمترین بخش فرآیند محسوب می‌شود. در این مرحله با استفاده از زغال چوب به عنوان ماده احیاء کننده، اکسید آهن موجود در ترکیب ایلمنیت به آهن فلزی احیاء می‌شود. محصولی که در این مرحله بدست می‌آید حاوی آهن فلزی، TiO_2 و مقداری ناخالصی می‌باشد. حذف آهن در مرحله حل کردن صورت می‌گیرد که در نتیجه آن، روتیل مصنوعی حاوی ۹۰٪ TiO_2 بدست خواهد آمد. این محصول علیرغم همراه داشتن مقداری ناخالصی، برای استفاده در

پوشش الکتروود جوشکاری مناسب می باشد.

برای حذف آهن در مرحله حل کردن از محلول کلرورفریک ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) به عنوان حلال

استفاده شد. براساس یافته های این پژوهش در مراحل آزمایشگاهی، مرحله اکسیداسیون کلاً حذف

گردید و شرایط بهینه احیاء به شرح زیر تعیین گردید.

الف: درجه حرارت احیاء: 1200°C

ب: شارژ: مخلوط کنسانتره ایلمنیت و پودر زغال چوب بادانه بندی $+200$ و -80 مش.

همچنین برای جلوگیری از اکسیداسیون مجدد در تمام طول آزمایش، شارژ با لایه ای از زغال

محافظت می گردید،

پ: مقدار زغال چوب: به نسبت استوکیومتری،

ت: زمان احیاء: ۲ ساعت.

با اعمال شرایط مذکور، حدود ۹۰ درصد اکسید آهن کنسانتره به آهن فلزی احیاء شد. سپس

نمونه احیاء شده در محلول کلرورفریک حل شد که شرایط بهینه به شرح زیر بدست آمد:

الف: غلظت محلول مورد استفاده: ۳۰۰ گرم کلرورفریک، متبلور در یک لیتر آب،

ب: نسبت مولی کلرور فریک به آهن موجود در شارژ: ۱/۲۵،

پ: درجه حرارت حل کردن: دمای محیط،

ت: زمان حل کردن: ۳۰ دقیقه.

با حل کردن تحت شرایط فوق، آهن فلزی موجود در ایلمنیت احیاء شده کاملاً حل شد.

محصولی که در نهایت بدست آمد حاوی بیش از ۹۰ درصد دی اکسید تیتانیوم همراه با مقداری ناخالصی بود.

فصل اول

LI مقدمه

ایلمنیت و روتیل دو کانی مهم تیتانیوم محسوب می شوند. مناسبترین کانی برای تهیه فلز تیتانیوم روتیل می باشد و برای تهیه دی اکسید تیتانیوم، نوعاً از ایلمنیت استفاده می شود. به دلیل کم شدن ذخائر روتیل و بالطبع افزایش قیمت آن، برای تهیه تیتانیوم فلزی نیز نظرها به جانب ایلمنیت جلب شده است.

ایلمنیت، سنگ معدنی با ساختمان رومبوهدرال و با ترکیب $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ می باشد. سختی این کانی در مقیاس Mohs برابر ۵/۵ و وزن مخصوص آن $4/74 \text{ g cm}^{-3}$ است. رنگ این کانی سیاه بوده و دارای خاصیت مغناطیسی می باشد. ایلمنیت در نقاط مختلف جهان پراکنده است و بویژه در کشورهای روسیه (کوه های ایلمن، که نام ایلمنیت نیز از این کوه ها گرفته شده است)، آفریقای جنوبی، نروژ و کانادا ذخائر قابل توجهی از این کانی شناسایی شده است.

در واقع این فلز از لحاظ فراوانی پس از آلومینیوم (۱۵/۶۱٪ آلومینا)، آهن (۶/۹۹٪ اکسیدهای فرو و فریک) و منیزیم (۳/۵۶٪ اکسید منیزیم) چهارمین فلز صنعتی پوسته زمین بوده و ۱/۰۶ درصد پوسته زمین را دی اکسید تیتانیوم تشکیل می دهد. تیتانیوم به صورت های مختلف در طبیعت وجود دارد. اسامی و برخی مشخصات کانی های تیتانیوم در جدول های ۱-۱ و ۱-۲ آورده شده است. از این میان، با توجه به وفور نسبی در طبیعت، کانی های روتیل، ایلمنیت و محصولات تحول ایلمنیت نظیر لیوکوکسن (Leucoxene) بیشتر مورد توجه می باشند.

جدول ۱-۱: کانی های مهم تیتانیوم

| کانی | فرمول شیمیایی | چگالی ($g\ cm^{-3}$) | سختی (Mohs) | رنگ |
|----------------------|----------------------------|---------------------------|----------------|----------------------|
| ایلمنیت (Ilmenite) | ($FeTiO_3$) | ۴/۷۴ | ۵/۵ | سیاه |
| روتیل (Rutile) | (TiO_2) | ۴/۳۷ | ۶/۲۵ | قهوه ای مایل به قرمز |
| آناز (Anatase) | (TiO_2) | ۳/۹۰ | ۵/۷۵ | قهوه ای |
| بروکیت (Brookite) | (TiO_2) | ۴/۱۳ | ۵/۷۵ | زرد مایل به قهوه ای |
| لیوکوکسن (Leucoxene) | - | ۴/۰ | - | زرد مایل به قهوه ای |
| آریزونیت (Arizonite) | ($Fe_2O_3 \cdot 3TiO_2$) | ۴/۱۲ | - | قرمز |

روتیل طبیعی با ۹۰ تا ۹۶ درصد دی اکسید تیتانیوم، برای تهیه فلز بسیار مورد توجه می باشد.

به دلیل نیاز به خلوص کمتر، دی اکسید مورد نیاز به عنوان رنگ دانه، غالباً از طریق حل کردن در اسید

سولفوریک (روش سولفات)، از ایلمنیت، که میزان دی اکسید آن بین ۴۰ تا حداکثر ۶۵ درصد

می باشد، تهیه می گردد. کم شدن ذخائر روتیل، نظرهارا به سمت استفاده از ایلمنیت، حتی برای تولید

فلز، معطوف نموده است. از طرفی، مسائل زیست محیطی محدودیت هایی را برای استفاده از روش

سولفات بوجود آورده است. بدین لحاظ، روش های مختلفی برای فرآوری ایلمنیت مورد توجه قرار

گرفته است. قبل از وارد شدن در بحث فرآوری ایلمنیت، بجاست کاربردهای دی اکسید تیتانیوم به

اجمال مورد اشاره قرار گیرد.

۱.۱ مصارف دی اکسید تیتانیوم

مقادیر زیادی از دی اکسید تیتانیوم در صنعت لعاب (Vitreous)، لعاب شفاف یا لعاب

زجاجی) مورد استفاده قرار می گیرد. دی اکسید تیتانیوم، مقاومت لعاب در برابر اسید را بهبود

می بخشد و خصوصیت (جلوگیری عالی از عبور نور) سبب می شود که بتوان از پوشش های نازکتر

استفاده نمود و در نتیجه آسیب پذیری در برابر خم شدن (Flexure) را تقلیل داد. بدین ترتیب می توان وزن قطعات را کم کرده و در هزینه ها صرفه جویی نمود. برای کاهش آلودگی دی اکسید با ذرات گرد و غبار و همچنین سهولت حمل و نقل، در صنایع لعاب، ذرات درشت دی اکسید تیتانیوم مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین، برای جلوگیری از آلودگی رنگی، بایستی غلظت عناصری نظیر تنگستن و نایوبیوم، که در اثرات نامطلوب آنها بر روی رنگ لعاب جای تردید نیست، به دقت تحت کنترل قرار گیرد.

دیگر کاربرد مهم دی اکسید تیتانیوم در تولید اجزاء تجهیزات الکترونیکی می باشد. ثابت دی الکتریک و مقاومت مخصوص الکتریکی بالای این ماده، آن را برای استفاده در خازن های

جدول ۱-۲: گان های با اهمیت کمتر تیتانیوم

| چگالی g cm^{-3} | فرمول شیمیایی | گانی |
|--------------------------|---|--------------------------------|
| - | (Ti_3O_5) | آنسوویت (Ansovite) |
| - | $(\text{Fe}^{+2}_{16}\text{Fe}^{+3}_{14}\text{Ti}_{66}\text{O}_{169})$ | کریکتونیت (Chrictonite) |
| - | (TiO_2) | دوتلریت (Doetlerite) |
| - | (TiO_2) | فولویت (Fulvite) |
| ۴/۰۵ | (MgTiO_3) | گیکیه لیت (Geikielite) |
| - | $(\text{TiO}_2 \cdot \text{mH}_2\text{O})$ | هیدروروتیل (Hydrorutile) |
| - | $(\text{Fe}_2\text{Ti}_3\text{O}_9)$ | کالکوسکین (Kalkowskyn) |
| - | $((\text{Ca}, \text{Ti}, \text{Ce})_2\text{O}_3)$ | نوپیت (Knopite) |
| - | $((\text{FeMn})\text{TiO}_3)$ | مانانیلمنیت (Mananilmenite) |
| ۴/۱۲ | $((\text{Ca}, \text{Na}, \text{Fe}^{+2}, \text{Ce})(\text{Ti}, \text{Nb})\text{O}_3)$ | پرووسکیت (Perovskite) |
| - | $((\text{Mg}, \text{Ge})\text{TiO}_3)$ | پیکروایلمنیت (Picroilmenite) |
| - | $(\text{Fe}_2\text{TiO}_5)$ | سودوبروکیت (Pseudobrookite) |
| ۴/۵۴ | (MnTiO_3) | پیروفانیت (Pyrophanite) |
| - | $(\text{Al}_2\text{TiO}_5)$ | تیلیت (Tielite) |
| - | $((\text{FeTi})_3\text{O}_4)$ | تیتانومگنتیت (Titanomagnetite) |
| - | $(\text{Fe}_2\text{TiO}_4)$ | اولووسپینل (Ulvospinel) |
| - | $(\text{YTh}_2\text{Ti}_4\text{O}_{11})$ | ایتروکراسیت (Yttrocrasite) |

کوچک بسیار مناسب می سازد. چنین خازن‌هایی از طریق فشرده ساختن روتیل بسیار خالص به شکل مورد نظر و سپس حرارت دادن و زینتر کردن آن در دمای 1450°C - 1400°C ساخته می‌شوند. تاکنون مواد زیادی به منظور افزایش یا اصلاح خصوصیات الکتریکی دی اکسید تیتانیوم به آن افزوده شده است. برخی از این مواد، نظیر دی اکسید زیرکونیوم، تنها نقش یک عامل رقیق کننده را ایفا می‌کنند، ولی برخی دیگر مثل اکسید باریم تشکیل اکسیدها یا تیتانات‌های مخلوط می‌دهند. مقدار افزودنی‌هایی از این دست بایستی به اندازه‌ای باشد که اثرات تخریبی بر خصوصیات الکتریکی محصول نداشته باشد.

از روتیل و تیتانات استرانسیم در ساخت جواهرات مصنوعی نیز استفاده می‌شود. این کار از طریق فرآیندی نظیر فرآیند Verneuil در ساخت یاقوت مصنوعی، انجام می‌گیرد. ضریب بالای شکست نور این مواد سبب درخشندگی زیاد جواهرات ساخته شده از آنها می‌گردد.

مصرف دی اکسید تیتانیوم در ساخت کاتالیست‌ها، به عنوان عامل فعال و یا بعنوان یک حامل (Support) خنثی در حال گسترش می‌باشد. در حال حاضر استفاده از مخلوطی از دی اکسید تیتانیوم و پنتااکسید وانادیوم بعنوان کاتالیست، در برخی فرآیندهای شیمیایی، نظیر اکسیداسیون تسریع شده ترکیبات آلی، کاملاً تثبیت شده می‌باشد. همچنین، برای احیاء اکسیدهای نیتروژن در گازهای خروجی از موتورهای درون سوز نیز از همین مخلوط استفاده می‌گردد. از دی اکسید تیتانیوم بعنوان حسگر (Detector) اکسیژن برای کنترل عملکرد موتور اتومبیل‌ها نیز استفاده می‌شود.

دی اکسید تیتانیوم تلقیح شده با فلزات ارزشمند، نظیر پلاتین، رودیوم و روتنیوم، یا نیکل در سنتز Fischer-Tropsch برای تولید هیدروکربورها از مونواکسید کربن و هیدروژن مورد استفاده قرار

می گیرد. دی اکسید تیتانیوم تلقیح شده با پلاتین بعضاً بعنوان کاتالیست نیز بکار گرفته می شود. در واکنش های بی شمار دیگری در مقیاس آزمایشگاهی، از دی اکسید تیتانیوم به عنوان کاتالیست استفاده شده است، که به عنوان نمونه می توان به واکنش های اکسیداسیون سولفور هیدروژن به دی اکسید گوگرد، آب زدایی الکل ها، متیلاسیون، ایزومریزاسیون و آلکیلاسیون اشاره نمود. مقادیر زیادی از دی اکسید تیتانیوم در صنعت به عنوان رنگدانه بکار برده می شود. طبق گزارش آقای سلیمان کوثری در مجله «رشد آموزش زمین شناسی» در سال ۱۳۶۶، میزان مصرف دی اکسید تیتانیوم در کشور برای مصارف رنگ سازی قریب ۱۸۰۰۰ تن بوده است. با توجه به رشد صناعی که به انحاء مختلف از TiO_2 به منظور رنگ دهی استفاده می نمایند، میزان مصرف در حال حاضر بسیار بیشتر از مقدار ذکر شده می باشد.

پس از مصارف رنگ سازی، عمده مصرف دی اکسید تیتانیوم در جوشکاری و بعنوان یکی از اجزاء اصلی بسیاری از انواع روکش های الکتروود جوشکاری می باشد. در روکش های سلولزی و روتیلی میزان دی اکسید تیتانیوم حتی تا ۶۰٪ نیز ذکر شده است. در اغلب موارد دی اکسید تیتانیوم بعنوان پایدار ساز قوس الکتریکی به روکش اضافه می گردد، ولی در مواردی نیز از این ماده به منظور آلیاژسازی در فلز جوش استفاده می شود.

فصل دوم

۲-۱ فرآوری ایلمنیت

مهمترین ناخالصی موجود در ایلمنیت آهن می باشد، و برای دستیابی به دی اکسید تیتانیوم مناسب برای تهیه فلز و رنگ دانه، جدا کردن آهن از اکسید تیتانیوم ضرورت دارد. روش های مطرح شده برای فرآوری ایلمنیت تاکنون چندین بار مورد مرور قرار گرفته است [۱-۳]. روش های صنعتی یا آزمایشگاهی برای جدا کردن آهن از ایلمنیت را می توان در سه گروه دسته بندی نمود. دسته اول که نسبت به دو دسته دیگر قدمت بیشتری دارد، فرآوری ایلمنیت از طریق سرباره سازی می باشد. در این دسته از فرایندها، با ذوب و احیاء آهن، مذاب چدن همراه با یک سرباره غنی از تیتانیوم بدست می آید.

دسته دوم فرایندهایی می باشند که با کلرینه کردن مستقیم ایلمنیت آهن آن را جدا می کنند. این دسته از فرایندها هنوز در صنعت مورد استقبال چندانی قرار نگرفته اند.

دسته سوم فرایندهایی می باشند که در آنها تلفیقی از عملیات حرارتی و فیزیکی یا شیمیایی مورد استفاده قرار می گیرد. وجه تشابه این فرایندها در این است که عملیات حرارتی مورد اشاره در شرایطی اعمال می شود که ذوب شدن شارژ اتفاق نمی افتد. تنوع این دسته بیش از دو دسته دیگر می باشد.

۲-۲ روش سرباره سازی

محققین متعددی تهیه دی اکسید تیتانیوم از طریق سرباره سازی را مورد بررسی قرار داده‌اند [۴-۸]. همانگونه که عنوان شد، قدیمی‌ترین طریقه برای جدا کردن آهن از دی اکسید تیتانیوم، ذوب ایلمنیت در یک کوره قوس همراه با یک احیاء کننده می‌باشد. سرباره‌ای که به این ترتیب بدست می‌آید غنی از تیتانیوم بوده و بسته به ترکیب آن می‌تواند برای تولید فلز یا تهیه دی اکسید تیتانیوم مورد استفاده قرار گیرد.

در سال ۱۹۹۴ قریب ۲ میلیون تن سرباره با عیار تیتانیوم بیش از ۷۰ درصد در دنیا تولید شده است [۳]. یکی از مهمترین تولید کنندگان سرباره، «آهن و تیتانیوم کبک» در سورل کانادا می‌باشد. تولید این کمپانی در سال ۱۹۹۴ بالغ بر ۷۵۰ کیلو تن گزارش شده است [۳]. روش کار این شرکت به این صورت است که کانی خرد و گل‌سینه شده همراه با زغال سنگ درون کوره قوس الکتریکی شارژ می‌شود. میزان زغال حدود دو برابر وزنی کانی است و وظیفه آن صرفاً احیاء اکسید آهن به فلز می‌باشد. منبع حرارت در اینجا قوس الکتریکی است که دمای مواد شارژ را تا حدود 1650°C بالا می‌برد. در این شرایط بخش عمده آهن احیاء شده و به صورت چدن مذاب با خلوص بالا در قسمت تحتانی کوره جمع می‌شود. اکسید تیتانیوم و دیگر اکسیدها به همراه بخش کمی از اکسید آهن که احیاء نشده باقیمانده است، تشکیل سرباره غنی از تیتانیوم را داده و بر روی آهن مذاب قرار می‌گیرند. وجود اکسید آهن در سرباره برای بالا بردن سیالیت آن ضروری می‌باشد.

محصولات اصلی این فرآیند یکی چدن مذاب که تحت عنوان «فلز سورل» شناخته می‌شود، و دیگری سرباره غنی از تیتانیوم تحت عنوان «سرباره سورل» می‌باشند. نمونه آنالیز شیمیایی سرباره سورل در جدول ۱-۲ آورده شده است. بواسطه میزان بالای $\text{CaO} + \text{MgO}$ ، این سرباره برای روش

کلرور مناسب نبوده و عمدتاً برای تهیه دی اکسید از طریق سولفات به فروش می رسد.

دیگر تولید کننده سرباره در مقیاس بالا «ریچاردزبی مینرالز تایساند

Richards Bay Minerals Tisand در ریچاردزبی آفریقای جنوبی می باشد. میزان تولید

ریچاردزبی در سال ۱۹۹۴ حدود ۹۰۰ کیلو تن در سال گزارش شده است [۳]. در منابع در دسترس،

اشاره ای به جزییات روش نشده است. سرباره ریچاردزبی بواسطه عیار بالای دی اکسید تیتانیوم و

مقادیر کم اکسیدهای کلسیم و منیزیم، کاملاً برای کلرینه کردن در راکتورهای با بستر شناور مناسب

می باشد. نمونه آنالیز این سرباره نیز در جدول ۲-۱ ارائه گردیده است.

کمپانی های زیادی در کشورهای نروژ، چین و ژاپن از روش سرباره سازی برای فرآوری

ایلمنیت سود می جویند [۳]. در ژاپن نیز کمپانی تیتانیوم اوزاکا تا سال ۱۹۷۷ از این طریق برای

جداسازی آهن از دی اکسید تیتانیوم استفاده می نموده است [۹].

جدول ۲-۱: نمونه ترکیب شیمیایی سرباره غنی از تیتانیوم

| ترکیب | سرباره QIT ^(۱) | سرباره RB ^(۲) | ترکیب | سرباره QIT ^(۱) | سرباره RB ^(۲) |
|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| (TiO ₂) | ۷۲-۷۰٪ | ۸۵/۵٪ | (MgO) | ۵/۵-۴/۵٪ | ۰/۹٪ |
| (Ti ₂ O ₃) | ۱۵-۱۰٪ | ۲۵٪ | (Cr ₂ O ₃) | حد اکثر ۰/۲۵٪ | ۰/۲۲٪ |
| (FeO) | ۱۵-۱۲٪ | ۷/۵٪ | (V ₂ O ₅) | ۰/۱۶-۰/۱۵٪ | ۰/۴۰٪ |
| آهن فلزی | حد اکثر ۱/۵٪ | ۰/۲٪ | (MnO) | ۰/۱۳-۰/۱۲٪ | ۱/۴٪ |
| (SiO ₂) | ۵-۳/۵٪ | ۱/۵٪ | (C) | ۰/۱۰-۰/۰۳٪ | ۰/۰۷٪ |
| (Al ₂ O ₃) | ۶-۴٪ | ۲٪ | (S) | ۰/۱۰-۰/۰۳٪ | ۰/۰۶٪ |
| (CaO) | حد اکثر ۱/۲٪ | ۰/۱۴٪ | (P ₂ O ₅) | حد اکثر ۰/۰۲۵٪ | - |

Quebec Iron & Titanium - QIT :۱

Richards Bay - RB :۲