



با تشکر از نگاه زیبای شما

موضوع پروژه کارشناسی: روش های جدید استحصال تیتانیوم

از سنگ معدن

نام و نام خانوادگی: مینا کاظم زاده

شماره دانشجویی: ۹۹۲۴۴۰۵۰

استاد مربوطه: دکتر وحیده شجاعی

تابستان ۱۴۰۴



- ویژگی های تیتانیوم.....۵
- مشخصات فلز تیتانیوم.....۷
- تیتانیوم چگونه ساخته می شود.....۹
- تیتانیوم چه شکلی است.....۹
- خواص فیزیکی و شیمیایی۱۰
- ایزوتوپ های تیتانیوم.....۱۱
- خطرات استفاده از تیتانیوم.....۱۲
- تولید سالانه تیتانیوم.....۱۲
- فلز تیتانیوم و آلیاژ های آن.....۱۳
- رنگ تیتانیوم.....۱۵
- گرید های تیتانیوم.....۱۶

کاربرد های تیتانیوم.....۲۰

نکات پایانی فلز تیتانیوم.....۲۶

روش استخراج و فراوری تیتانیوم.....۲۷

فرآیندها.....۳۰

اسفنج تیتانیوم.....۳۴

معادن تیتانیوم در ایران.....۳۹

جمع بندی.....۴۳

(شروع فصل اول)

یک عنصر (به انگلیسی: Titanium) شیمیایی با نماد Ti و عدد اتمی ۲۲ است. تیتانیوم یک فلز واسطه براق

نقره‌ای رنگ است، و چگالی کم و مقاومت بالایی دارد. این فلز به شدت در برابر خوردگی در آب دریا، تیزاب

سلطانی و کلر و حتی در مقابل هیدروکلریک اسید مقاوم است.

می‌توان تیتانیوم را با آهن، آلومینیم، وانادیم و مولیبدن، آلیاژ کرد تا ماده‌ای سخت‌تر و سبک‌تر بدست آورد که در

ساخت سامانه‌های هوایی مانند موتور جت، موشک و فضاپیما، کاربردهای نظامی و فرایندهای صنعتی (شیمیایی و

شیمیایی-نفتی، کارخانه‌های نمک‌زدایی، کاغذ و ...) خودروسازی، کشاورزی و ساخت اندام‌های مصنوعی،

درون کاشتهای استخوانی، ابزارهای دندان پزشکی و ریشه درمانی، برسازی درون کاشت دندانی، کالاهای ورزشی،

گوهرسازی، گوشی همراه و ... بکار برده شود.

مهم‌ترین ویژگی‌های این فلز عبارتند از: مقاومت در برابر خوردگی و داشتن بالاترین نسبت مقاومت به چگالی در

برابر دیگر عناصر فلزی. [۵] تیتانیوم در هنگامی که هنوز با فلز دیگری آلیاژ نشده، مقاومتی برابر با فولاد و چگالی

کمتر از آن دارد. [۶] دو دگرشکلی [۷] و پنج ایزوتوپ طبیعی از Ti_{46} تا Ti_{50} برای این عنصر وجود دارد که Ti_{48}

با فراوانی طبیعی ۷۳/۸٪ از سایرین فراوان‌تر است. [۸] با اینکه تیتانیوم و زیرکونیم تعداد الکترون‌های ظرفیت

برابر دارند و در یک گروه جدول تناوبی قرار دارند با این حال در بسیاری ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی

متفاوت‌اند. از تیتانیوم در آگروز خودرو استفاده می‌شود.



تیتانیوم دی اکسید پرمصرف‌ترین ترکیب تیتانیوم می‌باشد.

<https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%DB%8C%D8%AA%D8%A7%D9%86%DB%8C%D9%85>

تیتانیوم به عنوان فلزی شناخته می‌شود که با وجود داشتن وزن کم، استحکام بسیار مناسبی دارد. این فلز در برابر خوردگی مقاومت خوبی از خود نشان می‌دهد. دلیل این موضوع، ایجاد یک لایه اکسید نازک بر سطح آن است.

عنصر تیتانیوم نسبت به بسیاری از فلزات، رسانایی گرمایی و الکتریکی پایین تری دارد؛ همچنین دمای ذوب بالایی دارد و تا ۱۶۰۰ درجه سانتی گراد نیز مقاوم است. یکی از دلایل کاربرد تیتانیوم در محصولات مختلف و حساس، همین ویژگی‌ها هستند.

موضوع دیگری که به استفاده از تیتانیوم در صنایع مختلف کمک می‌کند، خاصیت چکش‌خواری آن است. این قابلیت موجب شده تا تغییر شکل این فلز به حالت دلخواه، به شکل بهتری صورت پذیرد.

خاصیت فیزیکی دیگری که می‌توان برای فلز تیتانیوم ذکر کرد، مقاومت کششی آن است. از این نظر، تیتانیوم با فولاد قابل مقایسه و رقابت است. در واقع این دو ماده از نظر مقاومت کششی شرایط تقریباً مشابهی دارند؛ اما مزیت تیتانیوم در وزن کمتر آن است. حتی برخی از آلیاژهای این عنصر، مقاومت بیشتری نسبت به فولاد دارند.

فلز تیتانیوم همانند سایر عناصر، به طور خالص در طبیعت وجود ندارد و معمولاً با عناصر دیگری ترکیب شده است. سنگ معدنی تیتانیوم معمولاً با عنوان دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) شناخته می‌شود. این ماده که با نام «روتیل» یا Rutile نیز شناخته می‌شود، از نظر فراوانی، جز موارد کمیاب است. بنابراین قیمت بالاتری نسبت به سایر سنگ‌های معدنی تیتانیومی دارد. اما انواع دیگر سنگ معدنی تیتانیوم ایلمنایت نام یکی دیگر از سنگ‌های معدنی تیتانیوم دار است که با فرمول شیمیایی (FeTiO_3) شناخته می‌شود. این سنگ از نظر خلوص، نسبت به روتیل ارزش کمتری دارد و همان طور که از

فرمول شیمیایی آن مشخص است، مقداری از فلز آهن در این سنگ وجود دارد. به همین دلیل، فرآوری آن پیچیده تر است و به زمان بیشتری نیاز دارد. البته فراوانی ایلمنیت از روتیل بیشتر است؛ بنابراین از ارزش کمتری برخوردار است.

اما برای فرآوری سنگ های معدنی تیتانیوم دار، روش های مختلفی همچون هانتز، کرال، آرمسترانگ و کمبریج وجود دارد که دو مورد اول، شناخته شده تر هستند.

هانتز در اوایل قرن ۲۰ میلادی ابداع شد. در این روش، محیطی خنثی با دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد فراهم می شود. در این شرایط، سدیم برای کاهش میزان تتراکلرید تیتانیوم ($TiCl_4$) مورد استفاده قرار می گیرد. این فرایند موجب افزایش میزان تیتانیوم خالص به دست آمده در آن زمان شد. اما به مرور فرایند دیگری به نام کرال جایگزین آن شد.

<https://esfahanahan.com/mag/what-is-titanium>

مشخصات فلز تیتانیوم

قبل از اینکه به کاربردها و سایر نکات مهم درباره فلز تیتانیوم بپردازیم، اجازه دهید نگاهی به مشخصات این عنصر بیندازیم. جدول زیر مشخصات تیتانیوم را نمایش می دهد:

عدد اتمی ۲۲

وزن اتمی ۴۷.۸۶۷

نقطه ذوب ۱.۶۶۰ سانتی گراد

نقطه جوش ۳.۲۸۷ سانتی گراد

تراکم ۴.۵ g/cm³ (20 °C)

حالت های اکسیداسیون عنصر ۲، ۳، ۴+

ساختار الکترونی [Ar] 2s²4d³

تیتانیوم چگونه ساخته می شود؟

فرآیند کرول رایج ترین روش استفاده شده برای تولید Titanium خالص است. این فرآیند با گرم کردن

سنگ معدن هایی مانند روتیل یا ایلمنیت برای تولید تتراکلرید تیتانیوم ($TiCl_4$) مایع آغاز می شود. سپس،

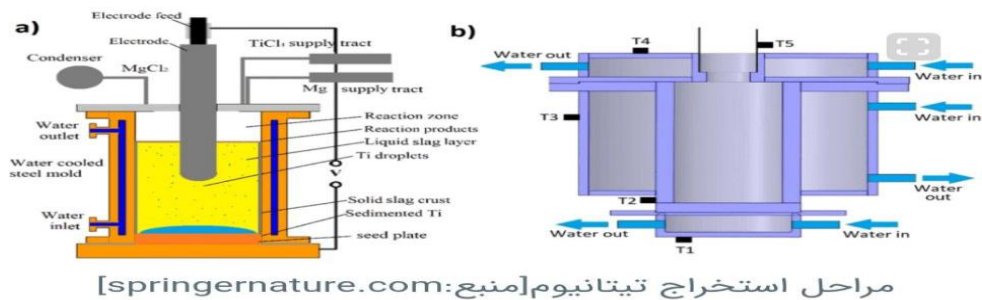
مایع $TiCl_4$ با تقطیر جزئی تصفیه می شود (مشابه فرآیند تقطیر جزئی استفاده شده برای تولید بنزین از

نفت خام). پس از تقطیر، منیزیم مذاب به مایع $TiCl_4$ اضافه می شود که منجر به تولید اسفنج Titanium

متخلخل و نمک مبتنی بر منیزیم می شود. سپس اسفنج Titanium فشرده و در کوره قوس ذوب می شود.

در نهایت، Titanium خالص به شکل شمش ریخته گری می شود. آلیاژها می توانند با مخلوط کردن ذوب

Titanium خالص با فلزات دیگر قبل از ریخته گری به شکل شمش ها ساخته شوند.



تیتانیوم چه شکلی است؟

تیتانیوم معمولاً در سنگ ها و کانی های آذرین و رسوبی یافت می شود. ایلمنیت (اکسید تیتانیوم-آهن) و روتیل دو کانی هستند که Titanium معمولاً از آنها استخراج می شود. ایلمنیت یک سنگ خاکستری-مشکی است، در حالی که روتیل یک سنگ قهوه ای تیره تا سیاه با ظاهری شبیه به کریستال است. شکل زیر ظاهر اسفنج Titanium خالص پس از تصفیه این کانی ها را نشان می دهد:



اسفنج تیتانیوم خالص [منبع: wikipedia.org]

<https://digimfg.ir/%D8%AA%DB%8C%D8%AA%D8%A7%D9%86%DB%8C%D9%88%D9%85>

خواص تیتانیوم چیست؟

تیتانیوم عمدتاً برای دو خاصیت شناخته می-شود:

مقاومت به خوردگی

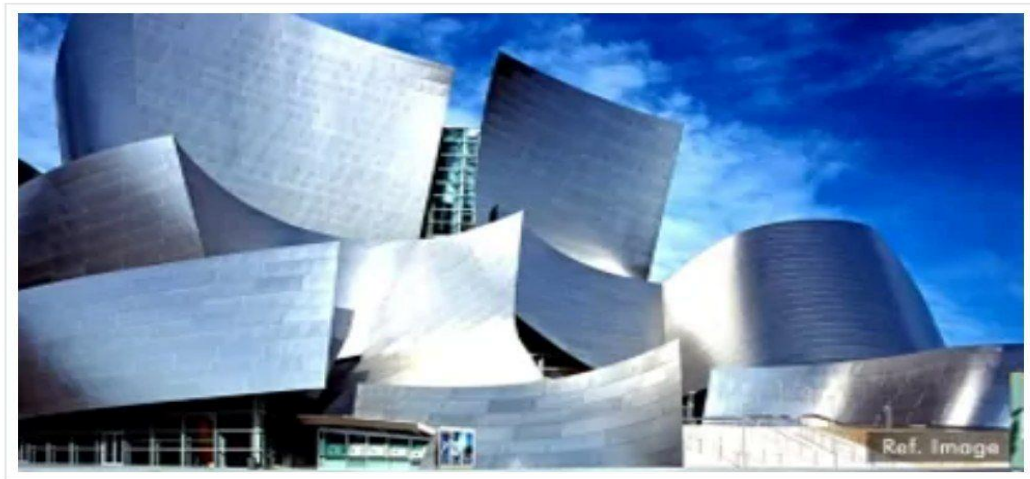
نسبت استحکام به چگالی

تیتانیوم در برابر خوردگی عملکرد بسیار مطلوبی دارد، زیرا در تماس با اکسیژن، سطح آن به سرعت با لایه‌ای از اکسید تیتانیوم پوشیده می‌شود. این لایه اکسید، غیر فعال، بسیار چسبنده و مقاوم است؛ به همین دلیل بر خلاف زنگ‌زدگی فولاد (اکسید آهن)، پوسته‌پوسته یا جدا نمی‌شود. همین ویژگی باعث می‌شود تیتانیوم در برابر مواد خوردنده‌ای همچون ترکیبات کلر، اسیدها و آب شور، مقاومت بالایی از خود نشان دهد.

تیتانیوم نسبت استحکام به وزن و نسبت استحکام به چگالی بسیار بالایی دارد؛ به این معنا که با وجود وزن کم، استحکام فوق‌العاده‌ای از خود نشان می‌دهد. برخی از گروه‌های آلیاژی تیتانیوم، مانند گروه ۵، دارای استحکام کششی به مراتب بالاتری نسبت به فولادهای کم‌کربن هستند، در حالی که چگالی آن‌ها کمی بیش از نیمی از چگالی فولاد است. این ویژگی، تیتانیوم را به گزینه‌ای ایده‌آل برای صنایع هوافضا، پزشکی و سایر کاربردهایی تبدیل می‌کند که نیاز به ترکیب همزمان سبکی و مقاومت بالا دارند.

<https://iranboor.com/what-is-titanium>

به دلیل استحکامی که این فلز در برابر خوردگی و واکنش‌های شیمیایی دارد، استفاده از آن در محیط‌های با خوردگی بالا رواج دارد. نمونه‌ای از این محیط‌ها آب دریا است که در این محیط حتی فولاد ضد زنگ هم دچار خوردگی می‌شود. همچنین در ساخت پروانه کشتی‌ها، واحدهای شیرین‌سازی آب و راکتورهای شیمیایی از این عنصر و آلیاژهای آن استفاده می‌کنند. سالانه بیش از ۱۰۰۰ تن از آلیاژهای تیتانیوم به منظور استفاده در جراحی‌های لگن و زانو و همچنین تهیه پروتزهای آن تولید می‌شود. از کاربردهای دیگر این عنصر می‌توان به ایمپلنت‌های دندان اشاره کرد. اخیراً در تزیین ساختمان‌های مرتفع از ورقه‌های تیتانیوم خالص استفاده می‌کنند.



استحکام بالای این فلز سبب شده استفاده از آن در جواهرآلات رونق بگیرد. برای افرادی که به فلزات حساسیت دارند، جواهرات تیتانیومی گزینه مناسبی هستند. همچنین جواهرات ساخته شده از این فلز را می‌توان به راحتی در محیط‌های مرطوب و همین‌طور استخرها استفاده کرد. از این عنصر همچنین برای تهیه آلیاژ با طلای ۲۴ عیار استفاده می‌شود. اگر آلیاژی با طلا و ۱ درصد تیتانیوم تهیه شود، عیار نهایی همان ۲۴ عیار خواهد بود اما سختی این آلیاژ طلا به مانند یک طلای ۱۴ عیار است. علاوه بر این، دوام این آلیاژ از طلای ۲۴ عیار بیشتر خواهد بود. در ساخت ساعت‌های مچی، مجسمه‌ها و مبلمان نیز از این عنصر بسیار بهره می‌برند.

خواص فیزیکی

همان‌طور که گفته شد، تیتانیوم فلزی است که «استحکام ویژه» (Specific Strength) بالایی دارد. فلزی با چگالی پایین، بادوام، براق و چکش‌خوار است. به دلیل مقاومت بالای آن در مقابل گرما و آب و همچنین دمای ذوب بالا (بیش از ۱۶۵۰ درجه سانتی‌گراد)، در دسته فلزات نسوز قرار می‌گیرد. خاصیت پارامغناطیسی دارد و هدایت الکتریکی و حرارتی آن در مقایسه با دیگر فلزات پایین است اما زمانی که به کمتر از دمای بحرانی خود برسد، به ابر رسانا تبدیل خواهد شد.

خواص شیمیایی تیتانیوم

همانند آلومینیوم و منیزیم، این فلز و آلیاژهای آن به سرعت در معرض هوا اکسید می‌شوند. این عنصر در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد با اکسیژن و ۶۱۰ درجه سانتی‌گراد با اکسیژن خالص به سادگی واکنش و تشکیل دی‌اکسید تیتانیوم می‌دهد. در هر صورت همانطور که گفته شد واکنش آن با آب و هوا در دمای محیط بسیار آهسته صورت می‌گیرد چراکه در اثر این واکنش یک لایه مقاوم در برابر خوردگی تشکیل می‌شود که در مقابل اکسید شدن مقاوم است. ضخامت این لایه تنها بین ۱-۲ نانومتر است و به آرامی ضخامت آن افزایش می‌یابد به طوریکه بعد از گذشت ۴ سال، ضخامت آن در نهایت به ۲۵ نانومتر می‌رسد.

این فلز در برابر سولفوریک اسید رقیق، هیدروکلریک اسید، محلول‌های کلرید و بیشتر اسیدهای آلی مقاوم است اما در برابر اسیدهای غلیظ دچار خوردگی می‌شود. به دلیل پتاسیل منفی اکسید و احیا، این فلز از لحاظ ترمودینامیکی به شدت فعال است به طوریکه در فشار اتمسفر و دمای کمتر از نقطه ذوب می‌سوزد. در نتیجه ذوب آن تنها در محیط‌های خنثی یا خلأ امکان‌پذیر است و در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد با کلر ترکیب می‌شود. همچنین این عنصر با دیگر هالوژن‌ها واکنش می‌دهد و هیدروژن جذب می‌کند.

ایزوتوپ‌های تیتانیوم

این فلز دارای پنج ایزوتوپ طبیعی پایدار از تیتانیوم ۴۶ تا تیتانیوم ۴۹ است. همچنین تیتانیوم ۴۸ با فراوانی ۸/۷۳ درصد، فراوانترین ایزوتوپ این عنصر محسوب می‌شود. علاوه بر این، رادیوایزوتوپ‌هایی با نیم عمر ۶۳ سال نیز شناسایی شده‌اند، البته رادیوایزوتوپ‌های این عنصر معمولاً نیمه عمرهای بسیار کمتری حتی کمتر از نیم ثانیه دارند.

خطرات استفاده از تیتانیوم

این فلز حتی در مقادیر بسیار زیاد نیز سمی نیست و نقش خاصی را در بدن انسان ندارد. به طور معمول روزانه ۸/۰ میلی‌گرم از این عنصر توسط انسان مصرف می‌شود. این میزان کم در بافت‌ها تجمع پیدا نمی‌کند مگر در مواردی که بافت شامل سیلیکا (SiO₂)(SiO₂) باشد. برخی مطالعات، ارتباطی را میان این فلز و سندرم ناخن زرد پیدا کرده‌اند. گیاهان تحت مکانسیم‌هایی ناشناخته از این عنصر برای تحریک تولید کربوهیدرات‌ها استفاده می‌کنند. به همین دلیل بیشتر گیاهان شامل ۱ppm تا ۱۰ppm از این فلز هستند. این میزان برای گیاهان خوراکی در حدود ۲ppm تا ۲۰ppm و برای گیاه گزنه ۸۰ppm تا ۸۰۰ppm است.



میزان تیتانیوم موجود در گزنه در حدود 80ppm است.

اگر پودر این فلز یا تراشه‌های آن در حضور هوا حرارت ببینند، خاصیتی انفجاری از خود بروز می‌دهند که آب و دی‌اکسید کربن در خاموش کردن شعله آن تاثیری ندارند. همچنین این عنصر نباید در معرض گاز کلر قرار بگیرد چراکه این گاز در ترکیب با آن موجب بروز شعله‌های تیتانیوم-کلرید می‌شود.

تولید سالانه تیتانیوم

تولید سالانه تیتانیوم جهان و برخی کشورها در جدول زیر آورده شده است:

کل دنیا ۱۷۱۰۰۰ تن

چین ۸۰۰۰۰ تن

روسیه ۴۲۰۰۰ تن

ژاپن ۳۰۰۰۰ تن

قزاقستان ۹۰۰۰ تن

اوکراین ۹۰۰۰ تن

<https://blog.faradars.org/%D8%AA%DB%8C%D8%AA%D8%A7%D9%86%DB%8C%D9%88%D9%85>

فلز تیتانیوم و آلیاژهای آن

تیتانیوم و آلیاژهای آن از صنایع شیمیایی گرفته تا هوافضا، تصفیه آب، صنایع دریایی و پزشکی و... مورد استفاده قرار می‌گیرند. ظرفیت تولید تیتانیوم به صورت فلزی و آلیاژی حدوداً ۳۰۰ هزار تن در سال است و بزرگ‌ترین تولیدکنندگان آن کشورهای چین، آمریکا، روسیه، ژاپن و اتحادیه اروپا هستند. مصرف تیتانیوم و آلیاژهای آن به دلیل ویژگی‌های خاصی که دارند در کشورهای پیشرفته و توسعه‌یافته بسیار بالا بوده و این میزان تقریباً ۱۰ برابر کشورهای در حال توسعه است. تیتانیوم و آلیاژهای آن را به چند دسته تقسیم می‌کنند:

تیتانیوم غیرآلیاژی

تیتانیوم غیر آلیاژی که به آن تیتانیوم خالص هم گفته می‌شود، شامل ۹۹ تا ۹۹.۵ درصد تیتانیوم به همراه مقادیری ناخالصی مانند آهن، هیدروژن، نیتروژن، کربن و اکسیژن است. میکروساختار فلز تیتانیوم خالص فاز آلفا با ساختار HCP و مقادیری فاز بتا است. این تیتانیوم از آلیاژهای تیتانیوم ارزان‌تر است و نسبت به آن‌ها مقاومت به خوردگی بالاتر و استحکام پایین‌تری دارد. همچنین این تیتانیوم دارای قابلیت جوشکاری و شکل‌پذیری بالایی است و در دمای بالا مقاومت به خزش بسیار خوبی دارد.



آلیاژهای نزدیک به آلفا تیتانیوم

در کنار پایدارکننده‌های فاز آلفا که به آن‌ها پرداختیم، آلیاژهای نزدیک آلفا با درصد کمی از پایدارکننده فاز بتا مانند مولیبدن، وانادیوم و سیلیکون ترکیب می‌شوند. در واقع این نوع از آلیاژها شامل مقداری فاز بتای انعطاف‌پذیر هستند. آلیاژهای نزدیک به آلفا نسبت به آلیاژهای کاملاً آلفا، تا دمای نزدیک ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد استحکام خزشی بهتری دارند. همچنین از دیگر ویژگی‌های این آلیاژها می‌توان به استحکام نسبتاً بالا در دمای اتاق، انعطاف‌پذیری مناسب، تافنس بسیار خوب، قابلیت جوشکاری و در نهایت مقاومت خوب نسبت به محیط‌های آب شور اشاره کرد.

آلیاژهای آلفا-بتا تیتانیوم

آلیاژهای آلفا-بتا از دسته آلیاژهای شبه پایدار هستند که در ساختارشان ترکیبی از عناصر پایدارکننده از هر دو فاز آلفا و بتا وجود دارد. آلیاژهای آلفا-بتا قابل جوشکاری و عملیات حرارتی هستند و خواص شکل پذیری بسیار خوبی دارند. همچنین از این آلیاژها می‌توانید انتظار استحکام، تافنس و مقاومت به خوردگی مناسب داشته باشید.

آلیاژهای بتا تیتانیوم

این گروه، از آلیاژهای شبه پایدار محسوب می‌شوند و عناصر پایدارکننده فاز بتا مانند مولیبدن، سیلیکون و وانادیوم دارند. بنابراین، باید انتظار داشته باشید که فاز بتا در هنگام عملیات کوئنچ پایدار باقی بماند. شکل پذیری آلیاژهای بتا بسیار خوب است و قابلیت اجرای عملیات حرارتی دارند. همچنین این آلیاژها نسبت به آلیاژهای آلفا-بتا که پیش‌تر به آن‌ها پرداختیم، استحکام شکست بالاتری دارند. در جدول زیر می‌توانید طبقه‌بندی گریدهای تیتانیوم و آلیاژها و خواص آن‌ها را مشاهده کنید:

نوع آلیاژ خواص

تیتانیوم خالص با مقادیر مختلفی از آهن، هیدروژن، نیتروژن، کربن و اکسیژن یا گریدهای: ۱، ۲، ۳، ۴، ۷، ۱۱، ۱۶، ۱۷، ۲۶،

۲۷ شکل‌پذیری بالا

مقاومت به خوردگی بسیار خوب

مقاومت به خزش بالا

غیرقابل عملیات حرارتی

قابل جوشکاری

آلیاژهای آلفا تیتانیوم دارای عناصر پایدارکننده آلومینیوم و اکسیژن Ti-6Al-2Sn-4Zr-، Ti-5Al-2.5Sn ELI ، Ti-2.5Cu

Ti-8Al-1Mo-1V، 2Mo

استحکام بهتر از تیتانیوم غیرآلیاژی

مقاومت به خوردگی کمتر از تیتانیوم خالص

غیرقابل عملیات حرارتی

قابل جوشکاری

آلیاژهای نزدیک به آلفا تیتانیوم که شامل کمی فاز بتا هستند مانند: Titanium Grade 12 ، Titanium Grade 28،

Ti 834 ، Titanium Grade 6، Titanium Grade 9

، Ti-5.5Al-3.5Sn-3Zr-1Nb ، Ti-5Al-1Sn-1Zr-1V-0.8Mo

استحکام خزشی بالاتر از آلیاژهای آلفا

استحکام مناسب تا دمای نزدیک ۴۰۰ درجه سانتی گراد

انعطاف پذیری بالا در دمای اتاق

تافنس بالا

مقاومت مناسب نسبت به محیط‌های آب شور

قابل جوشکاری

آلیاژهای آلفا-بتا تیتانیوم که حاوی فاز آلفا و بتا به صورت هم‌زمان هستند مانند: Titanium Grade 5، Titanium Grade 23، Titanium Grade 29، Ti-6Al-7Nb، Ti-6Al-6V-2Sn، Ti-6Al-4Zr-6Mo

، Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.15Si، Ti-4Al-4Mo-2Sn، Ti-7Al-4Mo

بهترین خواص مکانیکی از بین آلیاژهای تیتانیوم

قابلیت انجام عملیات حرارتی و بهبود استحکام

قابلیت جوشکاری ضعیف

قابلیت انجام عملیات حرارتی کمتر از آلیاژهای تک فاز بتا

آلیاژهای شبه پایدار بتا تیتانیوم شامل پایدارکننده‌های بتا مانند مولیبدن، سیلیکون و وانادیوم مانند: Ti-5Al-2Zr-2Sn، Ti-13V-11Cr-3Al، Grade 19، 4Mo-4Cr، 10V-2Fe-3Al، TIMETAL 21S، Ti 10V- 2Fe- 3Al، ۱۵، V-3Cr-3Sn-3Al، Ti-10V-2Fe-3Al

[/https://sabaprofile.com/what-is-titanium-and-why-is-it-important](https://sabaprofile.com/what-is-titanium-and-why-is-it-important)

رنگ تیتانیوم چیست؟

تیتانیوم دارای رنگ نقره‌ای-خاکستری یا نقره‌ای-سفید است. با این حال، Titanium می‌تواند تمام طیف رنگ‌ها را در صورت آندایزینگ به روش‌های خاص به دست آورد. با کنترل ولتاژ در فرآیند آندایزینگ، رنگ‌های مختلفی از Titanium قابل دستیابی است.



رنگ های آنودایز تیتانیوم [منبع: hosnti.com]

گریدهای رایج تیتانیوم چیست؟

گریدهای Titanium که در ادامه بررسی می شوند، عمدتاً بر اساس استانداردهای صنعتی و خصوصیات مشخصی که هر گرید را برای کاربردهای خاص مناسب می کند، دسته بندی شده اند. این استانداردها معمولاً توسط سازمان هایی مانند ASTM (انجمن آزمایش و مواد آمریکا) یا ISO (سازمان بین المللی استانداردسازی) تعیین می شوند و خصوصیات مانند ترکیب شیمیایی، خواص مکانیکی، و مقاومت در برابر خوردگی را مشخص می کنند.

گریدهای تیتانیوم اغلب به دو دسته عمده تقسیم می شوند: Titanium خالص ("CP" اختصاری است برای "Commercially Pure" که به معنای "خالص تجاری" است.) و آلیاژهای Titanium. تیتانیوم خالص در گریدهای مختلفی با خلوص و خواص مکانیکی متفاوت موجود است، در حالی که آلیاژهای Titanium حاوی عناصر افزودنی هستند که به بهبود خواص خاصی مانند استحکام، مقاومت در برابر حرارت، یا قابلیت جوشکاری کمک می کنند.

ترتیب نوشتن گریدهای Titanium در متن می تواند بر اساس شماره گرید یا بر اساس کاربردهای رایج آنها باشد. به طور معمول، این گریدها با شماره های مختلفی نام گذاری می شوند (مانند گرید ۱، گرید ۲، گرید ۵، و غیره)، و هر شماره نشان دهنده ترکیب شیمیایی و خواص فیزیکی مختص به آن گرید است. این شماره ها نه لزوماً به ترتیب استحکام یا کاربرد مشخصی هستند، بلکه بیشتر برای شناسایی و استانداردسازی این آلیاژها در صنعت به کار می روند.

بنابراین، در حالی که ممکن است ترتیب خاصی برای لیست کردن گریدها وجود داشته باشد، این ترتیب بیشتر برای سهولت شناسایی و استفاده از استانداردهای صنعتی است تا اینکه از الگوی خاصی پیروی کند. انتخاب گرید مناسب برای کاربرد خاص، بستگی به نیازهای مشخص آن کاربرد، از جمله خواص مکانیکی مورد نیاز، مقاومت در برابر خوردگی، دمای کاری، و سایر خصوصیات مهم دارد. برای مثال، گریدهای مختلف Titanium برای موارد استفاده ای مانند صنایع هوافضا، تجهیزات

پزشکی، صنایع دریایی، و ساختارهای مقاوم در برابر خوردگی طراحی شده‌اند. هر گرید بر اساس ترکیب شیمیایی خاص و خواص فیزیکی و مکانیکی که تحت استانداردهای معینی قرار می‌گیرد، مشخص می‌شود.

گریدهای تجاری خالص (CP): این گریدها بیشتر برای خلوص بالای Titanium و مقاومت خوب آنها در برابر خوردگی شناخته شده‌اند. آنها معمولاً در چهار گرید (گرید ۱ تا ۴) موجود هستند که هر کدام دارای میزان مشخصی از استحکام و دوام هستند، با گرید ۱ کمترین استحکام و گرید ۴ بیشترین استحکام را دارا می‌باشند.

گریدهای آلیاژی: این گریدها با افزودن عناصر دیگری مانند آلومینیوم، وانادیوم، نیوبیوم، و مولیبدن به Titanium ایجاد می‌شوند تا خواص مکانیکی مانند استحکام، سختی، و تحمل دما بهبود یابد. گرید ۵ (Ti-6Al-4V) یکی از رایج‌ترین آلیاژهای Titanium است و برای برنامه‌های کاربردی که نیاز به ترکیبی از استحکام بالا و مقاومت خوب در برابر خوردگی دارند، مناسب است.

انتخاب گرید مناسب اهمیت ویژه‌ای دارد زیرا خواص مورد نظر برای کاربرد خاص، می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر عملکرد کلی ماده در محیط کاربردی داشته باشد. مهندسان و طراحان باید خواص مورد نیاز را با دقت بررسی کنند تا اطمینان حاصل شود که گرید انتخاب شده برای کاربرد مورد نظر مناسب است، چه از نظر مقاومت مکانیکی، مقاومت در برابر خوردگی، قابلیت جوشکاری، یا هر فاکتور مهم دیگری.

۱. گرید ۱۱

گرید ۱۱، همچنین به عنوان CP Ti-0.15Pd شناخته می‌شود، Titanium خالص تجاری است، مشابه گرید ۱ و گرید ۲. گرید ۱۱ به دلیل افزودن پالادیوم، مقاومت بیشتری در برابر خوردگی شیار دارد. همچنین دارای انعطاف‌پذیری بالا، مقاومت ضربه و جوشکاری است. گرید ۱۱ به طور معمول در فرآیندهای شیمیایی و ذخیره‌سازی، کانال‌ها، پمپ‌ها و مبدل‌های حرارتی استفاده می‌شود.

منظور از “خوردگی شیار” (crevice corrosion) به نوعی از خوردگی اشاره دارد که در شیارها، حفره‌ها، یا نقاط تماس که در آنها مایعات محبوس می‌شوند، رخ می‌دهد. این نوع خوردگی معمولاً در مناطقی اتفاق می‌افتد که به دلیل وجود شکاف‌های باریک، حفره‌های کوچک، یا اتصالات فلزی، محیط‌های میکروبیولوژیکی محافظت‌شده و خورنده ایجاد می‌شود. این مناطق می‌توانند محیط‌هایی با کاهش اکسیژن و افزایش اسیدیته را تشکیل دهند که به تسریع فرآیند خوردگی کمک می‌کند.

برای کاربران فارسی‌زبان که ممکن است با این اصطلاح آشنایی نداشته باشند، می‌توان این نوع خوردگی را با توضیح بیشتر یا با استفاده از ترکیبات فارسی مانند “خوردگی در شکاف‌ها” یا “خوردگی در حفره‌های کوچک” توضیح داد تا مفهوم آن روشن‌تر شود.

۲. گرید ۱۲ یا Ti 0.3-Mo 0.8-Ni

تیتانیوم گرید ۱۲، همچنین به عنوان Ti 0.3 Mo 0.8 Ni شناخته می‌شود، یک آلیاژ Titanium مقاوم، ضد خوردگی و پایدار حرارتی است که برای جوشکاری و قابلیت شکل‌گیری آن ارزشمند است. آلیاژ Titanium گرید ۱۲ شامل تا ۹۹٪ Titanium، ۰.۶-۰.۹٪ نیکل، ۰.۲-۰.۴٪ مولیبدن، تا ۰.۳٪ آهن، تا ۰.۲۵٪ اکسیژن و سایر عناصر است. به دلیل دوام و مقاومت در برابر خوردگی، گرید ۱۲ به طور معمول در اجزای دریایی مانند کشتی‌ها یا سکوها حفاری دریایی، تولید شیمیایی و در مبدل‌های حرارتی استفاده می‌شود.

۳. گرید ۴

Titanium گرید ۴ قوی‌ترین تیتانیوم خالص تجاری است. استحکام Titanium گرید ۴ با فولاد ضد زنگ و فولاد کم کربن رقابت می‌کند، که ماده‌ای را با وزن سبک‌تر ارائه می‌دهد. به دلیل استحکام و مقاومت در برابر خوردگی، گرید ۴ به طور معمول در هوافضا، فرآیندهای شیمیایی و اجزای دریایی مانند ساختارهای هواپیما و مبدل‌های حرارتی استفاده می‌شود.

۴. گرید ۵ یا Ti 6Al-4V

گرید ۵ رایج‌ترین آلیاژ Titanium استفاده شده است. این آلیاژ نیمی از تمام Titanium مورد استفاده در جهان را تشکیل می‌دهد. این گرید دارای استحکام بسیار بالا، مقاومت در برابر حرارت، قابلیت تحمل حرارتی، قابلیت شکل‌گیری و مقاومت در برابر خوردگی است. گرید ۵ همچنین به عنوان Ti 6Al-4V شناخته می‌شود به دلیل درصد آلومینیوم و وانادیوم در آلیاژ. تیتانیوم درجه ۵ شامل ۸۸-۹۰٪ تیتانیوم، ۵.۵-۶.۷۵٪ آلومینیوم، ۳.۵-۴.۵٪ وانادیوم و مقادیر کمی از سایر عناصر از جمله آهن، اکسیژن، کربن و هیدروژن است.

به دلیل خواص آن، Titanium گرید ۵ به شدت در صنعت هوافضا برای ساخت موتورهای و اجزای ساختاری مورد تقاضا است. علاوه بر این، Ti 6Al-4V اغلب در قطعات خودرو مانند فنرها و اگزوزها و کاربردهای پزشکی مانند ایمپلنت‌های مفصل استفاده می‌شود.

۵. گرید ۷

گرید ۷ آلیاژ Titanium است که تقریباً مشابه Titanium گرید ۲ است. تنها تفاوت بین گرید ۷ و گرید ۲ افزودن پالادیوم در آلیاژهای گرید ۷ است. ترکیب تیتانیوم گرید ۷ شامل ۹۹٪ تیتانیوم، ۰.۱۲-۰.۲۵٪ پالادیوم، ۰.۳٪ آهن، ۰.۲۵٪ اکسیژن و سایر عناصر است. گرید ۷ بالاترین مقاومت در برابر خوردگی را در میان همه آلیاژهای Titanium دارد و خواص جوشکاری و شکل‌گیری عالی را نشان می‌دهد. به دلیل خواص عالی مقاومت در برابر خوردگی، Titanium گرید ۷ اغلب در تولید شیمیایی و کاربردهای آب‌شیرین‌کن استفاده می‌شود.

۶. گرید ۱

گريد ۱ نرم‌ترين و انعطاف‌پذيرترين گريد تيتانيوم خالص است. بنابر اين، Titanium گريد ۱ بهترين قابليت شکل‌گيري را در ميان انواع مختلف Titanium دارد. Titanium گريد ۱ متشکل از ۹۹٪ تيتانيوم، ۰.۲٪ آهن، ۰.۱۸٪ اکسيژن و مقادير کمي از ساير عناصر مانند نيترोजن، کربن و هيدروجن است. اين گريد اغلب در پوشش‌دهي، لوله‌کشي، لوله‌ها و ساير کاربردها که قابليت شکل‌گيري و جوشکاري حياتي است، مانند در صنايع هوافضا، خودروسازي و توليد برق استفاده مي‌شود.

۷. گريد ۳

گريد ۳ کم‌ترين گريد Titanium خالص مورد استفاده است. گريد ۳ قوي‌تر از Titanium گريد ۱ و گريد ۲ است، اما انعطاف‌پذيري و قابليت شکل‌گيري کم‌ترى دارد. گريد ۳ به طور معمول در مخازن کرايوژنيک، لوله‌هاي مبدل، مبدل‌هاي حرارتي و ساير تجهيزات پردازش شيميايي استفاده مي‌شود.

مخازن کرايوژنيک به مخازني اطلاق مي‌شود که براي نگهداري مواد در دماهاي بسيار پايين، معمولاً زير منفي ۱۵۰ درجه سانتیگراد (-۲۳۸ درجه فارنهایت) طراحي شده‌اند. اين دماها به قدری پايين هستند که امکان مايع ماندن گازهايي مانند نيترोजن، اکسيژن، هليوم، آرگون و گاز طبيعي را فراهم مي‌آورند، که در اين حالت به آن‌ها "مايعات کرايوژنيک" گفته مي‌شود.

اين مخازن بايد به گونه‌اي طراحي شوند که قادر به تحمل شرايط فشار بالا و دماهاي شديداً پايين باشند. اين امر معمولاً از طريق استفاده از مواد عايق بندي شده پيشرفته، طراحي‌هاي دو جداره يا خلاء و سيستم‌هاي کنترل فشار انجام مي‌شود تا از تبخير سريع مايعات جلوگیری کنند و اطمینان حاصل شود که محتويات براي مدت طولاني در دماي مورد نياز باقي بمانند.

مخازن کرايوژنيک در بخش‌هاي مختلفي به کار گرفته مي‌شوند، از جمله:

در پزشکی، براي نگهداري نمونه‌هاي زبستي مانند اسپرم، تخمک‌ها، بافت‌ها و سلول‌هاي بنیادی.

در صنعت، براي نگهداري گازهاي صنعتی مايع مانند نيترोजن مايع و اکسيژن مايع که در فرآيندهاي مختلف توليد و پردازش استفاده مي‌شوند.

در تحقيقات علمي، براي نگهداري مواد نمونه يا مواد شيميايي در دماهاي کرايوژنيک به منظور مطالعه خواص فيزيکي و شيميايي آنها.

در صنايع فضايي، براي ذخيره‌سازي سوخت‌هاي راکت مانند هيدروجن مايع و اکسيژن مايع که در موتورهاي راکت استفاده مي‌شوند.

طراحي اين مخازن مي‌بايست به گونه‌اي باشد که به حداقل رساندن اتلاف حرارتي و جلوگیری از هر گونه تبخير يا نشتي اطمینان دهد، همچنين ايمنی در برابر فشارهاي ناشي از تغييرات دمايي را تضمين کند.

۸. گرید ۶ یا Ti 5Al-2.5Sn

Titanium گرید ۶ آلیاژ تیتانیومی است که حاوی تقریباً ۵٪ آلومینیوم، ۲.۵٪ قلع و ۰.۵٪ آهن است. افزودن آلومینیوم و قلع مقاومت در برابر خزش و ثبات دمایی Titanium را بهبود می‌بخشد. گرید ۶ برای دماهای سرویس بالاتر حدود ۴۸۲ درجه سانتیگراد ترجیح داده می‌شود که اغلب برای محفظه‌ها و حلقه‌ها در موتورهای توربین، اعضای سازه و چارچوب‌ها در هواپیماها و قطعات فرآیند شیمیایی استفاده می‌شود.

۹. گرید ۲

گرید ۲ یکی دیگر از تیتانیوم‌های خالص تجاری است و رایج‌ترین گرید Titanium خالص مورد استفاده است. مانند سایر گریدهای تیتانیوم خالص، حاوی ۹۹٪ Titanium است اما با سایر گریدهای خالص در اینکه حاوی ۰.۳٪ آهن، ۰.۲۵٪ اکسیژن و مقادیر کمی از سایر عناصر متفاوت است. درصد اکسیژن بیشتر به Titanium گرید ۲ اجازه می‌دهد قوی‌تر از گرید ۱ باشد. علاوه بر این، انعطاف‌پذیری و جوشکاری آن، گرید ۲ را به یک آلیاژ بسیار چندمنظوره تبدیل می‌کند.

Titanium گرید ۲ اغلب به دلیل مقرون به صرفه بودن نسبت به سایر گریدهای Titanium به میزان زیادی برای کاربردهای گسترده تولید استفاده می‌شود. تیتانیوم گرید ۲ اغلب در صنایع تولید برق و نفت به عنوان ماده پوششی به دلیل مقاومت در برابر خوردگی استفاده می‌شود.

۱۰. گرید ۲۳ یا Ti 6Al-4V ELI

Titanium گرید ۲۳، همچنین به عنوان Ti 6Al-4V ELI به دلیل ترکیب شیمیایی آن شناخته می‌شود، دارای استحکام کششی و تسلیم بالا، چقرمگی، انعطاف‌پذیری و جوشکاری است. این دارای ترکیبی از ۸۸-۹۰٪ تیتانیوم، ۵-۶.۵٪ آلومینیوم، ۳.۵-۴.۵٪ وانادیوم، ۰.۲۵٪ آهن، ۰.۱۳٪ اکسیژن و سایر عناصر است. گرید ۲۳ به عنوان نسخه‌ای پاک‌تر از Titanium گرید ۵ در نظر گرفته می‌شود و اغلب بهترین انتخاب برای کاربردهای دندانپزشکی است. بنابراین، Titanium گرید ۲۳ اغلب در جایگزین گرید تیتانیوم بهترین است؟

گرید ۵ (Ti 6Al-4V) تیتانیوم به دلیل طیف وسیعی از خواص مطلوب آن، انعطاف‌پذیرترین گرید Titanium است. این کلاس دارای استحکام و انعطاف‌پذیری بالا است و همچنین ضد خوردگی، پایداری حرارتی و به شدت قابل شکل‌دهی است. خواص آن باعث می‌شود Titanium گرید ۵ برای استفاده در طیف وسیعی از صنایع و کاربردها ایده‌آل باشد: از قطعات خودرو و هوافضا گرفته تا کالاهای ورزشی و محصولات مصرفی.

زینی‌های استخوان و مفصل، منگنه‌های جراحی، گیره‌های بخیه، ایمپلنت‌های دندانپزشکی و بیشتر استفاده می‌شود.

کاربردهای تیتانیوم چیست؟

خواص Titanium استفاده از آن را در طیف وسیعی از صنایع و کاربردها رایج می‌سازد. برخی از کاربردهای Titanium در زیر فهرست شده‌اند:

۱. جواهرات

تیتانیوم به طور معمول در جواهرات برای ساخت آویزها، ساعت‌های مچی، گردنبندها، حلقه‌ها و سایر اقلام به دلیل دوام، وزن سبک و مقاومت در برابر خوردگی استفاده می‌شود. علاوه بر این، Titanium گاهی اوقات با طلا ترکیب می‌شود تا آلیاژهای طلای ۲۴ عیاری تولید شود که سخت‌تر و مقاوم‌تر از جایگزین‌های طلای خالص هستند. به دلیل سازگاری بیولوژیکی آن، Titanium بین افرادی که به سایر فلزات معمولاً یافت شده در جواهرات، مانند نیکل، آلرژی دارند، محبوب است.

۲. پزشکی

تیتانیوم فلزی بسیار مهم در صنعت پزشکی است به دلیل استحکام بالا، مقاومت در برابر خستگی و سازگاری بیولوژیکی. Titanium اغلب در ابزارهای جراحی و دندان‌ها، ایمپلنت‌ها و جایگزینی‌های مفصل استفاده می‌شود. استئواینتگریشن، توانایی استخوان و ایمپلنت مصنوعی برای ایجاد اتصال ساختاری و عملکردی، با Titanium ممکن است. سازگاری بیولوژیکی و عدم سمیت Titanium نتایج بهتر بیمار و ایمپلنت‌ها و پروتزهای مقاوم و قوی را که می‌توانند تا ۳۰ سال دوام داشته باشند، تضمین می‌کند.

۳. صنعتی

تیتانیوم به طور معمول در طیف وسیعی از محیط‌های صنعتی به دلیل استحکام بالا و مقاومت در برابر خستگی، مقاومت در برابر خوردگی، وزن سبک و دوام استفاده می‌شود. کاربردهای Titanium در تنظیمات صنعتی شامل مبدل‌های حرارتی، مخازن، رآکتورها، شیرها، لوله‌ها، میله‌های اتصال، پمپ‌ها و غیره است.

۴. هوافضا

تیتانیوم انتخاب عالی برای ساخت قطعات و وسایل هوافضایی است و تقریباً ۵۰٪ از وزن کل یک هواپیما را تشکیل می‌دهد. این اغلب برای ساخت قطعات حیاتی مانند ارابه‌های فرود، دیواره‌های آتش‌نشانی و سیستم‌های هیدرولیکی استفاده می‌شود. Titanium در صنعت هوافضا به دلیل چگالی پایین، نسبت استحکام به وزن بالا، مقاومت در برابر خوردگی و مقاومت در برابر خستگی ارزشمند است.

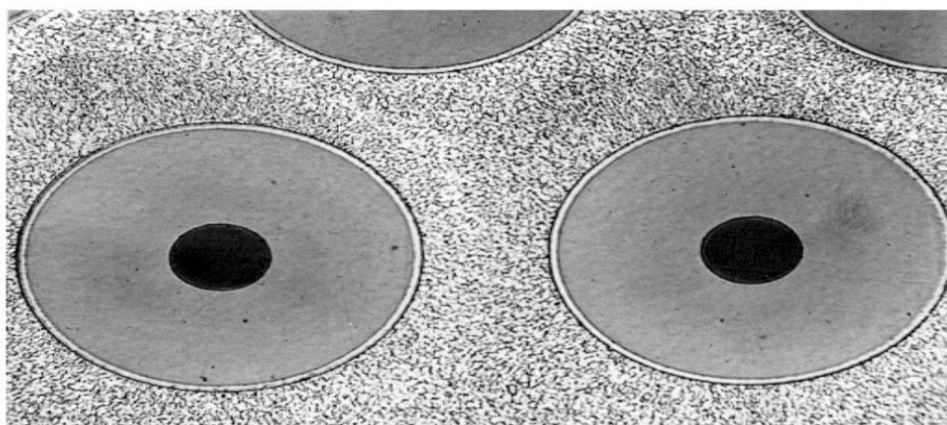
۵. معماری

تیتانیوم برای محصولات معماری به دلیل وزن سبک، استحکام بالا، مقاومت در برابر خوردگی و دوام ایده‌آل است. در حالی که فولاد همچنان برای چارچوب‌های ساختمان ترجیح داده می‌شود، Titanium اغلب برای قاب‌های شیشه‌ای، نماها، سقف‌ها، سطوح دیوار داخلی و سقف‌ها به دلیل مقاومت در برابر خوردگی و نسبت استحکام به وزن بالای آن استفاده می‌شود.

۶. کامپوزیت‌ها

کامپوزیت‌های مبتنی بر تیتانیوم مواد جدیداً توسعه یافته‌ای هستند که از استحکام و ویژگی‌های وزنی Titanium برای تولید کامپوزیت‌های تقویت‌شده با الیاف Titanium یا تقویت‌شده با ذرات (پودر) استفاده می‌کنند. کامپوزیت‌های Titanium استحکام، مقاومت در برابر سایش و استحکام بیشتری نسبت به آلیاژهای معمولی نشان می‌دهند. در حالی که کامپوزیت‌های Titanium فقط از ابتدای قرن ۲۱ توسعه یافته‌اند، شروع به پیاده‌سازی در کاربردهای هوافضایی و خودرویی می‌کنند.

در شکل زیر کامپوزیت تیتانیومی TMC را مشاهده می‌کنید. کامپوزیت ماتریس تیتانیومی (TMC) یک ماده کامپوزیتی تقویت‌شده با الیاف است که در آن الیاف کاربید سیلیکون (SiC) درون یک ماتریس فلزی از تیتانیوم قرار می‌گیرند و با ایجاد یک اتصال بی‌درز (تقریباً یکپارچه) با هم پیوند می‌یابند. به دلیل ویژگی‌های خاص فرایند اسپاترینگ مغناطیسی، هر آلیاژ تیتانیومی می‌تواند به‌عنوان ماتریس فلزی استفاده شود.



کامپوزیت تیتانیوم TMC [منبع: ktwtechnology.de]

۷. صنعت خودرو

تیتانیوم اغلب در صنعت خودرو برای ساخت قطعات موتور، میل‌لنگ‌ها، نشیمنگاه‌های سوپاپ، میله‌های اتصال، سیستم‌های اگزوز، سیستم‌های تعلیق و چارچوب‌های خودرو استفاده می‌شود. Titanium در صنعت خودرو به دلیل چگالی پایین، نسبت استحکام به وزن بالا، مقاومت در برابر خوردگی و مقاومت در برابر حرارت بسیار مورد توجه است. نه تنها این ویژگی‌های Titanium به بهبود آپرودینامیک و عملکرد کمک می‌کند، بلکه چگالی پایین و استحکام بالای آن نیز منجر به فرآیند تولید مقرون به صرفه‌تر می‌شود زیرا مواد کمتری برای برآورده کردن کاربردهای خاص مورد نیاز است.

۸. پروسه‌های شیمیایی

تیتانیوم اغلب در صنعت فرآیندهای شیمیایی به دلیل مقاومت در برابر خوردگی و بی‌اثری شیمیایی استفاده می‌شود. در حالی که واکنش‌پذیری Titanium در دماهای بالاتر (بیشتر از ۳۷۱ درجه سانتیگراد) به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد،

Titanium به طور کلی در دماهای پایین تر غیر واکنشی و پایدار است. Titanium اغلب در لوله‌ها، فلنج‌ها، لوله‌ها، مخازن، پمپ‌ها و مبدل‌های حرارتی استفاده می‌شود.

محدودیت‌های تیتانیوم چیست؟

برخی از محدودیت‌های Titanium در زیر فهرست شده‌اند.

واکنش‌پذیر در دماهای بالا: تیتانیوم به طور کلی غیر واکنشی و بی‌اثر به دلیل لایه اکسید محافظ آن است. با این حال، Titanium در دماهای بالا (>۳۷۱ درجه سانتیگراد) واکنش‌پذیر است. این ساخت Titanium خالص و آلیاژی را دشوار و بسیار کنترل شده می‌کند. تولید Titanium باید در محیطی کاملاً کنترل شده و بدون اکسیژن انجام شود.

گران: تصفیه سنگ‌ها و کانی‌های خام برای به دست آوردن تیتانیوم خالص هزینه‌بر و پیچیده است. این به دلیل واکنش‌پذیری Titanium در دماهای بالا و گستردگی فرآیندهای موجود در فرآیند کرول برای جداسازی Titanium است.

دشواری در ماشین‌کاری: ماشین‌کاری Titanium می‌تواند به دلیل رسانایی حرارتی پایین آن دشوار باشد. حرارت تولید شده در حین ماشین‌کاری در ابزار تجمع می‌یابد تا در قطعه کار. این می‌تواند منجر به کاهش عمر ابزار و کیفیت ماشین‌کاری شود.

مقاومت پایین در برابر خزش: Titanium مقاومت پایینی در برابر خزش در دماهای بالای ۳۰۰ درجه سانتیگراد دارد. خزش تغییر شکل آهسته یک ماده است هنگامی که تحت بارهای دائمی قرار می‌گیرد و در محیط‌های دمای بالا بیشتر رخ می‌دهد.

<https://digimfg.ir/%D8%AA%DB%8C%D8%AA%D8%A7%D9%86%DB%8C%D9%88%D9%85>

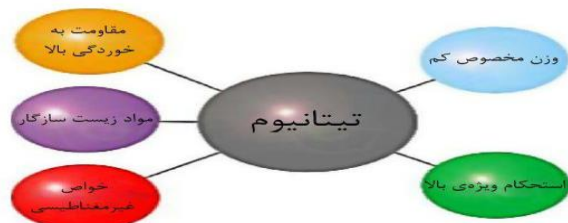
کاربرد های تیتانیوم در پزشکی و دندانپزشکی:

تیتانیوم در کاربردهای ارتوپدی برای اولین بار در دهه ۵۰ میلادی مورد استفاده قرار گرفت. ارتوپدی شاخه‌ای از جراحی است که مربوط به سیستم اسکلتی-عضلانی می‌شود. جراحان ارتوپدی از هر دو روش جراحی و غیر جراحی برای معالجه آسیب‌های اسکلتی-عضلانی، بیماری‌های ستون فقرات، آسیب‌های ورزشی و موارد دیگر استفاده می‌کنند. تیتانیوم همچنین در کاربردهای قلبی-عروقی مورد استفاده قرار می‌گیرد (مربوط به قلب و رگ‌های خونی در بدن). رگ‌های خونی مواد غذایی و اکسیژن را به بافت‌های بدن منتقل می‌کنند و دی‌اکسید کربن و سایر ضایعات را خارج می‌کند. رگ‌ها در معرض تعدادی بیماری از جمله تصلب شرایین (سخت شدن رگ‌ها)، بیماری عروق کرونر، ناراحتی دریچه قلب و موارد دیگر قرار دارند.

بدن انسان به راحتی تیتانیوم را می‌پذیرد؛ ثابت شده است که زیست سازگارتر از فولاد زنگ نزن یا کروم کبالت است. علاوه بر این، تیتانیوم دارای مقاومت خستگی بالاتری نسبت به بسیاری از فلزات دیگر است. همچنین با MRI (تصویربرداری با رزونانس مغناطیسی) و CT (فناوری محاسباتی) سازگار است که در تبدیل آن به عنوان یک ماده موردنظر در کاربردهای ارتوپدی نیز کمک می‌کند.

هرسال بیش از ۱۰۰۰ تن (۲.۲ میلیون پوند) تیتانیوم در بیماران سراسر جهان کاشته می‌شود و قرار است با طولانی‌تر شدن زندگی مردم، یا آسیب جدی در ترافیک جاده‌ای یا حوادث دیگر، افزایش یابد. تیتانیوم سبک، مستحکم و کاملاً زیست سازگار است؛ که آن را یکی از معدود مواد در حال حاضر شناخته‌شده‌ای می‌سازد که به‌طور طبیعی با الزامات کاشت در بدن انسان مطابقت دارد. از آنجاکه تیتانیوم در برابر خوردگی مقاومت می‌کند، زیست سازگار است و توانایی ذاتی در اتصال به استخوان انسان را دارد، به یکی از پایه‌های اصلی در زمینه‌های پزشکی تبدیل شده است. از تجهیزات جراحی تیتانیوم گرفته تا میله‌ها،

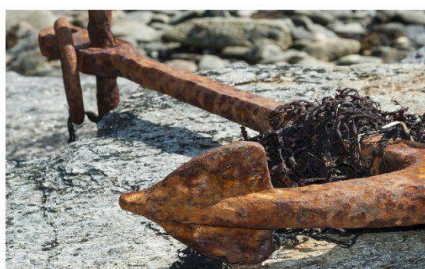
میخ‌ها و صفحات ارتوپدی تیتانیومی، تیتانیوم به ماده اساسی مورد استفاده در پزشکی تبدیل شده است. تیتانیوم در خارج از پزشکی نیز بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. تیتانیوم برای بسیاری از صنایع مختلف از جمله دنیای خودرو، هوافضا و معماری نیز بسیار مفید است.



شکل 1-1-1 ویژگی‌های تیتانیوم که آن را برای کاربردهای پزشکی و دندانپزشکی جذاب می‌کند.



شکل 2-1-1 داربست $Ti-6Al-4V$ برای کاربردهای ایمپلنت‌های پزشکی ساخته شده با استفاده از فناوری ساخت افزایشی با لیزر ذوب انتخابی.



شکل 1-1-4 تیتانیوم برخلاف آهن بسیار مقاوم در برابر خوردگی است [4].

<https://irantitanium.com/default.aspx?PageName=titaniumbook&ID=122>

ایمپلنت های تیتانیومی

ایمپلنت های دندان معمولی از تیتانیوم خالص یا آلیاژ تیتانیوم ساخته می شوند، که ترکیبات دو یا چند فلز هستند و همچنین با استخوان سازگارند و باعث رشد استخوان و اتصال به ایمپلنت می شوند. این فلزات مشابه مواد مورد استفاده در تعویض مفصل زانو و مفصل ران هستند.

ما بررسی خواهیم کرد که چرا تیتانیوم بر سایر مواد ترجیح داده می شود، خواص منحصر به فرد آن و اینکه چگونه به موفقیت ایمپلنت های دندان کمک کرده است. از زیست سازگاری گرفته تا ادغام استخوانی، هر جنبه از نقش تیتانیوم در ایمپلنت های دندان، لایه ای از پیچیدگی و نوآوری را نشان می دهد.

علاوه بر این، این نوشته از وبلاگ دکتر آرش گلستانه بهترین دکتر ایمپلنت در اصفهان، انواع تیتانیوم مورد استفاده در ایمپلنت های دندان را توضیح داده که هر کدام دارای خواص و کاربردهای خاص خود هستند. درک این تفاوت ها، هم برای متخصصان دندانپزشکی و هم برای بیماران بسیار مهم است؛ زیرا، به طور مستقیم بر موفقیت و طول عمر ایمپلنت ها تأثیر می گذارد.

<https://drgolestaneh.ir/titanium-implants>

تیتانیوم دی اکسید در خمیر دندان

خمیر دندان نقش بسیار مهمی در حفظ سلامت دندان و بهداشت دهان دارد. با توجه به متریال تشکیل دهنده خمیر دندان به سلامت دندان ها کمک می کند. با این حال، موادی مانند دی اکسید تیتانیوم در خمیر دندان بیشتر از اینکه مفید باشد، ممکن است برای دندان شما ضرر داشته باشد.

استفاده از دی اکسید تیتانیوم در خمیر دندان رایج بوده، اما از نظر سلامت و ایمنی برای مصرف کنندگان کمی نگران کننده است.

مطالعات نشان می دهد نانو ذرات تیتانیوم دی اکسید در هنگام قرار گرفتن بر روی پوست از عوارض کمتری برخوردار است. ولی خوردن آن باعث التهاب و آسیب به دستگاه تنفسی می شود.

بنابراین، آیا استفاده از خمیردندان حاوی ترکیب دی اکسید تیتانیوم سلامتی ما را تهدید می کند؟ در این مقاله با ما همراه باشید تا درباره ی کاربرد و روش استفاده از دی اکسید تیتانیوم در خمیردندان اطلاعات بیشتری کسب کنیم.

نقش تیتانیوم دی اکسید در دندان | مونوتاو

نقش دی اکسید تیتانیوم در خمیر دندان

دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) به نام E 171 در مقادیر بسیار کم در خمیردندان به عنوان یک عامل رنگ دهنده استفاده می شود تا ظاهری سفید و درخشان به دندان بدهد. دی اکسید تیتانیوم در خمیر دندان به دلیل توانایی در از بین بردن لکه ها و پلاک از روی دندان ها مورد استفاده قرار می گیرد.

خمیردندان حاوی تیتانیوم دی اکسید یک انتخاب محبوب در بین افرادی است که دندان های رنگ پریده، زرد رنگ و تیره تر دارند، اغلب خمیر دندان حاوی دی اکسید تیتانیوم را انتخاب می کنند.

درخشان بودن تیتانیوم دی اکسید به دلیل ضریب شکست بالای آن است تا بتواند نور را پراکنده و محصولی بسیار سفید ایجاد کند.

این ماده معدنی نقش بی خطری در محصولات مراقبت از دندان ایفا می کند. متخصصان دندانپزشکی، به افرادی که به دلیل عادات نامناسب و اشتباه خوردن و آشامیدن از لکه دندان، رنج می برند خمیر دندان حاوی دی اکسید تیتانیوم را توصیه می کنند.

TiO_2 به طور موثری، لکه هایی را که بر روی دندان در اثر شراب، قهوه، چای، نوشابه و سیگار ایجاد می شود، از سطح دندان های شما پاک می کند. دی اکسید تیتانیوم موجود در خمیردندان به شما کمک می کند تا لبخندی زیبا داشته باشید.

<https://monotav.com/services/educational/titanium-dioxide-in-toothpaste> قیمت تیتانیوم در ایران

در حال حاضر، قیمت تیتانیوم خالص در ایران به ازای هر کیلوگرم حدود ۱۲ میلیون تومان و قیمت آلیاژهای تیتانیوم به ازای هر کیلوگرم حدود ۱۵ میلیون تومان است.

<https://foolaz.ir/titanium-price>

نکات پایانی درباره فلز تیتانیوم

همان طور که در این مقاله هم اشاره شد، فلز تیتانیوم به دلیل ویژگی های خاصی که دارد، بسیار پرمصرف و پرمصرف است. برخی از این ویژگی ها که در این مقاله به آن ها اشاره کردیم مانند استحکام بالا و چگالی پایین، مقاومت در برابر خوردگی و رطوبت باعث شده اند که از این فلز به صورت گسترده در صنایع هوایی و ساخت زیردریایی استفاده شود.

همچنین خواص دیگری مانند مقاومت شیمیایی بالا باعث شده است از این فلز در صنایع شیمیایی هم استفاده شود. به غیر از این موارد، تولید ابزارهای پزشکی و ساخت جواهرات و... از دیگر صنایعی هستند که تیتانیوم در آنها استفاده می‌شود. بنابراین، همان‌طور که در این مقاله مشاهده کردید، تیتانیوم یک فلز خارق‌العاده با خواص بسیار خوب است که علی‌رغم قیمت بالا نسبت به بسیاری از انواع پروفیل سبک، طرفداران بسیاری در بین صاحبان صنایع دارد.

[/https://sabaprofile.com/what-is-titanium-and-why-is-it-important](https://sabaprofile.com/what-is-titanium-and-why-is-it-important)

(اتمام فصل اول)

(شروع فصل دوم)

روش استخراج و فرآوری تیتانیوم چیست؟

فلز تیتانیوم همانند سایر عناصر، به طور خالص در طبیعت وجود ندارد و معمولاً با عناصر دیگری ترکیب شده است. سنگ معدنی تیتانیوم معمولاً با عنوان دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) شناخته می‌شود. این ماده که با نام «روتیل» یا Rutile نیز شناخته می‌شود، از نظر فراوانی، جز موارد کمیاب است. بنابراین قیمت بالاتری نسبت به سایر سنگ‌های معدنی تیتانیومی دارد. اما انواع دیگر سنگ معدنی تیتانیوم چیست؟ آیا سنگ‌های ارزان‌تری وجود دارد؟

«ایلمنیت» نام یکی دیگر از سنگ‌های معدنی تیتانیوم دار است که با فرمول شیمیایی (FeTiO_3) شناخته می‌شود. این سنگ از نظر خلوص، نسبت به روتیل ارزش کمتری دارد و همان‌طور که از فرمول شیمیایی آن مشخص است، مقداری از فلز آهن در این سنگ وجود دارد. به همین دلیل، فرآوری آن پیچیده‌تر است و به زمان بیشتری نیاز دارد. البته فراوانی ایلمنیت از روتیل بیشتر است؛ بنابراین از ارزش کمتری برخوردار است.

اما برای فرآوری سنگ‌های معدنی تیتانیوم دار، روش‌های مختلفی همچون هانتز، کرال، آرمسترانگ و کمبریج وجود دارد که دو مورد اول، شناخته شده‌تر هستند.

<https://esfahanahan.com/mag/what-is-titanium>

مراحل استخراج تیتانیوم از معدن تا فلز

فرایند کلی استخراج تیتانیوم را می‌توان به سه مرحله اصلی تقسیم کرد:

۱. فرآوری اولیه (جداسازی کانی‌ها)

۲. تبدیل به دی‌اکسید تیتانیوم یا کلرید تیتانیوم

۳. احیای شیمیایی و تولید فلز خالص

در ادامه به توضیح هر مرحله می‌پردازیم:

۱. فرآوری اولیه: غنی‌سازی کانسنگ

در این مرحله، ابتدا سنگ معدن تیتانیوم (ایلمنیت یا روتیل) از معادن سطحی استخراج می‌شود. سپس با استفاده از فرایندهای فیزیکی مانند جداسازی ثقلی، جداسازی مغناطیسی و شناورسازی، ناخالصی‌ها حذف و کانساتره تیتانیوم به‌دست می‌آید.

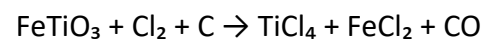
در مورد ایلمنیت، به دلیل وجود آهن، جداسازی پیچیده‌تر است.

روتیل خالص‌تر بوده و استخراج آن ساده‌تر و پرکاربردتر در صنعت است.



۲. تبدیل به کلرید تیتانیوم (TiCl_4)

در این مرحله، کنسانترهٔ حاصل با استفاده از فرآیند کلرینه کردن به چهارکلرید تیتانیوم (TiCl_4) تبدیل می‌شود. این واکنش معمولاً در حضور کلر گازی (Cl_2) و کربن (زغال‌سنگ یا کک) در دمای حدود ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود:



چهارکلرید تیتانیوم یک مایع فرّار و بی‌رنگ است که به راحتی تقطیر شده و ناخالصی‌ها از آن جدا می‌شود. این ماده، پیش‌ساز اصلی برای تولید فلز تیتانیوم و همچنین رنگ‌دانهٔ سفید در صنعت رنگ‌سازی است.

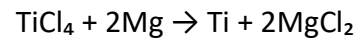
۳. فرآیند کرول (Kroll Process): تبدیل TiCl_4 به فلز خالص

تا به امروز، فرآیند کرول رایج‌ترین روش صنعتی برای تولید فلز تیتانیوم است. این روش در دههٔ ۱۹۴۰ توسط ویلهلم کرول توسعه یافت و همچنان استاندارد اصلی صنعت به‌شمار می‌رود.

مراحل فرآیند کرول:

احیای TiCl_4 با منیزیم فلزی (Mg)

در این واکنش، TiCl_4 با منیزیم در دمای حدود ۸۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد واکنش می‌دهد:



جمع‌آوری تیتانیوم اسفنجی (Titanium Sponge)

محصول نهایی به صورت تیتانیوم اسفنجی است؛ فلزی متخلخل که برای خالص‌سازی بیشتر به ذوب مجدد نیاز دارد.

جدا کردن منیزیم کلرید و ناخالصی‌ها

با استفاده از خلأ یا فرایندهای تقطیری، MgCl_2 باقی‌مانده جدا می‌شود.

ذوب تیتانیوم و شکل‌دهی نهایی

اسفنج حاصل، پس از ذوب در کوره‌های مخصوص (اغلب ذوب قوسی تحت خلأ) به شمش یا شکل‌های اولیه صنعتی تبدیل می‌شود.

روش‌های جایگزین در حال توسعه

فرایند کرول علی‌رغم دقت بالا، هزینه‌بر و زمان‌بر است. به همین دلیل، پژوهشگران به دنبال روش‌های ساده‌تر و ارزان‌تر برای تولید تیتانیوم هستند. برخی از این روش‌ها عبارت‌اند از:

فرآیند فِس (FFC Cambridge): احیای مستقیم TiO_2 در الکترولیت مذاب با استفاده از جریان الکتریکی.

احیای پلاسمایی: استفاده از پلاسما برای حذف اکسیژن از دی‌اکسید تیتانیوم.

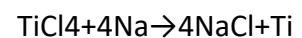
فرایند تولید پودر تیتانیوم: برای چاپ سه‌بعدی فلزات و صنایع پیشرفته.

این روش‌ها هنوز به مرحله صنعتی گسترده نرسیده‌اند اما نویدبخش آینده‌ای با هزینه کمتر و کارایی بالاتر هستند

<https://titaniumnazari.com/how-is-titanium-extracted>

فرایند هانتز

«فرایند هانتز» (Hunter Process) در سال ۱۹۱۰ توسط شیمیدان نیوزلندی و در آمریکا معرفی شد. این فرایند که به شکل «فرایندهای ناپیوسته» (Batch Processes) انجام می‌شد شامل کاهش «تیتانیوم تترا کلرید» (TiCl_4) به کمک سدیم بود. این واکنش در داخل «راکتور ناپیوسته» (Batch Reactor) و محیط خنثی تحت دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد صورت می‌گرفت که بعد از آن از هیدروکلریک اسید برای شستشوی نمک از محصول نهایی مورد استفاده قرار می‌گرفت. واکنش کلی آن به صورت زیر است:



قبل از فرایند هانتز، تمامی تلاش‌ها منجر به تولید تیتانیوم با درصد خلوص بسیار پایین شده بود. این روش بعدها با روش دیگری تحت عنوان فرایند کرال جایگزین شد.

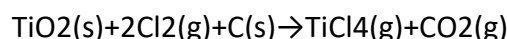
فرایند kroll

بیشترین میزان تولید تیتانوم حاصل از این فرایند است. فرایند kroll برای فلزات دیگری مانند Zr هم مورد استفاده قرار می گیرد. این فرایند شامل چهار مرحله زیر می باشد:

۱. کلریناسیون سنگ معدن به تیتانیوم (IV) کلرید

دی اکسید تیتانیوم به لحاظ حرارتی بسیار پایدار و در برابر واکنش های شیمیایی بسیار مقاوم است. دی اکسید تیتانیوم را نمی توان با استفاده از کربن، مونو اکسید کربن یا هیدروژن کاهش داد. همچنین کاهش آن بوسیله عناصر با الکتروپوزیتیوی بیشتر (الکترونگاتیوی کمتر) نیز به طور کامل صورت نمی گیرد. اگر بتوان آن را به صورت تیتانیوم (IV) کلرید تبدیل کرد در نهایت می توان به تیتانیم دست پیدا کرد چراکه کلرید به راحتی کاهش می یابد.

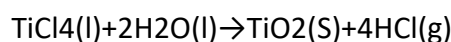
سنگ معدن خشک را به همراه کک در داخل یک کلرزن (کلیناتور) قرار می دهند [۲]. همزمان با گرم کردن این مواد، کربن می سوزد و گرمای واکنش سبب می شود تا این فرایند در دمای ۱۰۲۷ درجه سانتیگراد ادامه پیدا کند:



۲. خالص سازی تیتانیوم (IV) کلرید

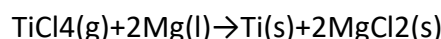
تیتانیوم (IV) کلرید خام با استفاده از فرایند تقطیر، خالص سازی می شود. البته قبل از آن باید با «هیدروژن سولفید» H_2S یا روغن های معدنی آن را آماده کرد. این آماده سازی به این دلیل صورت می گیرد تا «وانادیم اکسی کلراید» (VOCl_3) که نقطه جوشی برابر با تیتانیوم (IV) کلرید دارد از آن حذف شود. محصول نهایی شامل تیتانیوم (IV) کلرید با خلوص ۹۹/۹ درصد است که از آن می توان در تولید تیتانیوم یا رنگ های مات استفاده کرد.

تانکرهایی که برای نگهداری این مواد استفاده می شود باید خشک و عاری از هرگونه رطوبت باشند چراکه این مواد در حضور آب و تحت یک هیدرولیز سریع رسوبات سفید هیدروژن کلرید از خود بجای می گذارند:



۳. کاهش تیتانیوم (IV) کلرید به اسفنج تیتانیوم

تیتانیوم (IV) کلرید مایعی فرار است. این مایع را گرم می کنند تا بخار آن را از یک رآکتور از جنس فولاد ضدزنگ عبور دهند. این رآکتور شامل منیزیمی است که تا ۵۲۶ درجه سانتی گراد و در محیط آرگون گرم شده است. در واکنش های پیرومتالوژی که استخراج فلزات در دمای بالا صورت می گیرد، یک عامل احیا کننده وجود دارد، در اینجا منیزیم به عنوان عامل احیا کننده حضور دارد. گذر تیتانیوم (IV) کلرید از رآکتور و واکنش آن گرمازا است و دما را تا ۸۲۶ درجه سانتی گراد بالا می برد. بر اثر این واکنش ها، کلریدهای تیتانیوم (II) و تیتانیوم (III) تولید می شوند. کلریدهای تولیدی در حین واکنش، سرعت پایین دارند و به جهت سرعت بخشیدن به واکنش، دما را تا بیش از ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد بالا می برند. با این وجود باز هم انجام این واکنش زمان بر خواهد بود:



پس از گذشت ۳۶-۵۰ ساعت، رآکتور را از کوره خارج می کنند و به مدت ۴ روز زمان می دهند تا سرد شود. منیزیمی که در واکنش شرکت نکرده است را به همراه مخلوط کلرید و تیتانیوم خرد می کنند و به منظور حذف منیزیم کلرید، آنها را با

هیدروکلریک اسید رقیق شستشو می‌دهند. در روشی دیگر که معمولاً در ژاپن انجام می‌شود، حذف منیزیم واکنش نداده از تیتانیوم به کمک تقطیر خلا و با دمای بالا انجام می‌شود.

با الکترولیز منیزیم کلرید، از منیزیم تولیدی دوباره در فرایند کاهش استفاده می‌کنند و کلر تولیدی را نیز در بخش کلر زنی بکار می‌گیرند. خالص‌سازی تیتانیوم به کمک تقطیر در دمای بالا انجام می‌شود. فلز تولید شده به شکل دانه‌های ریزی است که به آن اسفنج تیتانیوم می‌گویند. این گرده‌های تیتانیومی را می‌توان جداگانه به فروش رساند یا با فرآوری آن‌ها به محصولات مختلف تیتانیومی دست یافت. در برخی موارد از آن به عنوان رنگ دانه رنگ سفید استفاده می‌شود.

۴. فرآوری اسفنج تیتانیوم

اسفنج تیتانیوم به سادگی در دمای بالا با نیتروژن و اکسیژن واکنش می‌دهد. در نتیجه برای فرآوری آن باید از محیط‌های خلأ یا محیطی خنثی مانند آرگون کمک گرفت. در این مرحله، ممکن است مواد بازیافتی این فلز یا فلزات دیگر را بمنظور تولید آلیاژهای تیتانیوم به فرایند اضافه کنند. یک روش معمول برای این کار، فشردن مواد در بلوک‌های بزرگ است که در نهایت به الکتروود در «کوره‌های قوس الکتریکی» (Electric Arc Melting Crucible) تبدیل می‌شوند. قوس الکتریکی میان بوته و الکتروود رخ می‌دهد که در نهایت موجب ذوب شدن الکتروود در داخل بوته خواهد بود. این مواد مذاب، بعد از سرد شدن به شمش‌هایی تبدیل می‌شوند که می‌توان آن‌ها را برای ایجاد کیفیت بهتر، دوباره ذوب کرد.



Titanium metal

فرایند آرمسترانگ

برای تولید تیتانیوم و آلیاژهای آن، می‌توان به جای استفاده از منیزیم، از سدیم استفاده کرد. با وجود اینکه این روش از نظر شیمی، روش جدیدی نیست اما به تازگی روشی پیوسته به همین منظور توسعه پیدا کرده است که باعث کاهش هزینه‌ها نیز خواهد شد.

تیتانیوم (IV) کلرید به یک جریان مذاب از سدیم وارد می‌شود و کلرید طی یک فرایند ردوکس به فلز کاهش پیدا می‌کند. از آنجایی که تیتانیوم و سدیم کلرید هر دو جامد هستند، خارج کردن آن‌ها از سدیم مذاب به کمک فیلتراسیون صورت می‌گیرد.

پس از این مرحله، جداسازی فلز تیتانیوم از نمک، به سادگی با شستشو توسط آب امکان پذیر خواهد بود. سدیم کلرید تولید شده بعد از خشک شدن، ذوب و به کمک الکترولیز به سدیم و کلر تبدیل می شود. از سدیم و کلر تولیدی به طور مجدد در «فرایند آرمسترانگ» بهره می گیرند.[۳]

فرایند کمبریج

تحقیقات در دانشگاه کمبریج انگلستان موجب توسعه روشی بر پایه الکترولیت شد که دی اکسید تیتانیوم را به طور مستقیم به تیتانیوم تبدیل کند.

دی اکسید تیتانیوم (روتیل) را پودر و به گلوله هایی تبدیل می کنند که نقش کاتدی دارند. این گلوله ها را داخل حمام مذابی از کلسیم کلرید قرار می دهند. این سلول به کمک یک آند کربنی کامل می شود. با اعمال ولتاژ، اکسید تیتانیوم به تیتانیوم کاهش می یابد و یون های اکسید شده به طرف آند کربنی حرکت می کنند. این عمل موجب تشکیل مونو اکسید و دی اکسید کربن خواهد بود. با اعمال ولتاژ بالاتر، مکانیسم متفاوتی رخ می دهد. کلسیم در کاتد رسوب می کند و با دی اکسید تیتانیوم وارد واکنش می شود. فراورده های این واکنش، تیتانیوم و یون های کلسیم هستند. این فرایند به سبب دمای پایین تر واکنش، هزینه و خطرات زیست محیطی کمتری دارد. استفاده از این روش موجب کاهش هزینه ها و بکارگیری گسترده این فلز با ارزش خواهد بود.[۴]

https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D9%88%D9%84%DB%8C%D8%AF_%D8%AA%DB%8C%D8%AA%D8%A7%D9%86%DB%8C%D9%88%D9%85

روتیل و ایلمنیت چگونه تشکیل می شوند؟

روتیل به طور سنتی ورودی اصلی در تولید فلز تیتانیوم است. نام آن از واژه لاتین *rutilus* به معنای قرمز آمده است. رنگ قرمز آن ناشی از ناخالصی های آهنی در شبکه آن است. روتیل تحت فشار و درجه حرارت بالا به عنوان کانی فرعی در سنگ های دگرگونی مثل اکلوژیت ایجاد می شود. استخراج روتیل از سنگ های اولیه مقرون به صرفه نیست؛ بنابراین از ذخایر هوازده پلاسر ساحلی به دست آورده می شود.

سیرالئون بزرگترین صادرکننده روتیل در جهان با بزرگترین ذخایر طبیعی روتیل است که مناطقی شامل جی بانگباما، روتیفانک و کامبیا را در بر می گیرد. سنگ معدن تیتانیوم دومین صادرات بزرگ سیرالئون پس از الماس است و سهم مهمی در بهبود شرایط این کشور در پی جنگ داخلی داشته است.

در مقایسه ی فراوانی اکسیدهای تیتانیوم، ایلمنیت بسیار بیشتر از روتیل است. در محفظه های ماگما در سنگ های نفوذی مانند نوریت، آنوتوزیت و گابرو تشکیل می شود. ایلمنیت که در دمای بسیار کمتری نسبت به سایر مواد معدنی متبلور می شود با خنک شدن به قسمت زیرین محفظه فرو می رود. این روند که “تفکیک ماگمایی” نامیده می شود صدها سال طول می کشد و باعث تشکیل لایه های مشخصی از مواد معدنی می شود. برخلاف روتیل که یک کانی جانبی است، لایه های ایلمنیت کانسارهای اولیه محسوب می شوند.

ایلمنیت را می توان هم از کانسارهای نفوذی لایه ای و هم از کانسارهای سنگین معدنی استخراج کرد. این ماده اغلب در کنار روتیل در ذخایر سنگین مواد معدنی یافت می شود. از ایلمنیت برای ساختن رنگدانه دی اکسید تیتانیوم استفاده می شود یا

می‌توان آن را به مواد اولیه‌ای تبدیل کرد که می‌تواند در تولید تیتانیوم استفاده شود. آفریقای جنوبی و استرالیا از بزرگترین تولیدکنندگان ایلمنیت در جهان هستند که هر کدام بیش از یک میلیون تن ایلمنیت در سال استخراج می‌کنند.

استخراج ذخایر پلاسر تیتانیوم

استخراج به روش پلاسری شامل حفاری از سطح، یا استخراج زیرزمینی با شافت و تونل است. حفاری را می‌توان با دست یا با تجهیزات تقویت‌شده انجام داد.

روش معدن‌کاری پلاسری، برای استخراج کانی‌های با ارزش از میان رسوبات کانال‌های رودخانه‌های امروزی، ماسه‌های ساحلی و یا نهشته‌های جریان‌های قدیمی استفاده می‌شود. استخراج از پلاسر اغلب برای ذخایر فلزات گران‌بها و سنگ‌های قیمتی استفاده می‌شود، که هر دو اغلب در ذخایر آبرفتی یافت می‌شوند و با کمک جریان، از یک منبع اصلی جابه‌جا شده‌اند، معمولاً فقط یک قسمت کوچک از کل رسوبات هستند. با توجه به اینکه این فلزات و سنگ‌ها به طور قابل توجهی از شن و ماسه چگال‌تر هستند، تمایل دارند در پایه رسوبات پلاسر جمع شوند. در عملیات پلاسری ماده‌ی استخراج شده، شسته و آبگیری می‌شود تا کانی‌های سنگین‌تر متمرکز و تغلیظ شوند. روش معدن‌کاری پلاسری، یکی از روش‌های سنتی برای به‌دست‌آوردن طلا و الماس بوده‌است.

استخراج این ذخایر یا به صورت عملیات لایروبی مرطوب یا استخراج خشک انجام می‌شود. ارتفاع سطح ایستابی که رسوب مربوطه در آن پیدا شده است، تعیین‌کننده روش مورد نیاز است.

در لایروبی مرطوب، یک حوض مصنوعی در زیر سطح ایستابی حفاری می‌شود. استخراج خشک با ماشین‌آلاتی از جمله بیل مکانیکی، اسکرابر، لودر و بولدوزر انجام می‌شود. رسوبات حاصل از هر دو روش باید متراکم شوند.

<https://kanino.ir/%D9%86%D8%AD%D9%88%D9%87-%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D8%AE%D8%B1%D8%A7%D8%AC-%D8%AA%DB%8C%D8%AA%D8%A7%D9%86%DB%8C%D9%88%D9%85%D8%8C-%D8%B1%D8%AA%DB%8C%D9%84-%D9%88-%D8%A7%DB%8C%D9%84%D9%85%D9%86%DB%8C%D8%AA>

اسفنج تیتانیوم

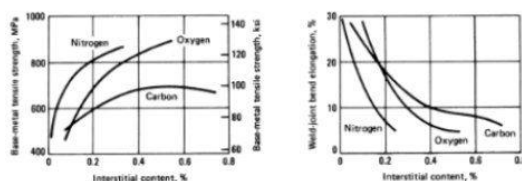
تیتانیوم از سنگ-معدن-هایی نظیر روتیل استخراج می‌شود که در آنها، تیتانیوم به شکل یک اکسید است. دی-اکسید تیتانیوم با کک و کلر برای تولید تتراکلرید تیتانیوم واکنش می‌دهد. واکنش بعدی با منیزیم، کلرید منیزیم بعلاوه یک توده تیتانیوم اسفنجی تولید می‌کند و این واکنش معمولاً در یک ریتورت آهن رخ می‌دهد. فراوری برای هر شرکت تیتانیوم انحصاری است اما اسفنج از ریتورت آهن ماشین‌کاری شده و سپس برای حذف ناخالصی‌ها شسته می‌شود. خالص‌سازی جرم اسفنجی برای سال‌ها با اسیدشویی انجام می‌شد اما اکنون تقطیر در خلا (با جاروسازی گاز خنثی) بطور گسترده‌ای برای تولید یک تیتانیوم خالص با حذف کامل‌تر محصول جانبی کلرید منیزیم بکار می‌رود. تقطیر در خلا منجر به سطوح منیزیم، هیدروژن و کلر پسماند کمتری نسبت به اسیدشویی می‌شود اما تقطیر در خلا باعث افزایش هزینه می‌شود. شکل ۲-۴ اسفنج تیتانیوم را نشان می‌دهد.



شکل 4-2 اسفنج تیتانیوم

تیتانیوم برداشت شده و خالص - شده بعنوان اسفنج تیتانیوم فروخته می - شود. خلوص اسفنج با منبع سنگ - معدن و فرایندهای استخراج تیتانیوم تغییر می - کند. در واقع، برای چند سال، تصور می - شد چند منبع جهانی اسفنج، اسفنج خالص -تری نسبت به سایرین تولید می - کنند. خلوص می - تواند هم -چنین تحت تاثیر محل اسفنج نسبت به ریتورت آهن قرار بگیرد. ناخالصی -های عمده در اسفنج عبارتند از نیتروژن، اکسیژن، سیلیسیم، کربن و آهن. هرچند تفاوت -هایی ممکن است بین اسفنج حاصل از تولیدکنندگان مختلف وجود داشته باشد اما روش -های ذوب مدرن بطور موثر، مواد فرار را از اسفنج حذف می - کنند و خلوص اسفنج را کنترل می - کنند بطوری -که تا زمانی -که اسفنج با توجه به ذرات آخال، از کیفیت بالایی برخوردار باشد بدون توجه به روشی که برای تولید اسفنج بکار می - رود می - توان شمش با کیفیت بالا را تولید کرد.

مسائل مربوط به شمش - های تیتانیوم و محصولات بعدی می -تواند ناشی از فرایند تولید اسفنج باشد. در نتیجه، اسفنج تیتانیوم باید مشخصات سخت -گیرانه نه تنها مربوط به ترکیب شیمیایی بلکه مربوط به آخال -ها و آلودگی سطحی اسفنج را برآورده سازد. مهم -ترین نکته آن است که اسفنج نباید دارای ذرات سخت، ترد و دیرگداز اکسید تیتانیوم، نیتريد تیتانیوم یا ذرات اکسید -نیتريد تیتانیوم باشد. اگر این ذرات در طی عملیات -های ذوب بمانند می - توانند بعنوان مکان -های آغاز ترک در محصول نهایی عمل کنند. هرچند کربن، نیتروژن، اکسیژن، سیلیسیم و آهن معمولاً بعنوان عناصر باقیمانده مجاز در اسفنج محسوب می - شوند اما این عناصر باید در سطوح قابل قبول کمی نگه داشته شوند زیرا بر خواص محصول پرداخت - شده تاثیر می - گذارند. برای نمونه، کربن، نیتروژن و اکسیژن استحکام را افزایش و داکتیلیته را کم می - کنند (شکل ۴-۳ و فصل ۱۲ رابینید).



شکل 3-4 تاثیرات مقدار عنصر بین نشین بر استحکام و داکتیلیته تیتانیوم غیرآلیاژی.

به منظور برآورده کردن الزامات معمول برای خلوص شیمیایی و فیزیکی اسفنج، پس از شستشو یا تقطیر در خلا، اسفنج له شده و از یک تسمه نقاله عبور داده می- شود تا از طریق بازرسی چشمی، ذرات تغییر رنگ داده یا دیگر ذرات غیرمنطبق برداشته شوند. هنگامی که اسفنج با خلوص بالا لازم است، عملیات تازه ذکر شده غالباً باعث استفاده از اسفنج از مرکز ریتورت و نه از دیواره می- شود. آشکارا عملیات- هایی نظیر این، منجر به قیمت بالاتر برای موادی با کیفیت بالاتر می- شود.

عملیات ذوب سنتی

اغلب شمش-های تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم با استفاده از روش VAR دوباره ذوب می- شوند. این فرایند به عنوان بازذوب قوسی در خلا با الکتروود مصرفی دوتایی شناخته می- شود. ذوب دوتایی برای همه کاربردها برای اطمینان از میزان قابل-قبول همگنی در محصول نهایی ضروری محسوب می- شود. برای برخی کاربردهای حساس معین، یک مرحله ذوب سومی در برخی زمان-ها تعیین گردید. این موضوع بویژه پس از میانه دهه ۱۹۶۰ که نقایصی در گریدهای حاصل از ذوب دوتایی یافت شد انجام گردید. ذوب مرتبه سوم باعث دستیابی به یکنواختی بهتر در ترکیب و ساختار گردید. ذوب سه- گانه نیز از میزان آخال-های غنی از اکسیژن و غنی از نیتروژن در میکروساختار به میزان زیادی با ایجاد عملیات بیشتر ذوب برای حل آنها می- کاهد.

در فرایند دومرحله ای، اسفنج تیتانیوم، تیتانیوم برگشتی و افزودنی- های آلیاژی در ابتدا بطور مکانیکی شکل- دهی می- شوند (که پیشتر توضیح داده شد) و سپس با هم برای تشکیل شمش ذوب می- شوند. شمش-های حاصل از ذوب اولیه بعنوان الکتروود مصرفی برای ذوب مرحله دوم استفاده می- شوند. برای کاربردهای غیرحساس، فرایندهایی بجز ذوب قوسی الکتروود مصرفی باید در برخی موارد برای ذوب مرحله اول شمش اجازه داده شوند. معمولاً، کل ذوب تحت خلا انجام می- شود اما در هر رخداد، مرحله نهایی ذوب مربوط به کاربردهای غیرحساس را باید توسط فرایند قوس خلا با الکتروود مصرفی انجام داد.

درحالی-که در گذشته، VAR برای همه مراحل ذوب ماده مربوط به کاربردهای حساس لازم بوده است فناوری ذوب بهتر با روش-های شامل دهانه سرد برای برخی کاربردها مجاز می- باشند.

اصلاح میکروساختار و ماکروساختار

ماهیت فرایند VAR درباره آلیاژهای تیتانیوم، بهبود همگنی شمش را با اصلاح عملیات ذوب دشوار می -سازد. در نتیجه، هرچند جدایش و دیگر تغییرات ترکیبی بطور مستقیم بر خواص نهایی محصولات اثر می -گذارند، روش ذوب به تنهایی عامل همه تغییرات جدایشی و ترکیبی نیست و در نتیجه، با خواص نهایی ارتباطی نیافته است. ذوب در خلا از مقدار هیدروژن تیتانیوم کاسته و اساساً دیگر مواد فرار را حذف می -کند. اما عوامل غیرعادی در عملیات نظیر نشت هوا، نشت آب، نقص در قوس یا حتی تغییرات زیاد در سطح توان بر بی -نقصی و همگنی محصول نهایی تاثیر می -گذارند.

اندازه شمش یک عامل در ریزسازی ساختار به حساب می -آید. معمولاً، شمش -ها قطری در محدوده 650 mm تا ۹۰۰ (in. 36-26) و وزنی در دامنه 3600 kg تا ۶۸۰۰ (lb 15000-8000) دارند. شمش -های بزرگ -تر از نظر اقتصادی دارای مزیت بوده و در حصول ماکروساختارها و میکروساختارهای ریزشده در مقاطع بسیار بزرگ نظیر بیل -هایی به قطر mm 400 (in. 16) یا بیشتر مهم هستند. شمش -هایی تا قطر mm 1000 (in. 40) و با وزن بیش از 9000 kg (lb 20000) با موفقیت ذوب شده -اند اما بدلیل تمایل فزاینده به جدایش با افزایش اندازه شمش، به نظر می -رسد محدودیت -هایی درباره بهبود قابل حصول در تولید شمش -های بزرگ وجود داشته باشد. استفاده از فناوری -های جدیدتر ذوب ممکن است اندازه -های بزرگ -تر شمش را ممکن نماید.

تولید اولیه

نکات کلی. در هر یک از مراحل زیر، خواص مکانیکی و فیزیکی تیتانیوم به شکل پرداخت -شده می -تواند توسط یکی از چند عامل یا توسط ترکیبی از عوامل تحت تاثیر قرار بگیرند که در این میان، مهم -ترین موارد عبارتند از:

فرایند ذوب بکار رفته برای ساخت شمش

روش مربوط به کار مکانیکی انجام شده برای تبدیل شمش -ها به محصولات اولیه کارخانه

روش ساخت یا عملیات حرارتی به عنوان مرحله پایانی بکار رفته

از آنجا که خواص تیتانیوم به سادگی توسط فراوری تحت تاثیر قرار می -گیرند، احتیاط زیادی باید در کنترل شرایطی که در آن فراوری انجام می -شود صورت بگیرد. همزمان، این ویژگی تیتانیوم باعث می -شود که در صنعت تیتانیوم، انجام کاربردهای گوناگونی با تعداد کمی گرید یا آلیاژ ممکن باشد. با تغییر فراوری گرمایی یا مکانیکی یا هردو، دامنه وسیعی از خواص ویژه را در تیتانیوم خالص تجاری و آلیاژهای تیتانیوم می -توان ایجاد کرد.

تبدیل شمش به محصولات میل یعنی بیل، میله، ورق نازک، ورق ضخیم، نوار، محصولات اکستروژن، لوله و سیم آن چیزی است که ما از آن بعنوان تولید اولیه یاد می -کنیم. فورج، ریخته -گری، متاورژی پودر و روش -های اتصال -دهی بکار رفته برای تولید یک محصول پرداخت -شده، تولید ثانویه هستند. محصولات میل را می -توان به سادگی در تولید ثانویه قطعات و سازه -ها بکار برد (شکل ۴-۱).

تولید اولیه در ایجاد خواص نهایی بسیار مهم است زیرا بسیاری از عملیات -های تولید ثانویه دارای تاثیر کم یا بدون تاثیر بر مشخصات متالورژیکی هستند. برخی فرایندهای تولید ثانویه نظیر فورج -کاری، نورد حلقه -ای و فورج -کاری سوپرپلاستیک باعث اعمال کاهش کافی برای ایفای یک نقش عمده در ایجاد خواص ماده می -شوند.

کاهش برای تبدیل به بیل. بطور کلی، نخستین تفکیک شمش، یک عملیات نورد پرسی است که در محدوده دمایی بتا انجام می -شود. اما کار کردن در محدوده آلفا زیر دمای تحول بتا برای تولید بیل -های با ساختارهای ریزشده ضروری است. فرایندهای مربوط به کاهش برای تبدیل به بیل در دماهایی بالا در ناحیه آلفا برای ایجاد کاهش بیشتر و اصلاح اندازه دانه

بهتر با کمینه مقدار شکست سطحی انجام می- شوند. در کاربردی که چقرمگی شکست بیشینه لازم باشد، فراوری بتا (یا فراوری آلفا- بتا و بدنبال آن عملیات حرارتی بتا) معمولاً ترجیح داده می- شود. جدول ۴-۲ محدوده دمایی استاندارد مربوط به فورج- کاری برای تولید بیلت را می- دهد.

در برخی بیلت-ها با هدف فورج، نورد یا اکستروژن بیشتر، این مواد دستخوش یک فرایند اصلاح اندازه دانه می- شوند. این روش از مشخصات تیتانیوم که باعث تبلور مجدد آن در هنگام گرما دیدن در بالای دمای تحول بتا می- شود استفاده می- کند. با استفاده از بیلت با دانه اصلاح اندازه -شده، تولیدکنندگان ثانویه ممکن است قادر به تولید قطعات فورج- کاری- شده- ای باشند که الزامات سخت-گیرانه مربوط به ماکروساختار، میکروساختار و خواص مکانیکی را بدون کار گرم گسترده در زیر دمای تحول بتا برآورده می- نمایند.

خواص کششی نهایی آلیاژهای آلفا-بتا بشدت توسط میزان فراوری در حوزه آلفا-بتا در زیر دمای تحول بتا و پس از تبلور مجدد تحت تاثیر قرار می- گیرند. چنین فراوری -ای استحکام گریدهای دارای آلفای زیاد در اندازه- های بزرگ مقطع را افزایش می- دهد. در روش-های فراوری مدرن، بیلت و مقاطع فورج -شده به -سهولت خواص کششی مشخص -شده پیش از فورج نهایی را برآورده می- کنند.

میله، ورق نازک، ورق ضخیم، نوار، سیم و لوله نورد شده و پرداخت ناشی از نورد گرم میله عملیات- هایی استاندارد برای بیشتر آلیاژهای تیتانیوم هستند. سیم نیز همانند لوله بدون درز تولید می- شود. در ابتدا، تجهیزات تولید اولیه همانند تجهیزات بکار رفته در صنعت فولاد بود اما در نهایت تجهیزات خاص نورد و تجهیزات اضافی در جایی که ضروری بود برای کنترل بیشتر عملیات تولید نصب شدند. فرایندهای بکار رفته توسط هر تولیدکننده انحصاری و از برخی جنبه- ها منحصر بفرد است. چون همه روش-ها باید باعث ایجاد ساختارهای مشخص و خواص مکانیکی یکسان شوند میزان بالایی از تشابه میان فرایندهای همه تولیدکنندگان موجود است.

محدوده دماهای بکار رفته برای نورد گرم تیتانیوم و آلیاژهای آن در جدول ۴-۴ ارائه شده است. نورد در این دماها باعث ایجاد محصولات نهایی با ساختار دلخواه دانه بندی می- شود.

نقش سطح در فراوری تیتانیوم. هرچند تیتانیوم تحت خلا ذوب می- شود، سطوح شدیداً اکسید شده می- توانند روی شمش- ها در حین ذوب تشکیل شوند. پوسته سطحی شمش قبل از باز ذوب باید توسط برسکاری و در حالت -های وخیم- تر، توسط ماشین- کاری کنده شود. لایه -های سنگین اکسیدی در نتیجه کار گرم می- توانند تشکیل شوند مگر این- که کار گرم در اتمسفرهای خنثی انجام شود. فلز کافی باید روی محصول موجود باشد تا هنگامی که این پوسته حذف می- شود، رسیدن به ابعاد مناسب ممکن باشد.

مهم-ترین جنبه تولید آلیاژ تیتانیوم (مانند محصولات میل و تولید ثانویه توسط فورج) نیاز به لحاظ کردن انباشت نیتروژن و اکسیژن بین -نشین در سطح است. حذف پوسته سطحی برای از بین بردن پوسته آلفایی که در حین تولید محصولات میل از آلیاژ تیتانیوم تشکیل می- شود همواره لازم است. پس از حذف ضروری پوسته، اگر محصول میل درون یک قطعه ساخته شده

باشد، عملیات مکانیکی یا شیمیایی برای حذف پوسته آلفا برای جلوگیری از ترک- خودرگی در حین عملیات- های بعدی یا در حین ارائه سرویس ضروری است

<https://www.iran-titanium.com/Default.aspx?PageName=Print&id=103>

معادن تیتانیوم در ایران

کانسارها و اندیس‌های معادن تیتانیوم در کشور در مرحله‌ی شناسایی و اکتشاف هستند و میزان قابل توجهی فرآوری و تولید تیتانیوم در داخل کشور انجام نمی‌شود و می‌توان گفت کلیه نیازهای کشور از طریق واردات تأمین می‌گردد.

در حال حاضر تنها معدن تیتانیوم در داخل کشور که مورد توجه قرار گرفته و برنامه‌ریزی‌های لازم برای بهره‌برداری از آن انجام شده، معدن تیتانیوم کهنوج با ذخیره تیتانیوم از نوع تیپ پلاسری در استان کرمان است.



بزرگ‌ترین معدن تیتانیوم خاورمیانه در کهنوج به بهره‌برداری رسید.

نوع معادن تیتانیوم در ایران

تیتانیوم موجود در ایران بیشتر از نوع مگنتیت می‌باشد و در محیط‌های پلاسری پیدا می‌شود. به دلیل نیاز به دانش فنی تا به حال اقدامی جدی برای تولید آن انجام نشده و فرآوری این فلز در مرحله‌ی پایلوت یا همان آزمایشگاهی باقی مانده است.

پراکندگی معادن تیتانیوم در ایران

در کل ذخایر تیتانیوم به صورت گسترده و پراکنده در کمربندهای افیولیتی و توده‌های گاو رو وجود دارند و به دلیل شرایط جغرافیایی و وجود کمربندهای افیولیتی در بخش‌های مختلف ایران، می‌توان گفت که ذخایر متعددی از تیتانیوم در کشور وجود دارد.

ذخایر مناسبی از تیتانیوم که در نقاط مختلف کشور وجود دارد شامل موارد زیر است:

معادن تیتانیوم کهنوج که مهم‌ترین معدن تیتانیوم کشور است

معادن تیتانیوم قره آغاج ارومیه در استان آذربایجان غربی

محور سنندج سیرجان، محور مکران و اطراف مشهد هم از مناطق مستعد تشکیل تیتانیوم هستند.



ذخایر مناسبی از تیتانو مگنتیت با عیار بین ۲ تا ۲.۵ درصد
در منطقه‌ی چمخاله در سواحل شمالی کشور وجود دارد

روش استخراج تیتانیوم در ایران

استخراج تیتانیوم از کنسانتره ایلمنیت سنگ معدن کهنوج به روش استخراج حلالی با استفاده‌های LIX860 و D2EHPA می‌باشد. کنسانتره ایلمنیت توسط سرباره سازی پرعیار شده و سرباره ایلمنیت به عنوان ماده خام اولیه مورد آزمایش‌های لیچینگ، استخراج حلالی، هیدرولیز و تکلیس قرار گرفته‌اند.

[/https://metafo.org/article/titanium-mine](https://metafo.org/article/titanium-mine)

جمع‌بندی

استخراج تیتانیوم، یکی از پیشرفته‌ترین فرآیندهای متالورژی مدرن است که با وجود فراوانی منابع، به دلیل پیچیدگی شیمیایی، نیازمند فناوری بالا و هزینه بالاست. از استخراج کانی تا تولید تیتانیوم اسفنجی، هر مرحله به دقت و مهندسی خاصی نیاز دارد. با توسعه روش‌های نوین و تلاش برای بهینه‌سازی مصرف انرژی، آینده‌ای درخشان برای تولید ارزان‌تر و پایدارتر تیتانیوم پیش‌بینی می‌شود.

[/https://titaniumnazari.com/how-is-titanium-extracted](https://titaniumnazari.com/how-is-titanium-extracted)