



# کتابچه راهنمای فولادهای زنگ نزن

خواص فیزیکی و شیمیایی  
کاربردهای صنعتی  
شناسایی و انتخاب آلیاژها  
اطلاعات فنی و جداول

[www.alloys-co.com](http://www.alloys-co.com)



هندبوک  
تیتانیوم و  
آلیاژهای  
تیتانیوم

**Titanium &  
Titanium Alloys  
Handbook**

واحد تحقیق و توسعه آلیاژهای صنعتی  
مجموعه هندبوکهای آلیاژها و فلزات

[www.alloys-co.com](http://www.alloys-co.com)  
[info@alloys-co.com](mailto:info@alloys-co.com)



## گردآورانندگان

کتابچه راهنمای تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم با همکاری تیم مدیریتی و مهندسی گروه آلیاژهای صنعتی و به استناد مراجع فنی و مهندسی مختلف و با گذشت بیش از ۲۰ سال کار حرفه ای در زمینه فلزات و آلیاژها گردآوری شده است. گردآورانندگان این هندبوک، این کتاب کاربردی را به متخصصان، صنعتگران، اساتید، دانشجویان و پژوهشگران تقدیم نموده و امیدواریم گامی کوچک در زمینه ارتقا دانش فنی صنایع برداشته باشیم.

شهریور ۱۴۰۳



علی شیرودی

- کارشناس ارشد مهندسی متالورژی و مواد
- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- مدیرعامل



امیر شیرودی

- کارشناس مهندسی مکانیک
- دانشگاه آزاد - تهران جنوب
- مدیر بازاریابی و فروش



نیلوفر شیروانی

- کارشناس ارشد مهندسی متالورژی و مواد
- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- مدیر تامین



فرهاد رستم نژاد

- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک
- دانشگاه صنعتی شریف
- مدیر مهندسی



ارسطو دوست

- کارشناس ارشد مهندسی متالورژی و مواد
- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- مدیر توسعه بازار



فاطمه اخباری

- کارشناس مهندسی متالورژی و مواد
- دانشگاه صنعتی شریف
- کارشناس تیتانیوم

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان	صفحه	عنوان
۶۳	آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-6V-2Sn	۴	معرفی گروه آلیاژهای صنعتی
۶۵	آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	۱۲	تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم
۶۸	آلیاژ تیتانیوم Ti-7Al-4Mo	۱۳	تیتانیوم خالص گرید ۱
۷۰	آلیاژ تیتانیوم Ti-4Al-4Mo-2Sn	۱۶	تیتانیوم خالص گرید ۲
۷۲	آلیاژ تیتانیوم گرید ۱۹	۱۹	تیتانیوم خالص گرید ۳
۷۴	آلیاژ تیتانیوم Ti-10V-2Fe-3Al	۲۱	تیتانیوم خالص گرید ۴
۷۶	مقایسه عمومی تیتانیوم و آلیاژهای آن	۲۴	تیتانیوم خالص گرید ۷
۸۰	جدول ترکیب شیمیایی تیتانیوم های خالص و آلیاژی	۲۷	تیتانیوم خالص گرید ۱۱
۸۱	جداول مقایسه خواص تیتانیوم و آلیاژهای آن	۲۹	تیتانیوم خالص گرید ۱۶
۸۲	جداول مقایسه خواص مکانیکی تیتانیوم و آلیاژهای آن	۳۱	تیتانیوم خالص گرید ۱۷
۸۳	مقایسه خواص مکانیکی تیتانیوم و آلیاژهای آن	۳۳	تیتانیوم خالص گرید ۲۶
۸۴	جداول مقایسه استانداردهای تیتانیوم و آلیاژهای آن	۳۵	تیتانیوم خالص گرید ۲۷
۸۵	محدوده عملیات آهنگری گرم (فورجینگ) برای تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم	۳۷	آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo
۸۶	عملیات آنیل کردن تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم	۴۰	آلیاژ تیتانیوم Ti-8Al-1Mo-1V
۸۷	عملیات تنش زدایی و انحلال تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم	۴۳	آلیاژ تیتانیوم گرید ۶
۸۸	دمای نورد کردن تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم	۴۶	آلیاژ تیتانیوم گرید ۹
۸۸	عملیات تنش زدایی تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم	۴۸	آلیاژ تیتانیوم گرید ۱۲
۸۹	مقایسه و انتخاب تیتانیوم و دیگر آلیاژها برای محیط های دارای خوردگی	۵۰	آلیاژ تیتانیوم ۸۳۴
۸۹	مقایسه و انتخاب تیتانیوم و دیگر آلیاژها دردمای بالا و شرایط متفاوت	۵۲	آلیاژ تیتانیوم گرید ۵
۹۰	فرآیند تولید تیتانیوم به روش کرول	۵۶	آلیاژ تیتانیوم گرید ۲۳
		۵۹	آلیاژ تیتانیوم گرید ۲۹
		۶۱	آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-7Nb

## گروه آلیاژهای صنعتی

شرکت گسترش آلیاژهای صنعتی هزاره سوم در سال ۱۳۸۴ توسط مهندسان متالورژی و فعالان صنعت فولاد و فلزات بنیاد گذاشته شد.

این شرکت از ابتدای فعالیت اقدام به انجام خدمات مشاوره ای فنی و مهندسی و تأمین فلزات و آلیاژها برای صنایع نفت، گاز، پتروشیمی، نیروگاهی، توربین سازی، هوایی، دریایی، فولادسازی، معدن، شیمیایی، پزشکی و بیمارستانی و دیگر صنایع نموده است.

پس از دو دهه فعالیت تخصصی در زمینه آلیاژها، اکنون شرکت آلیاژهای صنعتی تبدیل به گروهی تخصصی با چندین زیرمجموعه میباشد که همگی در حوزه زنجیره تامین آلیاژها فعالیت مینمایند.

زیرمجموعه های گروه آلیاژهای صنعتی عبارتند از:

استیل دکوراتیو	متالیوم	آلیاژهای صنعتی
صرافی اکسیوم	آلیاژهای پزشکی	انجمن تیتانیوم

### وجه تمایز ما با رقبا

تیم متخصص و حرفه ای در زمینه آلیاژها	۲۰ سال تأمین تخصصی آلیاژها و فلزات
مشاوره های تخصصی و مهندسی	مشاوره مهندسی و انتخاب متریال
تأمین از مطرح ترین تولیدکنندگان دنیا	تأمین داخلی و بازرگانی خارجی
تضمین کیفی تمام محصولات	امور حمل، واردات و ترخیص کالا

### اهداف و چشم انداز ما






افزایش موجودی انبار	گسترش تیم تخصصی	فعالیت بین المللی	تحقیق و توسعه مستمر
آلیاژهای صنعتی هم اکنون گزیده های اصلی استینلس استیل، سوپرآلیاژها و تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم رادر انبار خود دارد و تلاش میکند موجودی انبارها را منطبق با نیازمندی های مشتریان خود افزایش دهد.	در این شرکت تیمی از متخصصین و مهندسين متالورژی، مکانیک، صنایع و دیگر رشته های مرتبط مهندسی مشغول به فعالیت میباشد و تلاش ما بر گسترش تیم تخصصی است.	با تجربه بیش از دو دهه، شرکت آلیاژهای صنعتی اقدام به انجام چندین پروژه تأمین متریال در سطح بین المللی نیز نموده و سعی بر افزایش دامنه فعالیت خود دارد تا از مزایای بازارهای بزرگ جهانی بهره مند شود.	یکی از مهم ترین وجوه تمایز شرکت آلیاژهای صنعتی با دیگر رقبا، برگزاری سمینارهای تخصصی و ارائه محتوای مهندسی در ارتباط با آلیاژهاست و این امر به صورت مستمر در این مجموعه انجام میگردد.

شرکت آلیاژهای صنعتی هسته اصلی **گروه آلیاژهای صنعتی** است که تمرکز آن بر واردات و تامین آلیاژهاست. اهداف اصلی این مجموعه تامین آلیاژهای با کیفیت و دارای استاندارد از برترین تولید کنندگان آمریکایی، اروپایی و آسیایی برای صنایع تخصصی میباشد.

فعالیت‌های شرکت آلیاژهای صنعتی در مدیریت زنجیره تامین آلیاژها عبارتند از:

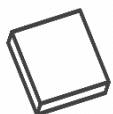
- مشاوره، انتخاب و شناسایی مواد اولیه فلزی و آلیاژی
- دریافت سفارش‌ها
- مدیریت موجودی انبارها
- انتخاب ساپلایر از بین: تولیدکنندگان، استاک هولدرها، توزیع کنندگان و واسطه های تخصصی کالا
- ارایه پروفورما و انجام امور بازرگانی داخلی و خارجی: ثبت سفارش، کالا، گشایش اعتبار اسنادی و...
- تامین منابع مالی و پرداخت های ارزی ...
- تدارکات حمل کالا به صورت هوایی، زمینی و دریایی
- امور گمرکی و ترخیص کالا
- گواهی کیفیت سازندگان اصلی کالا (سرتیفیکیت) و گواهی بازرس ثالث بین المللی

آلیاژهای صنعتی تامین کننده مواد اولیه آلیاژی شامل موارد ذیل می باشد:

- سوپرآلیاژها 
- تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم 
- استینلس استیل ها 
- فولادهای آلیاژی 
- فولادهای ابزار 

این آلیاژها به صورتهای زیر تامین میشوند:

- انواع شمش
- ورق و فویل
- میلگرد و مقاطع
- لوله های درزدار و بدون درز
- قطعات فورج و آهنگری
- سیم و مفتول



گروه متالیوم سامانه آنلاین مشاوره مهندسی و فروش فلزات و آلیاژها میباشد که توسط تیم بازاریابی و فروش شرکت آلیاژهای صنعتی هزاره سوم طراحی و راه اندازی شده است.

در متالیوم موجودی انبار بزرگی از فلزات و آلیاژها از بهترین برندهای جهان به مشتریان پیشنهاد میشود که به صورت فوری یا طی بازه چند هفته و چند ماهه تحویل میگردد.

عمده فعالیت‌های مجموعه متالیوم عبارتند از :

- مشاوره های مهندسی و تخصصی در ارتباط با انتخاب و شناسایی فلزات و آلیاژها برای صنایع مختلف
- ارائه خدمات فروش مستقیم و آنلاین فلزات و آلیاژها
- مدیریت و برنامه ریزی موجودی انبارها و سفارشات
- هماهنگی و برنامه ریزی با تأمین کنندگان داخلی برای موجودی انبارها
- برگزاری سمینارها و همایش های تخصصی مربوط به آلیاژها و فلزات
- همکاری با تولیدکنندگان، تأمین کنندگان و فروشندگان تخصصی داخلی

وب سایت متالیوم به گونه ای طراحی شده تا علاوه بر تامین و فروش آلیاژها و فلزات ، خدمات فنی و مهندسی و بازرگانی مورد نیاز صنایع را در قالبی آسان و بسیار کاربردی ارائه دهد .

خدماتی که این سایت در اختیار صنعتگران و مهندسين قرار میدهد عبارتند از :

- موجودی های انبار و لیست قیمت
- سفارش گذاری آنلاین آلیاژها و فلزات
- دریافت پیش فاکتور و فاکتور
- ارائه سرتیفیکیت و بازرسی های کالا
- بررسی فنی و مهندسی آلیاژها و فلزات
- کاربردهای صنعتی آلیاژها و فلزات
- مقالات و مطالب علمی و کاربردی آلیاژها و فلزات
- پرسش و پاسخ های فنی در مورد آلیاژها و فلزات

## بلاگ‌یوم



گروه آلیاژهای صنعتی، تخصصی ترین تامین کننده تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم میباشد. از سال ۱۳۹۰ این شرکت با ایجاد دپارتمان آلیاژهای پزشکی، اقدام به تامین تیتانیوم برای ایمپلنت های ارتوپدی و دندان نمود است و اخیرا نیز آلیاژهای کبالت کروم و استیل LVM ۳۱۶ به سبد محصولات این مجموعه اضافه شده است.

آلیاژهای مورد استفاده برای صنعت پزشکی دارای استانداردهای سختگیرانه بوده و تولید آنها باید منطبق با الزامات مهندسی خاص باشد و هر تولیدکننده تیتانیوم، استیل یا کبالت کرومی نمیتواند محصولات با استاندارد پزشکی را تولید نماید.

با توجه به حساسیت این متریالها، شرکت آلیاژهای صنعتی با توجه به سوابق خود با شرکتهای امریکایی و اروپایی مذاکره و اقدام به اخذ نمایندگی نموده است.

آلیاژهای صنعتی، تنها شرکت ایران دارای نمایندگی رسمی و انحصاری از شرکتهای غربی و آسیایی میباشد:

- Hermith هر میث – آلمان – تولید و توزیع کننده تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم
- LCMA ال سی ام ای – لوکز امبورگ – استاکیست و توزیع کننده تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم
- Timet تایمت – آمریکا و انگلیس – تولید کننده تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم
- Sino Titan سینو تیتان – چین – تولید و توزیع کننده تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم

همچنین این شرکت به دلیل درخواستهای مشتریان از دیگر تولید و تامین کنندگان اقدام به تامین آلیاژهای پزشکی مینماید:

- Carpenter شرکت کارپنتر – آمریکا – تولید کننده آلیاژهای تیتانیوم، سوپر آلیاژها و فولادهای خاص
- Tifast شرکت تایفست – ایتالیا – تولید و توزیع کننده تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم

تمامی کالاهای این شرکت دارای مدارک و سرتیفیکیت بوده و از موجودی انبار این شرکت با نظارت مشتریان تحویل میگردد یا بر مبنای سفارش، واردات آنها انجام میپذیرد.



#### Stainless Steel

- ASTM F138/F139 316LVM
- ASTM F1314 22Cr-13Ni-5Mn



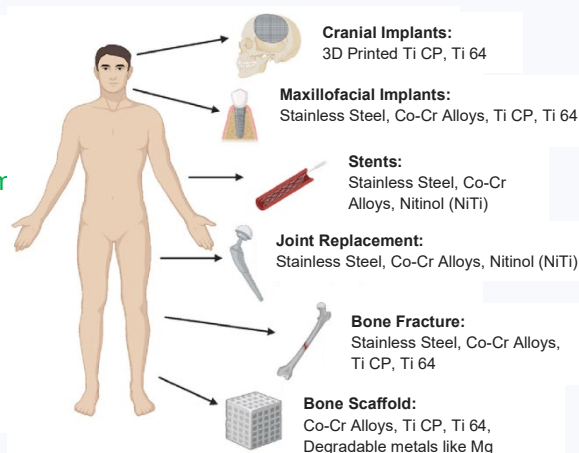
#### Titanium Alloy

- ASTM F67 Commercially Pure Titanium
- ASTM F136 Ti 6AL- 4V ELI
- ASTM F1295 Ti-6AL-7Nb
- ASTM F1472 Ti-6AL- 4V



#### Cobalt Chrome Alloy

- ASTM F90 Co-20Cr-15W-10Ni
- ASTM F562 Co-35Ni-20Cr-10Mo
- ASTM F1537 Co-28Cr-6Mo





انجمن تیتانیوم ایران یک تشکل علمی، پژوهشی و صنعتی است که به منظور دستیابی به اهداف تعیین شده توسط مؤسسين که در اساسنامه انجمن درج و به تائید کلیه اعضا نیز رسیده است در سال ۱۳۹۶ تاسیس شده است. این انجمن، نهادی حرفه ای و تخصصی است که در جهت ارتقاء سطح علمی و گسترش دامنه استفاده از تیتانیوم در حوزه های مختلف صنعت، اهداف تخصصی و ارزشمندی را برگزیده و در جهت دستیابی به این اهداف گام خواهد برداشت.

انجمن حضور تمامی متخصصین و صاحب نظران این رشته در جمع خود را از اهداف اصلی خود دانسته و این جمع را جایگاهی برای بیان دیدگاه‌های تخصصی و حرفه ای دانسته و از تمامی متخصصین و علاقه مندان برای عضویت در این انجمن دعوت بعمل می آورد.

#### اهداف انجمن تیتانیوم

- ارتقاء سطح علمی و آموزشی و تجربی افراد فعال در حوزه تیتانیوم و منابع مرتبط با آن
- اجرای برنامه های تحقیقاتی، پژوهشی و کاربردی
- همکاری و تعامل جهت فراهم آوردن فرصت‌های جدید اشتغال برای مهندسين
- ارائه خدمات تخصصی، نظارتی، مشاوره‌ای
- گسترش دامنه استفاده از فلز تیتانیوم در صنایع مختلف
- ارتباط شرکت ها و افراد فعال در این حوزه اقتصادی با یکدیگر
- ارائه خدمات فروش مستقیم و آنلاین فلزات و آلیاژها

این انجمن از بدو تاسیس تاکنون با:

- ارائه خدمات علمی و اجرایی مرتبط با فلز تیتانیوم و آلیاژهای آن
- برگزاری سمینارها و همایش ها
- برگزاری دوره‌های آموزشی تخصصی
- انتشار کتب و نشریات
- فعالیت و همکاری با ارگانه‌های ذیربط در خصوص مشاوره، بازرسی، انتخاب، واردات تیتانیوم و آلیاژهای آن
- برگزاری همایشهای یکروزه
- پرسش و پاسخ های فنی در مورد آلیاژها و فلزات

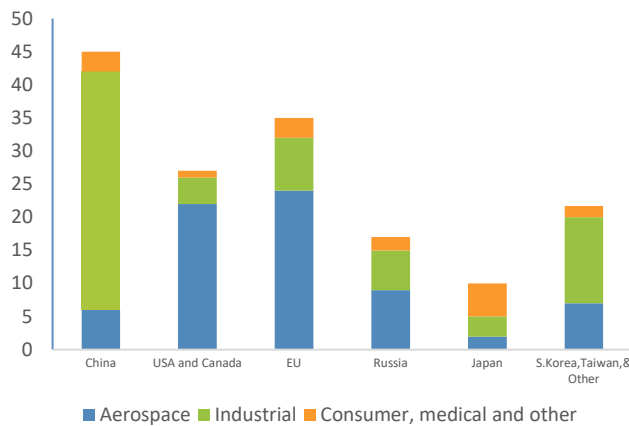
تلاش کرده است تا با بسط دانش فنی، استفاده و ساخت محصولات از جنس تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم را اشاعه داده و خدمات علمی متنوعی را به فعالان این عرصه ارائه نماید. این انجمن با ایجاد ارتباطات علمی گسترده و پویا با مراکز علمی معتبر، سعی در به روز نگه داشتن اطلاعات تخصصی، گسترش ارتباطات علمی با دنیای خارج و افزایش خدمات ارائه شده به اعضای خود است.

## تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم

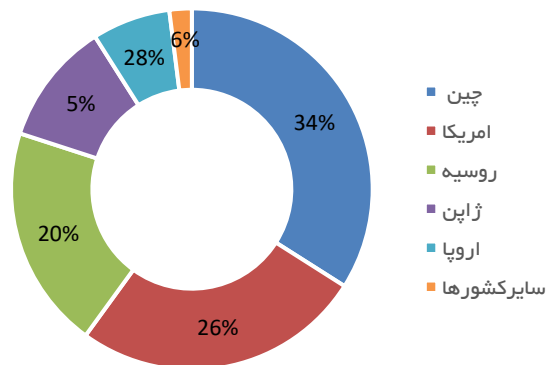
تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم، رده‌ای از آلیاژهای سبک هستند که علاوه بر استحکام کششی و چقرمگی بالا حتی در دماهای نسبتاً زیاد، از مقاومت به خوردگی و خزش بسیار خوبی برخوردارند. برای بهبود خواص تیتانیوم، آن را با برخی عناصر دیگر همچون آلومینیوم، وانادیوم، قلع، مولیبدن و... آلیاژی می‌کنند. آلیاژسازی در آلیاژهای تیتانیوم از روش‌های گوناگونی همچون تشکیل محلول جامد یا عملیات حرارتی می‌تواند باعث افزایش شدید خواصی همچون استحکام، سختی و چقرمگی در این فلز شود.

در حدود ۹۵ درصد تیتانیوم به صورت دی‌اکسید تیتانیوم ( ماده معدنی ) مورد استفاده قرار می‌گیرد و ۵ درصد آن به صورت فلزی مصرف می‌شود و امروزه به عنوان استینلس استیل قرن جدید شناخته می‌شود. تیتانیوم و آلیاژهای آن در صنایع گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرند و بیشترین مصارف آنها در صنایع شیمیایی، هوایی و هوافضایی، تصفیه آب، نمک زدایی، دریایی، برقی، پزشکی و... است. ظرفیت تولید تیتانیوم فلزی و آلیاژی در سال حدود ۳۰۰ هزار تن با ارزش حدودی ۵ میلیارد دلار بوده و بزرگترین تولیدکنندگان آن چین، آمریکا، روسیه، ژاپن و اتحادیه اروپا هستند. مصرف تیتانیوم و آلیاژهای آن به دلیل خاص بودن صنایع مصرف کننده آن در کشورهای پیشرفته و توسعه یافته تقریباً ۱۰ برابر کشورهای در حال توسعه می‌باشد.

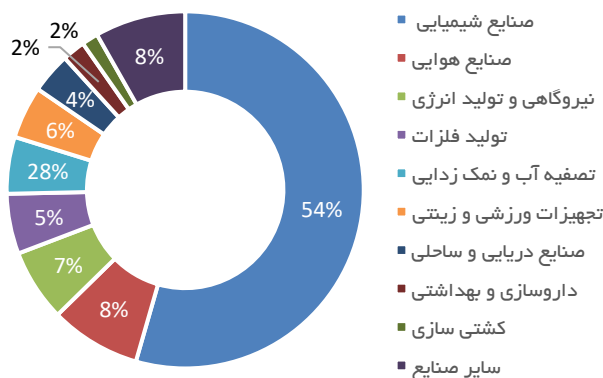
تقاضای جهانی برای تیتانیوم ( هزار تن )



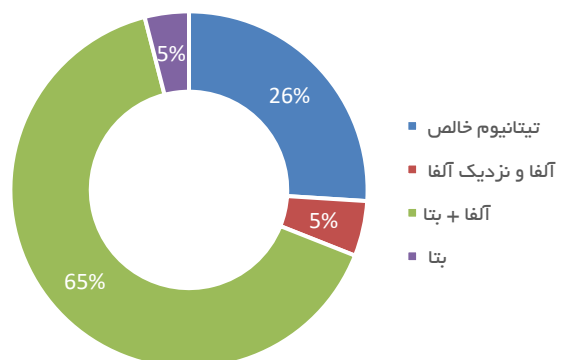
تولید کنندگان برتر در جهان



صنایع مصرف کننده تیتانیوم



میزان تولید گریدهای مختلف



برخی از خواص منحصر به فرد این فلز و آلیاژهای آن عبارتند از :

○ مقاومت به خوردگی عالی	○ غیر مغناطیس بودن
○ دانسیته کم	○ مقاومت به سایش بالا
○ استحکام به وزن بالا	○ مقاومت به شوک حرارتی
○ استحکام خستگی زیاد	○ چقرمگی شکست بالا در هوا و محیط کلریدی
○ نقطه ذوب بالا	○ رسانایی گرمایی
○ مقاومت به خزش بسیار خوب	○ سازگاری با محیط بدن

نسبت وزن به استحکام بالای تیتانیوم سبب می شود در بسیاری از کاربردها که استحکام و تافنس شکست بالایی مورد نیاز است ، این فلز و آلیاژهای آن جایگزین فولاد شوند. تیتانیوم دارای دانسیته  $4.5 \text{ gr/cm}^3$  است و آلیاژهای آن تقریباً نصف فولاد و سوپرآلیاژها وزن دارند و نسبت استحکام به وزن عالی بسیار خوب است .

تیتانیوم خالص در دمای اتاق دارای ساختار کریستالی HCP و یا آلفا است که در دمای نزدیک ۸۸۵ درجه سانتی گراد به ساختار کریستالی BCC و یا بتا تغییر فاز می یابد. دمای انتقال بتا بسته به نوع و مقدار عناصر آلیاژی یا مواد ناخالصی می تواند افزایش و یا کاهش یابد. عناصر آلیاژی که دمای تبدیل آلفا به بتا را افزایش می دهند همچون آلومینیوم ، گالیوم ، ژرمانیوم ، کربن ، اکسیژن و نیتروژن بعنوان پایدارکننده های فاز آلفا و عناصری که دمای انتقال را کاهش می دهند بعنوان پایدار کننده های فاز بتا نامیده می شوند که عناصری همچون مولیبدن ، وانادیوم ، تانتالیوم ، نیوبیوم ، آهن ، کروم ، منگنز، کبالت ، نیکل و مس از این گروه می باشند.

آلیاژهای تیتانیوم بر اساس میزان فازهای آلفا و بتای موجود در ساختار در دمای اتاق به ۵ دسته اصلی شامل تیتانیوم خالص تجاری، آلفا، نزدیک آلفا، آلفا-بتا و بتا تقسیم بندی می شوند.

تیتانیوم خالص تجاری یا تیتانیوم غیر آلیاژی :

عموما شامل ۹۹ تا ۹۹.۵ درصد تیتانیوم با مقادیری آهن و عناصر هیدروژن، نیتروژن، کربن و اکسیژن بعنوان ناخالصی می باشند. میکروساختار تیتانیوم غیر آلیاژی بصورت فاز آلفا با ساختار HCP و مقادیر بسیار کمی از فاز بتا است. تیتانیوم خالص تجاری نسبت به آلیاژهای تیتانیوم ارزاتر و دارای مقاومت به خوردگی بالاتر و استحکام پایین تر است. ضمن آنکه غیر قابل عملیات حرارتی ، اما دارای قابلیت جوشکاری و شکل پذیری بالایی هستند و در دمای بالا مقاومت به خزش خوبی از خود نشان می دهند. لذا این آلیاژها عموماً در کاربردهایی که مقاومت به خوردگی و انعطاف پذیری بالایی نیاز دارند و استحکام چندان مورد توجه نیست مورد استفاده قرار می گیرند.

آلیاژهای تیتانیوم آلفا :

دارای عناصر آلیاژی پایدارکننده های آلفا (نظیر آلومینیوم یا اکسیژن) و ساختار کاملاً آلفا میباشند. عناصر پایدارکننده آلفا همچنین بعنوان استحکام دهنده های محلول جامد عمل می کنند. در این آلیاژها اکسیژن و نیتروژن موجود بعنوان ناخالصی همچنین سبب سختی آلیاژ می شوند و افزودن قلع سبب بهبود انعطاف پذیری و وجود مقادیر کم زیرکونیوم سبب استحکام این آلیاژها می شوند. مقدار عناصر پایدار کننده آلفا که بصورت آلومینیوم معادل سنجیده می شوند بعلاوه جلوگیری از تردی آلیاژ نبایستی از ۹ درصد تجاوز کند. این گروه از آلیاژها دارای استحکام بالاتر و مقاومت به خوردگی بسیار کم نسبت به تیتانیوم غیر آلیاژی می باشند. همچنین این گروه از آلیاژهای تیتانیوم قابل جوشکاری و غیر قابل عملیات حرارتی می باشند.

## آلیاژهای تیتانیوم نزدیک آلفا :

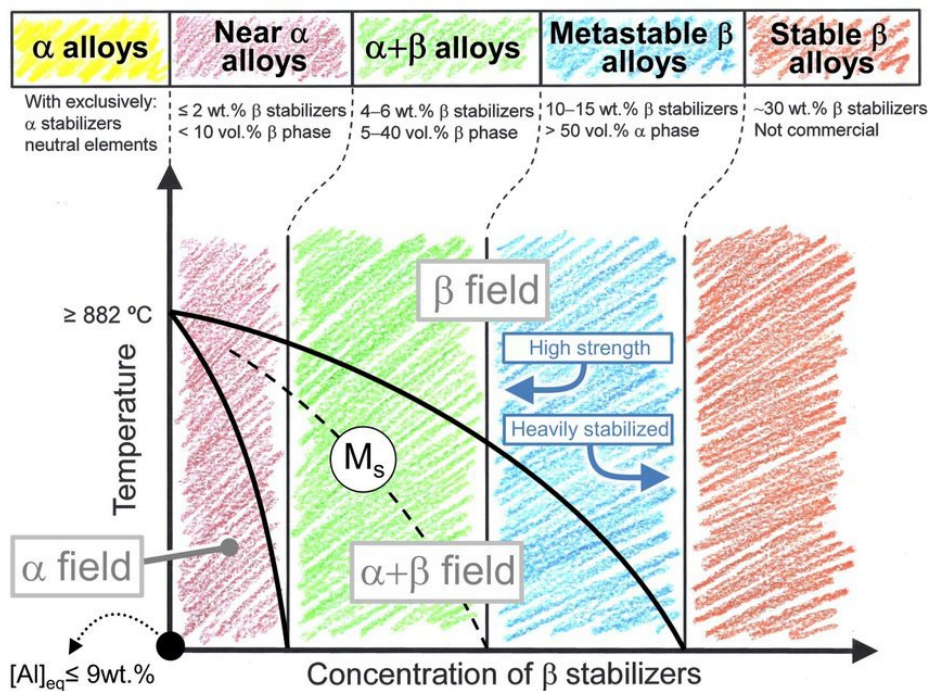
شامل مقدار کمی فاز بتا انعطاف پذیر می باشند. در کنار پایدارکننده های فاز آلفا، آلیاژهای نزدیک آلفا با ۱ تا ۲ درصد پایدارکننده فاز بتا از قبیل مولیبدن، وانادیوم و سیلیکون آلیاژی می شوند. این آلیاژها دارای استحکام خزشی بهتر نسبت به آلیاژهای کاملاً آلفا تا دمای نزدیک ۴۰۰ درجه سانتی گراد، استحکام نسبتاً بالا در دمای اتاق، انعطاف پذیری نسبتاً خوب، تافنس بالا، قابلیت جوشکاری و مقاومت خوب نسبت به محیط های آب شور می باشند.

## آلیاژهای تیتانیوم آلفا-بتا :

آلیاژهای شبه پایداری می باشند که شامل ترکیبی از عناصر پایدار کننده هر دو فاز آلفا و بتا می باشند. این آلیاژها قابل عملیات حرارتی و جوشکاری بوده و خواص شکل پذیری خوبی دارند ضمن آنکه دارای ترکیب عالی از استحکام، تافنس و مقاومت به خوردگی می باشند.

## آلیاژهای تیتانیوم بتا :

این گروه آلیاژهای شبه پایدار بوده و شامل عناصر پایدارکننده فاز بتا نظیر مولیبدن، سیلیکون و وانادیوم به اندازه کافی می باشند. به این ترتیب فاز بتا در هنگام عملیات کوئنچ پایدار باقی می ماند. این آلیاژها قابل عملیات حرارتی و شکل پذیری آسان می باشند و استحکام شکست بالاتری نسبت به آلیاژهای آلفا-بتا دارند.



	دانسیتیه بالاتر	→
	قابلیت عملیات حرارتی بیشتر	→
	تحمل تنش کوتاه مدت بیشتر	→
←	تنش خزشی بالاتر	
	افزایش حساسیت به نرخ کرنش	→
←	بهبود خواص جوشکاری	
	بهبود خواص شکل پذیری	→

## دسته بندی عمومی و گریدهای تیتانیوم و آلیاژهای آن

<p>دارای مقادیر کمی آهن و عناصر هیدروژن، نیتروژن، کربن و اکسیژن</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• قابلیت شکل پذیری بالا</li> <li>• مقاومت به خوردگی بالا</li> <li>• مقاومت به خزش بالا</li> <li>• غیر قابل عملیات حرارتی</li> <li>• قابل جوشکاری</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>تیتانیوم خالص</b></p> <p>CP Grade 1 , CP Grade 2 CP Grade 3 , CP Grade 4 CP Grade 7 , CP Grade 11 CP Grade 16 , CP Grade 17 CP Grade 26 , CP Grade 27</p>
<p>دارای عناصر آلیاژی پایدارکننده فاز آلفا مانند آلومینیوم یا اکسیژن</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• استحکام بالاتر نسبت به تیتانیوم خالص تجاری</li> <li>• مقاومت به خوردگی کمتر نسبت به تیتانیوم غیر آلیاژی</li> <li>• غیر قابل عملیات حرارتی</li> <li>• قابل جوشکاری</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>آلیاژهای تیتانیوم آلفا</b></p> <p>Ti-2.5Cu Ti-5Al-2.5Sn Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo Ti-8Al-1Mo-1V</p>
<p>شامل مقدار کمی فاز بتا بوده و انعطاف پذیر می باشند</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• دارای استحکام خزشی بهتر نسبت به آلیاژهای آلفا</li> <li>• دارای استحکام نسبتا بالا تا دمای نزدیک ۴۰۰ درجه سانتی گراد</li> <li>• انعطاف پذیری نسبتا خوب در دمای اتاق</li> <li>• تافنس بالا</li> <li>• مقاومت خوب نسبت به محیط های آب شور</li> <li>• قابل جوشکاری</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>آلیاژهای نزدیک به آلفا</b></p> <p>Titanium Grade 6 Titanium Grade 9 Titanium Grade 12 Titanium Grade 28 Ti 834 Ti-5Al-1Sn-1Zr-1V-0.8Mo Ti-5.5Al-3.5Sn-3Zr-1Nb</p>
<p>آلیاژهایی که همزمان حاوی فازهای آلفا و بتا هستند</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• بهترین خواص مکانیکی بین آلیاژهای تیتانیوم</li> <li>• قابلیت افزایش استحکام به وسیله انجام عملیات حرارتی</li> <li>• قابلیت جوشکاری ضعیف به دلیل وجود ریز ساختار دوفازی</li> <li>• قابلیت انجام عملیات حرارتی کمتر نسبت به آلیاژهای تک فاز بتا</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>آلیاژهای تیتانیوم آلفا - بتا</b></p> <p>Titanium Grade 5 Titanium Grade 23 Titanium Grade 29 Ti-6Al-7Nb Ti-6Al-6V-2Sn Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo Ti-7Al-4Mo Ti-4Al-4Mo-2Sn Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.15Si</p>
<p>آلیاژهای شبه پایدار شامل عناصر پایدارکننده فاز بتا مانند مولیبدن، سیلیکون و وانادیوم</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• افزایش قابلیت پذیرش عملیات حرارتی</li> <li>• داکتیلیته بالاتر در شرایط آئیل شده</li> <li>• شکل پذیری بهتر نسبت به آلیاژهای آلفا یا آلفا - بتا</li> <li>• دارای قابلیت جوشکاری مناسب</li> <li>• نرخ رشد ترک خستگی مناسب</li> <li>• چقرمگی شکست بالا</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>آلیاژهای تیتانیوم بتا</b></p> <p>Ti-5Al-2Zr-2Sn-4Mo-4Cr Grade 19 Ti-13V-11Cr-3Al TIMETAL 21S Ti 10V-2Fe-3Al 15V-3Cr-3Sn-3Al Ti-10V-2Fe-3Al</p>

تیتانیوم گرید ۱، یکی از مهم ترین تیتانیوم های خالص موجود در صنعت است که خواص و ویژگی های فوق العاده ای دارد. تیتانیوم های غیر آلیاژی عموماً در چهار گرید ۱، ۲، ۳ و ۴ موجود است که بر اساس میزان ناخالصی و تاثیر آن ها بر استحکام و چکش خواری تقسیم بندی می شوند و همگی در دسته بندی خالص تجاری یا CP (Commercial Pure) قرار می گیرند. در بین این چهار گرید، گرید ۱ بیشترین خلوص، کمترین استحکام، بهترین چکش خواری و شکل پذیری در دمای اتاق را دارد. این گرید همچنین دارای تافنس ضربه بالا و مقاومت خزشی خوب بوده و به سادگی قابل جوشکاری است، ضمن آنکه قابلیت کشش عمیق بسیار خوبی از خود نشان می دهد و قابلیت ریخته گری نیز دارد. مقاومت به خوردگی این گرید در محیط های به شدت اکسیدی و تقریباً احیایی حاوی کلرید، بسیار عالی است. ماکزیمم درصد وزنی ناخالصی تیتانیوم گرید یک ۰/۱۸ اکسیژن، ۰/۲ آهن، ۰/۰۳ نیتروژن و ۰/۱۰ کربن است. هیدروژن حتی در مقادیر خیلی کم ۳۰ تا ۴۰ پی پی ام می تواند منجر به تردی هیدروژنی شدید در تیتانیوم خالص شود.

به طور کلی قابلیت شکل پذیری و ساخت تیتانیم، به غلظت عناصر بینابینی (interstitial) وابسته است و به همین علت تیتانیوم گرید یک انعطاف پذیری و قابلیت شکل دهی سرد بهینه و مطلوبی دارد. از طرفی خواص مکانیکی این گرید نیز بسیار مطلوب است و استحکام کششی تسلیم آن در حدود ۲۲۱ MPa است و به دلیل چگالی پایین (حدود نصف وزن فولاد) انتخابی بسیار خوب برای صنایع هوایی، هوافضایی، پزشکی و دیگر مواردی است که نسبت استحکام به وزن مهم است.

### ترکیب شیمیایی

Titanium Ti Balance	Iron Fe 0.20	Oxygen O 0.18	Carbon C 0.10	Nitrogen N 0.03	Hydrogen H 0.015
---------------------------	--------------------	---------------------	---------------------	-----------------------	------------------------

### ویژگی های کلیدی

- ارزان تر نسبت به آلیاژهای تیتانیوم
- دارای مقاومت به خوردگی بالاتر
- استحکام پایین تر
- غیر قابل عملیات حرارتی
- دارای قابلیت جوشکاری
- دارای قابلیت شکل پذیری بالا
- دارای مقاومت به خزش در دمای بالا

### استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام های دیگر
-	Ti-Grade1	3.7025	R50250	-	Grade 1 B265 B337 B338 B348 F67	ISO 5832-2 ASME SB265 JIS Class 2 GB 3620 JIS H4600

## خواص مکانیکی

سختی (HV)	مدول الاستیک (GPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	استحکام تسلیم (MPa)	استحکام کششی (MPa)
115-125	100-105	20-25	172-240	240-360

## خواص فیزیکی

چگالی (g/cm <sup>3</sup> )	مقاومت الکتریکی (μΩ.cm)	نقطه ذوب (°C)	ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)
4.51-4.52	55-57.5	1670	539-541

## خواص خوردگی

دلیل اصلی مقاومت به خوردگی بالای Ti-Cp grade 1، وجود لایه اکسید بسیار متراکم و چسبنده بر روی سطح آن است. این لایه باعث می‌شود تا تیتانیوم مقاومت خیلی خوبی در محیط‌های اکسید کننده داشته باشد. در صورت وقوع آسیب و وجود اکسیژن، رشد جدید لایه اکسیدی به صورت سریع رخ می‌دهد. با توجه به مقاومت به خوردگی مناسب تیتانیوم، می‌توان از آن در محیط‌های مختلفی از جمله سیستم‌های آب خنک کننده، آب دریا، آب شور، کالر مرطوب، دی اکسید کالر، هیپوکلریت‌ها، هیپوکلرات‌ها، سولفیدها، نیتریک‌ها و ... استفاده کرد.

آب	آب (نمک)	اسید ضعیف	اسید قوی	قلیایی ضعیف	قلیایی قوی	محلول ارگانیک	اکسیداسیون در ۵۰۰ ساعتیگراد
عالی	عالی	عالی	قابل قبول	عالی	قابل قبول	عالی	قابل قبول

## خواص حرارتی و اکسیداسیون

حداکثر دمای کاری (°C)	حداقل دمای کاری (°C)	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	ضریب انبساط حرارتی (μm/m.K)
ناپيوسته 425	-273	16.3-18	8.5-9.3

## فرآیندهای ساخت و تولید

### شکل‌دهی گرم و سرد

گریدهای تجاری تیتانیوم خالص قابلیت شکل‌دهی گرم و شکل‌دهی سرد دارند و تیتانیوم گرید ۱ نیز از این قاعده مستثنی نیست. پتانسیل شکل‌دهی در این گریدها با کاهش میزان ناخالصی‌ها مخصوصاً اکسیژن، افزایش می‌یابد. در صورتی که این گرید تحت بیش از ۵ درصد کار سرد قرار گرفته باشد، باید بعد از استحکام بخشی ناشی از کار سرد، تحت عملیات آنیل نرم قرار بگیرد تا مقاومت به خوردگی بهینه و خواص مکانیکی مورد نظر برای آن حاصل شود. تیتانیوم خالص تجاری قابلیت ماشینکاری نیز دارد و ماشینکاری آن را می‌توان با تکنیک‌های مرسوم انجام داد. البته ماشینکاری این فلز، همواره با چالش‌های مختلفی همراه است.

### عملیات حرارتی

تیتانیوم‌های خالص به دلیل عدم وجود عناصر آلیاژی قابلیت عملیات حرارتی ندارند. اما برای عملیات آنیل تیتانیوم خالص تجاری (گریدهای ۱ تا ۴) ترجیحاً بایستی از کوره‌های الکتریکی با اتمسفر گاز خنثی و یا خلأ استفاده شود. عملیات آنیل در دمای تقریباً ۷۰۰ درجه سانتیگراد انجام می‌گردد. میزان نگهداری فلز در این دما حداقل ۱۵ دقیقه است. عملیات آنیل رهاسازی تنش در بازه دمایی ۴۵۰ الی ۶۰۰ درجه سانتیگراد صورت می‌گیرد و زمان نگهداری تیتانیوم خالص تجاری در این عملیات، تقریباً ۳۰ دقیقه است. خنک‌سازی بعد از عملیات حرارتی نیز در اتمسفر گاز خنثی و یا هوا انجام می‌شود.

در جوشکاری گریدهای مختلف تیتانیوم، استفاده از فیلر فلزی سازگار با گرید فلز، اهمیت زیادی دارد. موثرترین تکنیک‌های جوشکاری برای اتصال تیتانیوم خالص تجاری عبارتند از: جوشکاری قوسی گاز تنگستن (GTAW) و جوشکاری قوسی گاز فلزی (GMAW). همچنین از تکنیک‌های دیگری مثل جوشکاری پرتو الکترونی، لیزر و پلاسما نیز می‌توان استفاده نمود. وجود اتمسفر آرگون ۹۹/۹۹ درصد در جوشکاری تیتانیوم خالص تجاری اهمیت زیادی دارد.

برخی از نکات و الزامات مهم در جوشکاری تیتانیوم‌های خالص تجاری عبارتند از:

- عدم وجود ناخالصی و اکسید در فلز پرکننده (فیلر) و فلز پایه
- خشک بودن فلزات پایه و فیلر
- حفاظت کامل از گاز خشی به ویژه در قسمت پشتی جوش

تیتانیوم در دماهای برابر یا بیشتر از ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، میل ترکیبی زیادی با گازهای جوی یا اتمسفر دارند. این موضوع موجب اکسیداسیون و تردی سطح می‌شود. انتهای قسمت اکسید شده در فیلر فلزی، باید پیش از جوشکاری حذف گردد. در جوشکاری قطعات کوچک تیتانیوم خالص تجاری، بهتر است از محفظه‌های جوش استفاده شود. عملیات تنش‌زدایی، یکی از فرایندهای بسیار مهم بعد از جوشکاری محسوب می‌شود. در صورت وجود تنش باقیمانده در قطعات تیتانیوم گرید ۱ به دلایلی همچون اندازه زیاد و یا طراحی ساختاری، انجام عملیات تنش‌زدایی برای این فلز ضروری است.

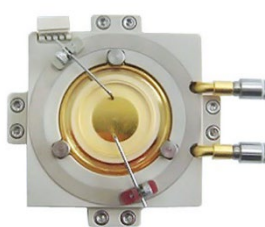
### کاربردها

موارد استفاده رایج تیتانیوم گرید ۱ شامل استفاده در جاهایی که مقاومت به خوردگی بسیار زیاد، استحکام مطلوب، شکل پذیری، چکش خواری، نرخ کارسرد بالا و جوشپذیری عالی بالا نیاز باشد مرسوم است. این گرید در محیط‌های اکسید کننده و احیایی با کلرید، صنایع شیمیایی و دریایی و کاربردهایی مشابه مبدل حرارتی، اجزاء فرآیندهای شیمیایی، تجهیزات مورد نیاز برای نمک زدایی، لوله کندانسور، سبدهای اسید شویی و انواع مختلف آند است. به دلیل مقاومت به خوردگی در آب دریا، بخار کلرین، کلریدهای فلزی، کلریت و محلول‌های هیپو کلریت، کرومیک و نیتریک اسید تیتانیوم گرید انتخابی مناسب برای ساخت مخازن راکتور شیمیایی و در صنایع مهندسی و شیمیایی است.

قطعات کشتی های نیروی دریایی  
صنایع غذایی و لبنی  
صنایع دارویی و بهداشتی  
لوله کندانسور  
زیورآلات و لوازم شخصی

ایمپلنت های پزشکی  
تجهیزات جراحی  
استخراج هیدرومتالورژیکی  
تجهیزات صنایع کاغذ و پالپ  
مخازن فوق تبرید

تجهیزات فرآیندهای شیمیایی  
مبدل‌های حرارتی  
آند، کاتد و سلول‌های الکتروشیمیایی  
پالایش و فرآوری هیدروکربن‌ها  
سیستم‌های اسیدشویی





تیتانیوم گرید ۲ غیر آلیاژی یکی از مشهورترین و پرمصرف ترین گریدهای تیتانیوم تجاری موجود در بازار است که خواص و ویژگی‌های مهم آن باعث شده کاربردهای متنوع و زیادی داشته باشد. در گریدهای چهارگانه تیتانیوم تجاری خالص، خواص مکانیکی کششی و تسلیم معمولاً با افزایش گرید تیتانیوم، بیشتر می‌شود. تیتانیوم در مقایسه با فولاد، حدود ۵۰ درصد وزن کمتری دارد؛ درحالی که استحکام آن ۳۰ درصد بیشتر است. این فلز، پایداری استحکام بالایی دارد و با توجه به نسبت استحکام به وزن و همچنین مقاومت به خوردگی بالای آن، در صنایع مختلف مثل هوافضا، صنایع ارتش، کشتی‌سازی و حتی پزشکی به طور ویژه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تیتانیوم گرید ۲ به دلیل داشتن ویژگی‌هایی همچون استحکام مناسب، مقاومت به خوردگی فوق‌العاده و قابلیت شکل‌پذیری عالی، محبوبیت زیادی در بین طراحان و مهندسان دارد. این ویژگی‌ها باعث شده تا تیتانیوم تجاری گرید ۲ گزینه بسیار مناسبی برای کاربردهای مختلف پزشکی، شیمیایی، هوافضا و دریایی باشد.

گرید ۲ فلزی با توازن استحکام و داکتیلیته عالی است. این ماده دارای تافنس خوب بوده و به سهولت قابل جوشکاری است. در محیط‌های اکسندة مقاومت بسیار بالایی در مقابل خوردگی دارد. این ماده قابل ریخته‌گری است و اغلب در تولید شیرها و اتصالات مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین از این ماده جهت تولید ورق‌های پوشش‌دار استفاده می‌شود.

### ترکیب شیمیایی

Titanium Ti 99.31	Iron Fe 0.30	Oxygen O 0.25	Carbon C 0.10	Nitrogen N 0.03	Hydrogen H 0.015
-------------------------	--------------------	---------------------	---------------------	-----------------------	------------------------

### ویژگی‌های کلیدی

- ارزان‌تر نسبت به آلیاژهای تیتانیوم
- دارای مقاومت به خوردگی بالاتر
- استحکام پایین تر
- غیر قابل عملیات حرارتی
- دارای قابلیت جوشکاری
- دارای قابلیت شکل‌پذیری بالا
- دارای مقاومت به خزش در دمای بالا
- هدایت حرارتی پایین
- زیست سازگاری بالا

### استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
-	-	3.7035	R50400	4902	Grade 2	ISO 5832-2
				4941	F67	MIL T-9046
				4942	B265	MIL T-9047
					B337	ASME SB265
					B338	ASME SB381
						GB 3620
						JIS H4600

## خواص مکانیکی

سختی (HV)	مدول الاستیک (GPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	استحکام تسلیم (MPa)	استحکام کششی (MPa)
160-200	103	28	350-450	485

## خواص فیزیکی

چگالی (g/cm <sup>۳</sup> )	مقاومت الکتریکی (μΩ.cm)	نقطه ذوب (°C)	ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)
4.51	52	1660	523

## خواص خوردگی

مقاومت به خوردگی تیتانیوم گرید ۲ بر اساس پایداری، تداوم و استحکام لایه اکسیدی چسبیده مشخص می‌شود. این لایه به صورت خود به خودی و با سرعت بالا، با فرارگیری در معرض اکسیژن به وجود می‌آید. در صورت آسیب، لایه اکسیدی تا زمانی که در معرض محیط حاوی اکسیژن (هوا یا رطوبت) باشد، به آسانی قابل تشکیل مجدد است. به طور کلی افزایش خلوص تیتانیوم تجاری، افزایش مقاومت به خوردگی را در پی دارد. تیتانیوم تجاری گرید ۲، به دلیل سطح ناخالصی اندک، به طور گسترده در کاربردهای مقاومت به خوردگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فلز پتانسیل بالایی برای مقابله با شرایط بحرانی خوردگی در محیط‌های دریایی و شیمیایی دارد. تیتانیوم خالص تجاری گرید ۲ در محیط دریا تا دمای ۳۱۵ درجه سانتی‌گراد (۶۰۰ درجه فارنهایت) مقاومت کاملی دارد.

آب	آب (نمک)	اسید فرمیک (HCOOH)	کلر (Cl)	آب دریا (NaCl) (3.5%)	اسید نیتریک (HNO <sub>3</sub> )	اسید هیدروکلریک (HCl)	اسید سولفوریک (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
خیلی خوب	خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خوب	خوب	خیلی خوب

## خواص حرارتی و اکسیداسیون

حداکثر دمای کاری (°C)	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	ضریب انبساط حرارتی (μm/m.K)
ناپوسته 425	20.8	8.6
پیوسته 170		

## فرآیندهای ساخت و تولید

### شکل‌دهی گرم و سرد

تیتانیوم گرید ۲ را می‌توان با تکنیک‌های رایجی از جمله نورد داغ و پرس داغ تحت شکل‌دهی گرم قرار داد. دمای آغاز شکل‌دهی باید ۳۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد (۵۰ الی ۱۰۰ درجه فارنهایت) بالاتر از استحاله بتا باشد. دمای نهایی فرایند نیز معمولاً از ۸۱۵ درجه سانتی‌گراد (۱۵۰۰ درجه فارنهایت) تا تقریباً ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد (۱۶۵۰ درجه فارنهایت) است که در محدوده دمایی فاز آلفا-بتا قرار داد.

تیتانیوم گرید ۲ به واسطه برخورداری از درصد اندک اکسیژن، انعطاف‌پذیری خوبی دارد و شکل‌دهی سرد آن را می‌توان با روش‌هایی همچون کشش، drawing، heading و قالب زنی یا مهرزنی (stamping) انجام داد.

### عملیات حرارتی

عملیات حرارتی‌های مورد استفاده برای تیتانیوم تجاری شامل آنیل و رهاسازی تنش هستند. عملیات آنیل به منظور نرم کردن ماده و از بین بردن تنش باقیمانده به کار می‌رود. عملیات آنیل در محصولات کار شده، در دماهای رایج کمتر از استحاله

بتا، منجر به تبلور مجدد کامل ساختار آلفا هم محور می‌شود. کنترل دقیق اندازه دانه و خواص مکانیکی با تنظیم دمای آنیل، قابل دستیابی است. عملیات آزدسازی تنش به منظور از بین بردن تمام و یا قسمتی از تنش‌های باقیمانده ناشی از شکلدهی استفاده می‌شود.

### جوشکاری

تیتانیوم خالص تجاری گرید ۲ را می‌توان با فیله‌های جنس تیتانیوم تجاری، جوشکاری کرد. تکنیک‌های جوشکاری گاز خنثی باید به منظور جلوگیری از رشد و پیکاپ اکسیژن و ایجاد تردی هیدروژنی ناحیه جوش باید به کار روند. رایج‌ترین تکنیک برای جوشکاری Cp Ti، جوشکاری قوسی گاز تنگستن (GTAW) است. البته برای مقاطع نازک، روش جوشکاری قوسی گاز فلز (GMAW) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

روش‌های دیگری همچون جوشکاری قوسی پلاسما، جوشکاری پرتو الکترونی، پرتو لیزر، جوشکاری مقاومتی، جوشکاری نقطه‌ای و جوشکاری ذوبی با موفقیت برای جوشکاری تیتانیوم‌های تجاری به کار رفته‌اند.

### کاربردها

از تیتانیوم گرید ۲ می‌توان در هرگونه کاربردی که در آن شکل‌پذیری، مقاومت به خوردگی و استحکام در حد متوسط مورد نیاز باشند، استفاده کرد. برخی از مهم‌ترین کاربردهای صنایع هوا فضا این فلز عبارتند از: پوسته‌های ایرفریم در قسمت‌های پر حرارت، براکت‌های کانال کشی و تجهیزات مربوط به آشپزخانه‌ها در فضاپیما.

Cp Ti Grade 2 به طور گسترده در کاربردهای دریایی و شیمیایی مثل ساخت کاندنسرها، اواپراتورها و ساخت محفظه واکنش، ساخت محفظه‌های برودتی و سیستم لوله‌کشی و لوله بخار در دستگاه‌ها و کارخانه‌های نم‌زدایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله سایر کاربردهای تیتانیوم خالص تجاری گرید ۲، می‌توان به کاربردهای متنوع پزشکی و ساخت کاتدها، بسکت‌ها و سیستم‌های آبراری اشاره کرد.

قطعات بدنه هواپیما  
وسایل مصرفی تزئینی  
صنایع غذایی  
استخراج هیدرومتالورژیکی  
تجهیزات صنایع کاغذ و پالپ  
تجهیزات ورزشی  
تجهیزات کنترل آلودگی هوا

قطعات لوله و هیدرولیک هواپیما  
صنایع ساختمانی و معماری  
ایمپلنت‌های پزشکی و تجهیزات جراحی  
پالایش و فرآوری هیدروکربن‌ها  
قطعات کشتی‌های نیروی دریایی  
حفاری و تولید فراساحلی هیدروکربن‌ها  
تجهیزات سیستم‌های خنک‌کن نیروگاهی



تیتانیوم خالص تجاری است که به دلیل دارا بودن مقادیر بیشتر عناصر دیگر مستحکم تر و با قابلیت شکل پذیری کمتر نسبت به تیتانیوم گریده‌های ۱ و ۲ است. این تیتانیوم خالص به سادگی قابل جوشکاری است و در محیط‌های اکسندۀ بالا و احیایی ملایم به شدت مقاوم به خوردگی است. همچنین قابلیت ریخته‌گری دارد و اغلب در ریخته‌گری شیرها و اتصالات مورد استفاده قرار می‌گیرد. این گرید چندان پرمصرف نیست و گرید ۲ و ۴ بجای آن مورد استفاده قرار می‌گیرند.

## ترکیب شیمیایی

Titanium Ti 99.19	Iron Fe 0.30	Oxygen O 0.35	Carbon C 0.10	Nitrogen N 0.05	Hydrogen H 0.015
-------------------------	--------------------	---------------------	---------------------	-----------------------	------------------------

## ویژگی‌های کلیدی

- ارزان‌تر نسبت به دیگر آلیاژهای تیتانیوم
- دارای مقاومت به خوردگی بالاتر
- استحکام پایین‌تر
- غیر قابل عملیات حرارتی
- دارای قابلیت جوشکاری
- شکل پذیری بالا
- دارای مقاومت به خزش در دمای بالا

## استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
-	-	3.7055	R50550	4900	Grade 3 F67 B265 B863	JIS Class 3

## خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
595	460	25	103	180-220

## خواص فیزیکی

ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی (μΩ.cm)	چگالی (g/cm <sup>۳</sup> )
523	1680	54	4.51

## خواص خوردگی

اسید	اسید	اسید	آب دریا	کلر	اسید	آب (نمک)	آب
سولفوریک (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	هیدروکلریک (HCl)	نیتریک (HNO <sub>3</sub> )	NaCl ) (3.5%)	(Cl)	فرمیک (HCOOH)	آب (نمک)	آب
نامناسب	خوب	خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب

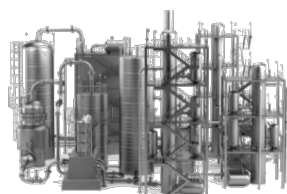
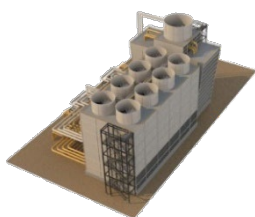
## خواص حرارتی و اکسیداسیون

ضریب انبساط حرارتی ( $\mu\text{m}/\text{m.K}$ )	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	حداکثر دمای کاری (°C)	ناپيوسته	ناپيوسته
8.6	21.97	170	پیوسته	425

## کاربردها

مخازن فوق سرد  
قطعات کشتی‌های نیروی دریایی  
مبدل‌های حرارتی

تجهیزات فرآیندهای شیمیایی  
قطعات بدنه هواپیما  
لوله کندانسور



تیتانیوم گرید ۴ بیشترین عناصر ناخالصی را در بین تیتانیوم های خالص دار است و به همین دلیل مستحکم تر از گریدهای ۱، ۲ و ۳ است. این گرید تیتانیوم به سادگی قابل جوشکاری است و در محیطهای بسیار اکسند و احیایی ملایم بسیار مقاوم به خوردگی است. این ماده قابل ریختهگری است و اغلب در ریختهگری شیرها و اتصالات مورد استفاده قرار میگیرد.

## ترکیب شیمیایی

<b>Titanium Ti 98.94</b>	<b>Iron Fe 0.50</b>	<b>Oxygen O 0.40</b>	<b>Carbon C 0.10</b>	<b>Nitrogen N 0.05</b>	<b>Hydrogen H 0.015</b>
----------------------------------	-----------------------------	------------------------------	------------------------------	--------------------------------	---------------------------------

## ویژگی‌های کلیدی

- ارزان‌تر نسبت به آلیاژهای تیتانیوم
- دارای مقاومت به خوردگی بالاتر
- استحکام بالاتر نسبت به دیگر گریدهای خالص
- غیر قابل عملیات حرارتی
- دارای قابلیت جوشکاری
- شکل پذیری بالا
- دارای مقاومت به خزش در دمای بالا

## استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
-	-	3.7065	R50700	4901	F67 B265 B348 B863	ISO 5832-2

## خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
685	560	23	104	250

## خواص فیزیکی

ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی (μΩ.cm)	چگالی (g/cm <sup>۳</sup> )
523	1660	60	4.54

## خواص خوردگی

مقاومت به خوردگی تیتانیوم گرید ۴ همانند دیگر گریدهای خالص تیتانیوم ناشی از وجود یک لایه اکسیدی چسبنده، مستحکم و پایدار است که بلافاصله بعد از قرارگیری در معرض اکسیژن تشکیل می‌شود. چنانچه لایه اکسیدی صدمه ببیند، تا زمانی که منبع اکسیژن مثل هوا یا رطوبت در محیط وجود داشته باشد، به راحتی قابل تشکیل مجدد است.

اسید سولفوریک (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) متوسط	اسید هیدروکلریک (HCl) خیلی خوب	اسید نیتریک (HNO <sub>3</sub> ) خیلی خوب	آب دریا (NaCl) (3.5%) خیلی خوب	کلر (Cl) خیلی خوب	اسید فرمیک (HCOOH) خیلی خوب	آب (نمک) خیلی خوب	آب خیلی خوب
--	-----------------------------------	---	--------------------------------------	----------------------	--------------------------------	----------------------	----------------

## خواص حرارتی و اکسیداسیون

ضریب انبساط حرارتی (μm/m.K)	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	حداکثر دمای کاری (°C)	ناپيوسته
17.2	17.3	پیوسته 420	540

## فرآیندهای ساخت و تولید

### شکل‌دهی گرم و سرد

تیتانیوم گرید ۴ با داشتن ۰/۴۰ درصد اکسیژن، شکل‌پذیری متوسطی دارد و شکل‌دهی داغ آن با تکنیک‌هایی همچون نورد داغ، فورج و پرس داغ، امکان‌پذیر است. در شکل‌دهی گرم این ماده، دمای ابتدایی فرایند باید بین ۳۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد (۵۰ تا ۱۰۰ درجه فارنهایت) بیشتر از دمای استحاله بتا باشد. دمای انتهای شکل‌دهی نیز معمولاً بین ۱۵۰۰ تا ۱۶۵۰ درجه فارنهایت (۸۱۵ الی ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد) است که در محدوده فاز آلفا/بتا قرار دارد. با توجه به انعطاف‌پذیری متوسط تیتانیوم گرید ۴، امکان شکل‌دهی آن در دمای اتاق وجود دارد. البته تغییر شکل سرد این ماده باید شدیدتر نسبت به گریدهای دیگر باشد. برای تیتانیوم خالص تجاری گرید ۴ می‌توان از روش‌هایی همچون خمش، قالب‌زنی (Stamping)، پرچ زنی (Heading)، کشش (Drawing) و Stretch تحت شکل‌دهی قرار داد. باید توجه داشت که به طور کلی، کارسختی تیتانیوم تجاری با سرعت نسبتاً زیادی افزایش می‌یابد و در برخی از فرایندها مثل Cold drawing این موضوع یک محدودیت محسوب می‌شود. استحکام تسلیم فشاری تیتانیوم تجاری در دمای اتاق بعد از کشش یا stretch، تا ۲۵ درصد کاهش می‌یابد و این به دلیل اثر باوشینگر است.

### عملیات حرارتی

عملیات حرارتی‌های مورد استفاده برای تیتانیوم‌های تجاری، شامل آنیل و رهاسازی تنش هستند. مشخصات این عملیات‌ها بدین شرح می‌باشند:

- آنیل: حرارت‌دهی در بازه دمایی ۱۱۰۰ الی ۱۴۰۰ درجه فارنهایت (۵۹۵ تا ۷۶۰ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۲ ساعت + سرد کردن در هوا و یا با سرعتی معادل آن
- رهاسازی تنش: حرارت‌دهی در بازه دمایی ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه فارنهایت (۵۴۰ الی ۵۹۵ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۱۵ تا ۳۰ دقیقه + سرد کردن در هوا و یا سرعتی معادل آن

### جوشکاری

تیتانیوم خالص تجاری گرید ۴، جوش‌پذیر است و برای جوشکاری آن حتماً باید از فیلرهای جنس تیتانیوم تجاری استفاده کرد تا تطابق حداکثری ترکیب شیمیایی وجود داشته باشد.

روش‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده برای جوشکاری تیتانیوم‌های تجاری خالص عبارتند از:

- جوشکاری قوسی گاز تنگستن یا GTAW (متداول‌ترین روش)
- جوشکاری قوسی گاز فلزی یا GMAW (مناسب برای مقاطع نازک)
- جوشکاری قوسی پلاسما
- جوشکاری نقطه‌ای

- جوشکاری پرتو الکترونی
- جوشکاری پرتو لیزر
- جوشکاری مقاومتی
- جوشکاری ذوبی

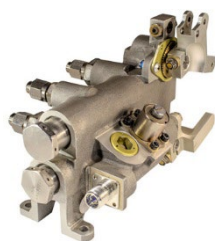
به منظور جلوگیری از جذب اکسیژن و ایجاد تردی و شکنندگی در منطقه جوش، استفاده از گاز خثی محافظ ضروری است.

### کاربردها

تیتانیوم خالص گرید ۴ می‌تواند در هرگونه شرایطی که استحکام و مقاومت به خوردگی بالا مورد نیاز باشد، استفاده شود. انعطاف‌پذیری و شکل‌پذیری این گرید در حد متوسط است و از طرفی مقاومت به خستگی خوردگی فوق‌العاده‌ای نیز در آب دریا دارد.

برخی از کاربردهای مهم تیتانیوم گرید ۴ عبارتند از:

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| ساخت قطعات موتور هواپیما                | ایمپلنت‌های دندان                 |
| ساخت ماشین‌آلات پردازش شیمیایی          | آند و کاتد                        |
| صنایع دریایی                            | قطعات سلول‌های الکتروشیمیایی      |
| قطعات لوله و هیدرولیک هواپیما و ایرفریم | تجهیزات فرآیندهای شیمیایی         |
| مبدل‌های حرارتی                         | قطعات بدنه خودرو                  |
| مخازن واکنش برای فرآیندهای شیمیایی      | دستگاه‌های نمک زدایی              |
| ساخت خمیر و کاغذ                        | ساخت چاه‌های دفع زباله‌های خورنده |





تیتانیوم گرید ۷، یک نوع تیتانیوم غیرآلیاژی با میزان استاندارد اکسیژن و افزودنی پالادیم است. این نوع تیتانیوم با دیگر تیتانیوم‌های خالص تجاری تفاوت دارد زیرا به ترکیبات آن، پالادیوم اضافه شده است. مشخصه اصلی تیتانیوم گرید ۷، مقاومت به خوردگی فوق‌العاده آن در محیط‌های احیایی و اکسیدی است و عموماً در صنایع شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این گرید مقاومت به خوردگی شیار در گستره وسیعی از محیط‌های اسیدی و احیایی شامل کلریدها و جایی که PH پایین و دما بالا حدود ۸۳ تا ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد است دارد.

این گرید با نام Ti 0.15Pd نیز شناخته می‌شود و در برابر حملات موضعی در محیط‌های داغ، مقاومت فوق‌العاده‌ای از خود بروز می‌دهد. وجود پالادیوم در گرید ۷، تأثیر به‌سزایی در افزایش مقاومت به خوردگی آن داشته است. تیتانیوم گرید ۷ از لحاظ خواص مکانیکی و فیزیکی، شباهت زیادی به تیتانیوم خالص گرید ۲ دارد و استحکام و انعطاف‌پذیری آن در حد متوسط است. این گرید در محیط‌های آب نمک و کلریدی پایداری خیلی خوبی دارد. این فلز همچنین در برابر فرسایش و یا ضربه نیز مقاوم است.

### ترکیب شیمیایی

<b>Titanium Ti 99.06-99.19</b>	<b>Iron Fe 0.20</b>	<b>Palladium Pd 0.12-0.25</b>	<b>Oxygen O 0.25</b>	<b>Carbon C 0.10</b>	<b>Nitrogen N 0.03</b>
<b>Hydrogen H 0.015</b>					

### ویژگی‌های کلیدی Ti CP Grade 7 – تیتانیوم خالص گرید ۷

- خواص مکانیکی و فیزیکی مشابه با گرید ۲
- مقاومت به خوردگی عالی به دلیل وجود پالادیم
- مقاومت بسیار خوب در محیط‌های احیایی و اکسیدی و هالیدهای داغ
- شکل‌پذیری و جوش‌پذیری مناسب
- به دلیل وجود پالادیوم بسیار گران است
- غیر قابل عملیات حرارتی
- دارای مقاومت به خزش در دمای بالا
- هدایت حرارتی پایین

### استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
-	Ti II Pb	3.7235	R52400	-	-	-

## خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
458	350	28	103	150

## خواص فیزیکی

ظرفیت گرمایی ویژه (J/g.°C)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی (μΩ.cm)	چگالی (g/cm <sup>۳</sup> )
0.523	1665	55	4.51

## خواص خوردگی

تیتانیوم گرید ۷ شباهت زیادی به تیتانیوم خالص گرید ۲ دارد اما مقاومت به خوردگی آن به واسطه وجود پالادیوم، بسیار عالی است. در حقیقت یکی از اهداف اصلی افزودن عناصر آلیاژی به تیتانیوم، ارتقای مقاومت به خوردگی آن در اسیدهای احیایی است زیرا در حالت کلی، تیتانیوم رفتار حفاظتی چندان مناسبی در محیط‌های احیایی ندارد. آلیاژ تیتانیوم گرید ۷ و گرید ۱۶، آلیاژهایی هستند که در ترکیب شیمیایی آن‌ها، پالادیوم وجود دارد. در چنین آلیاژهایی، انحلال فلز یا رشد اکسید می‌تواند منجر به غنی‌سازی پالادیوم در سطح شود و پتانسیل خوردگی به سمت مقادیر مثبت انتقال پیدا کند.

اسید فسفریک (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	اسید هیدروفلوئوریک (HF)	اسید فرمیک (HCOOH)	کلر (Cl)	آب دریا (NaCl) (3.5%)	اسید نیتریک (HNO <sub>3</sub> )	اسید هیدروکلریک (HCl)	اسید سولفوریک (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خوب	خیلی خوب	خیلی خوب

## خواص حرارتی و اکسیداسیون

ضریب انبساط حرارتی (W/m.K)	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	حداکثر دمای کاری (°C)
16.4	20.8	پیوسته 310 ناپیوسته 425

## فرآیندهای ساخت و تولید تیتانیوم گرید ۷

### شکل‌دهی گرم و سرد تیتانیوم گرید ۷

تیتانیوم گرید ۷ را می‌توان با استفاده از فرآیندهای رایج در محدوده دمایی کوچک ۸۱۵ تا ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد تحت فورج قرار داد. به طور کلی انجام فرایند فورج برای تیتانیوم و آلیاژهایش در مقایسه با فولاد و آلیاژهای آلومینیوم، بسیار دشوارتر است. در اثر اجرای فورج یا آهنگری داغ، یک لایه بشدت سخت و نازک از اکسید تیتانیوم بر روی سطح فلز باقی می‌ماند. این لایه با نام پوسته آلفا (Alpha case) شناخته می‌شود و باید بعد از فرآیند شکل‌دهی، با استفاده از روش‌هایی همچون اسیدشویی در مخلوط نیتریک اسید و هیدروفلوئوریک اسید، حذف گردد.

آلیاژهای تیتانیوم معمولاً در شرایط آنیل شده عرضه می‌گردند و می‌توانند به آسانی با استفاده از تکنیک‌های استاندارد تحت شکل‌دهی سرد قرار بگیرند. در زمان انجام شکل‌دهی سرد، پوسته آلفا به وجود نمی‌آید و به همین دلیل نیازی به اسیدشویی نیست. البته برای حذف پیکاپ یا جذب فولاد کربنی جاسازی شده، اسیدشویی ضروری است زیرا در غیر این صورت، احتمال بروز خوردگی حفره‌ای وجود دارد.

## عملیات حرارتی تیتانیوم گرید ۷

عملیات حرارتی های مورد استفاده برای تیتانیوم گرید ۷، شامل دو عملیات آنیل و رها سازی هستند. نحوه انجام این عملیاتها بدین شرح است.

- آنیل: حرارت دهی در بازه دمایی ۶۵۰ الی ۷۶۰ درجه سانتی گراد (۱۲۰۲ تا ۱۴۰۰ درجه فارنهایت) به مدت ۶ دقیقه تا ۲ ساعت + سرد کردن در هوا
- رها سازی تنش: حرارت دهی در بازه دمایی ۴۸۰ تا ۵۹۵ درجه سانتی گراد (۸۹۸ الی ۱۱۰۳ درجه فارنهایت) به مدت ۱۵ دقیقه + سرد کردن در هوا

عملیات آنیل معمولاً با هدف از بین بردن تنش های باقیمانده در طول شکل دهی انجام می شود. چنانچه به هر دلیل در ساختار قطعه تنش باقیمانده وجود داشته باشد، از عملیات رها سازی تنش استفاده می گردد.

## جوشکاری تیتانیوم گرید ۷

تیتانیوم گرید ۷ جوش پذیری خوبی دارد و با روش های جوشکاری قوسی گاز تنگستن (GTAW) و جوشکاری قوسی گاز فلزی (GMAW) می توان آن را جوشکاری کرد. در جوشکاری گرید ۷، نیازی به استفاده از پیشگرم و عملیات تنش زدایی وجود ندارد.

پاکسازی سریع ناحیه اطراف جوش از هرگونه چربی و کثیفی و حتی آثار مداد و ماژیک، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. برای این پاکسازی می توان از روش های پاکسازی سایشی، حلالی و یا حتی اسیدشویی در مخلوط نیتریک و هیدروفلوئوریک اسید، استفاده نمود.

به منظور جلوگیری از اکسیداسیون شدید در حین سرمایش، لازم است تا در کنار گاز محافظ معمولی، از یک گاز محافظ Trailing یا دنباله دار نیز استفاده شود. فیلر مناسب جوشکاری تیتانیوم گرید ۷، فیلر AWS ERTi-7 میباشد. گاز محافظ مورد استفاده نباید هیدروژن، اکسیژن یا نیتروژن زیادی داشته باشد زیرا این عناصر می توانند در تیتانیوم حل شده و باعث ایجاد تردی گردند.

## کاربردها

آند، کاتد و قطعات سلول های شیمیایی  
تجهیزات نمک زدایی  
تجهیزات کنترل آلودگی هوا

استخراج هیدرومتالورژیکی  
تجهیزات فرآیندهای شیمیایی  
تجهیزات صنایع کاغذ و پالپ



تیتانیوم گرید ۱۱ همان گرید ۱ است به اضافه مقداری پالادیوم در ترکیب شیمیایی که موجب بهبود قابل ملاحظه مقاومت به خوردگی در محیط‌های قلیایی شامل کلریدها و جایی که pH پایین و دما بالا (حدود ۸۳ تا ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد) و در نتیجه کاربردی شدن این آلیاژ در چنین محیط‌هایی می‌گردد.

## ترکیب شیمیایی

<b>Titanium Ti 99.23–99.36</b>	<b>Palladium Pd 0.12 – 0.25</b>	<b>Iron Fe 0.20</b>	<b>Oxygen O 0.18</b>	<b>Carbon C 0.10</b>	<b>Nitrogen N 0.03</b>
<b>Hydrogen H 0.015</b>					

## ویژگی‌های کلیدی Ti CP Grade 11 – تیتانیوم خالص گرید ۱۱

- ارزان‌تر نسبت به دیگر آلیاژهای تیتانیوم
- دارای مقاومت به خوردگی بالاتر
- استحکام پایین‌تر
- غیر قابل عملیات حرارتی
- دارای قابلیت جوشکاری
- دارای قابلیت شکل‌پذیری بالا
- دارای مقاومت به خزش در دمای بالا

## استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
-	-	3.7225	R52250	-	-	-

## خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
241	345	25	103	70

## خواص فیزیکی

ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی (μΩ. m)	چگالی (g/cm <sup>۳</sup> )
520	1670	0.47	4.51

## خواص خوردگی

اسید سولفوریک (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	اسید هیدروکلریک (HCl)	اسید فسفریک (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	آب دریا (NaCl) (3.5%)	کلر (Cl)	اسید فرمیک (HCOOH)	آب (نمک)	آب
خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب

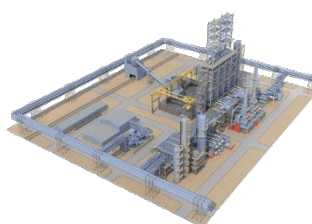
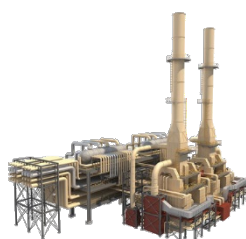
## خواص حرارتی و اکسیداسیون

ضریب انبساط حرارتی (μm/m.K)	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	حداقل دمای کاری (°C)	حداکثر دمای کاری (°C)
8.6	20.8	-	ناپیوسته 270 ناپیوسته 425

## کاربردها

پالایش و فرآوری هیدروکربنها  
استخراج هیدرومتالورژیکی  
تجهیزات صنایع کاغذ و پالپ

آند، کاتد و قطعات سلولهای الکتروشیمیایی  
تجهیزات فرآیندهای شیمیایی  
تجهیزات نمکزدایی



تیتانیوم گرید ۱۶ Ti-0.05Pd از نظر هزینه مقرون به صرفه‌تر بوده و نسخه کم پالادیوم تر گرید ۷ است. این آلیاژ از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی و مقاومت به خوردگی مشابه گرید ۷ است. وجود پالادیوم به افزایش مقاومت به خوردگی آلیاژ کمک می‌کند. گرید ۱۶ شکل‌پذیری خوبی دارد.

پالادیوم کمتر سبب کاهش هزینه‌ها بدون اثر قابل ملاحظه بر روی مقاومت به خوردگی شیباری است.

این گرید مقاومت به خوردگی عالی، استحکام کششی بسیار بالا و دوام خوبی دارد.

### ترکیب شیمیایی

<b>Titanium</b> Ti 99.23 – 99.27	<b>Iron</b> Fe 0.30	<b>Palladium</b> Pd 0.04 – 0.08	<b>Oxygen</b> O 0.25	<b>Carbon</b> C 0.10	<b>Nitrogen</b> N 0.03
<b>Hydrogen</b> H 0.015					

### ویژگی‌های کلیدی Ti Grade 16 – تیتانیوم خالص گرید ۱۶

- دارای مقاومت به خوردگی بالاتر
- استحکام پایین تر
- غیر قابل عملیات حرارتی
- دارای قابلیت جوشکاری
- شکل‌پذیری بالا
- دارای مقاومت به خزش در دمای بالا

### استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
-	-	-	R52420	-	-	-

### خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
485	350	28	103	150

### خواص فیزیکی

ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی (μΩ.cm)	چگالی (g/cm <sup>۳</sup> )
540	1885	17	4.51

## خواص خوردگی

اسید سولفوریک (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) متوسط	اسید هیدروکلریک (HCl) متوسط	اسید نیتریک (HNO <sub>3</sub> ) متوسط	آب دریا (NaCl) (3.5%) خیلی خوب	کلر (Cl) خیلی خوب	اسید فرمیک (HCOOH) خیلی خوب	اسید هیدروفلوئوریک (HF) خیلی خوب	اسید فسفریک (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ) متوسط
--	--------------------------------------	--	---	-------------------------	--------------------------------------	---	--

## خواص حرارتی و اکسیداسیون

ضریب انبساط حرارتی ( $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$ )	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	حداکثر دمای کاری (°C)	ناپیوسته 425	پیوسته
8/6	20.80			

## کاربردها

استخراج هیدرومتالورژیکی  
پالایش و فرآوری هیدروکربنها  
تجهیزات صنایع کاغذ و پالپ

آند، کاتد و قطعات سلولهای الکتروشیمیایی  
تجهیزات کنترل آلودگی هوا  
تجهیزات فرآیندهای شیمیایی  
تجهیزات نمکزدایی



دارای بهترین داکتیلیته و کار سرد با خواص مشابه گرید ۱ است. گرید ۱۷ مشابه گرید ۱۱ است، اما با مقدار پالادیوم کمتر در ترکیب شیمیایی است. این آلیاژ به سادگی قابل جوشکاری بوده و مقاومت به خوردگی بالایی در محیطهای اکسند قوی و قلیایی متوسط دارد. همچنین این آلیاژ قابل ریخته‌گری بوده و می‌تواند در تولید شیرها و اتصالات ریختگی مورد استفاده قرار گیرد.

## ترکیب شیمیایی

<b>Titanium</b> Ti 99.40 – 99.44	<b>Iron</b> Fe 0.20	<b>Palladium</b> Pd 0.04 – 0.08	<b>Oxygen</b> O 0.18	<b>Carbon</b> C 0.10	<b>Nitrogen</b> N 0.03
<b>Hydrogen</b> H 0.015					

## ویژگی‌های کلیدی Ti Grade 17 – تیتانیوم خالص گرید ۱۷

- ارزان‌تر نسبت به دیگر آلیاژهای تیتانیوم
- دارای مقاومت به خوردگی بالاتر
- استحکام پایین‌تر
- غیر قابل عملیات حرارتی
- دارای قابلیت جوشکاری
- شکل‌پذیری بالا
- دارای مقاومت به خزش در دمای بالا

## استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
			R52252			

## خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
345	220	37	103	115

## خواص فیزیکی

ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی (μΩ.cm)	چگالی (g/cm <sup>۳</sup> )
523	1660	18	4.51



## خواص خوردگی

اسید سولفوریک (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	اسید هیدروکلریک (HCl)	اسید نیتریک (HNO <sub>3</sub> )	آب دریا (NaCl) (3.5%)	کلر (Cl) خیلی خوب	اسید فرمیک (HCOOH) خیلی خوب	اسید هیدروفلوئوریک (HF)	اسید فسفریک (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )
---	-----------------------------	---------------------------------------	-----------------------------	-------------------------	--------------------------------------	-------------------------------	---

## خواص حرارتی و اکسیداسیون

ضریب انبساط حرارتی ( $\mu\text{m}/\text{m.K}$ )	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	حداکثر دمای کاری (°C)	ناپیوسته 425
8.6	20.80	پیوسته	

## کاربردها

استخراج هیدرومتالورژیکی  
پالایش و فرآوری هیدروکربنها  
تجهیزات صنایع کاغذ و پالپ

آند، کاتد و قطعات سلولهای الکتروشیمیایی  
تجهیزات کنترل آلودگی هوا  
تجهیزات فرآیندهای شیمیایی  
تجهیزات نمکزدایی



با (Ru ۱/۰) دارای خواص مکانیکی معادل تیتانیوم گرید ۲ است اما با مقاومت به خوردگی بالاتر از آن و معادل گریدهای ۷ و ۱۶ در محیط‌های اسیدی احیایی با  $PH < 1$  و دمای بالای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد.

## ترکیب شیمیایی

<b>Titanium Ti Balance</b>	<b>Molybdenum Mo 14.00-16.00</b>	<b>Aluminium Al 2.50-3.50</b>	<b>Niobium Nb 2.40-3.20</b>	<b>Iron Fe 0.40</b>	<b>Silicon Si 0.15-0.25</b>
<b>Oxygen O 0.17</b>	<b>Carbon C 0.05</b>	<b>Nitrogen N 0.05</b>	<b>Hydrogen H 0.15</b>		

## ویژگی‌های کلیدی تیتانیوم خالص Ti-CP-Grade 26 – تیتانیوم گرید ۲۶

- ارزان‌تر نسبت به دیگر آلیاژهای تیتانیوم
- دارای مقاومت به خوردگی بالاتر
- استحکام پایین‌تر
- غیر قابل عملیات حرارتی
- دارای قابلیت جوشکاری
- شکل‌پذیری بالا
- دارای مقاومت به خزش در دمای بالا

## استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
			R52404			Ti 0/1Ru

## خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
485	350	28	103	150

## خواص فیزیکی

ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی ( $\mu\Omega.cm$ )	چگالی (g/cm <sup>۳</sup> )
16.4	1670	0.18	4.51

## خواص خوردگی

اسید سولفوریک (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	اسید هیدروکلریک (HCl)	اسید نیتریک (HNO <sub>3</sub> )	آب دریا (NaCl) (3.5%) خیلی خوب	کلر (Cl) خیلی خوب	اسید فرمیک (HCOOH) خیلی خوب	اسید هیدروفلوئوریک (HF)	اسید فسفریک (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )
---	-----------------------------	---------------------------------------	---	-------------------------	--------------------------------------	-------------------------------	---

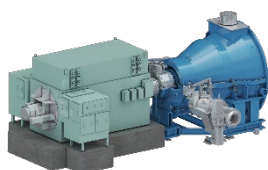
## خواص حرارتی و اکسیداسیون

ضریب انبساط حرارتی ( $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$ )	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	حداکثر دمای کاری (°C)	نایبوسته
8.6	20.80	پیوسته	نایبوسته

## کاربردها

استخراج هیدرومتالورژیکی  
پالایش و فرآوری هیدروکربنها  
تجهیزات صنایع کاغذ و پالپ

آند، کاتد و قطعات سلولهای الکتروشیمیایی  
تجهیزات کنترل آلودگی هوا  
تجهیزات فرآیندهای شیمیایی  
تجهیزات نمکزدایی



دارای قابلیت جوشکاری، شکل‌پذیری عالی با خواص مکانیکی معادل گرید ۱ می‌باشد. تیتانیوم گرید ۲۷ با ۱/۰ رتنیوم آلیاژی شده است که مقاومت به اسیدهای معمولی و خوردگی شیار در محیط‌هایی با  $pH < 1$  و دمای بالای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، مشابه‌گریدهای ۲ و ۱۷ ایجاد می‌کند.

## ترکیب شیمیایی

<b>Titanium Ti 99.34-99.40</b>	<b>Iron Fe 0.20</b>	<b>Ruthenium Ru 0.08-0.14</b>	<b>Oxygen O 0.18</b>	<b>Carbon C 0.08</b>	<b>Nitrogen N 0.03</b>
<b>Hydrogen H 0.015</b>					

## ویژگی‌های کلیدی تیتانیوم خالص Ti-CP-Grade 27 – تیتانیوم گرید ۲۷

- ارزان‌تر نسبت به دیگر آلیاژهای تیتانیوم
- دارای مقاومت به خوردگی بالاتر
- استحکام پایین‌تر
- غیر قابل عملیات حرارتی
- دارای قابلیت جوشکاری
- دارای قابلیت شکل‌پذیری بالا
- دارای مقاومت به خزش در دمای بالا

## استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
			R52254			Ti-0/1Ru TiRu-27

## خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
345	220	37	103	115

## خواص فیزیکی

ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی ( $\mu\Omega.cm$ )	چگالی (g/cm <sup>۳</sup> )
523	1670	0.18	4.51

## خواص خوردگی

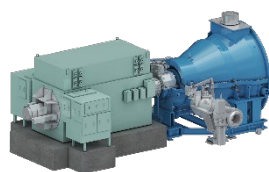
اسید سولفوریک (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	اسید هیدروکلریک (HCl)	اسید نیتریک (HNO <sub>3</sub> )	آب دریا (NaCl) (3.5%)	کلر (Cl) خیلی خوب	اسید فرمیک (HCOOH) خیلی خوب	اسید هیدروفلوئوریک (HF)	اسید فسفریک (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )
---	-----------------------------	---------------------------------------	-----------------------------	-------------------------	--------------------------------------	-------------------------------	---

## خواص حرارتی و اکسیداسیون

ضریب انبساط حرارتی ( $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$ )	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	حداکثر دمای کاری (°C)	ناپيوسته 425
8.6	20.80	پيوسته	

## کاربردها

استخراج هیدرومتالورژیکی  
پالایش و فرآوری هیدروکربنها  
تجهیزات صنایع کاغذ و پالپ



آند، کاتد و قطعات سلولهای الکتروشیمیایی  
تجهیزات فرآیندهای شیمیایی  
تجهیزات نمکزدایی

آلیاژ تیتانیوم ۶۲۴۲ یا Ti6Al2Sn4Zr2Mo یک آلیاژ شبه آلفا (near alpha) و جوش‌پذیر است که خواص مکانیکی خیلی خوبی دارد. این آلیاژ استحکام، پایداری و مقاومت خزشی بسیار مناسبی تا دماهای حدود ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد از خود ارائه می‌دهد. این آلیاژ تیتانیومی مقاومت به خوردگی خیلی خوبی دارد و جوش‌پذیری آن هم قابل قبول است. آلیاژ تیتانیوم ۶۲۴۲ برای محصولات نورد و فورج شده در موتورهای جت و اسکلت هواپیما جایی که استحکام، تافنس و مقاومت به خزش بالا مورد نیاز است، استفاده می‌شود.

این آلیاژ در شکل‌ها و فرم‌های مختلفی مثل ورقه، صفحه و میله‌های گرد می‌تواند عرضه گردد. چگالی آلیاژ Ti-6242 مشابه سایر تیتانیوم‌های تجاری و آلیاژی است و نسبت استحکام به وزن یا استحکام ویژه بالایی دارد. سختی این آلیاژ در حدود 34 HRC است.

آلیاژ Ti-6242 می‌تواند در بازه‌های زمانی طولانی در دماهای بالا، مقاوم باشد و این موضوع یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های آن محسوب می‌شود. این آلیاژ پلاستیسیته خوبی دارد و در مقابل خستگی در دمای اتاق و دماهای بالا، می‌تواند به خوبی مقاومت کند.

### ترکیب شیمیایی

<b>Titanium Ti Balance</b>	<b>Aluminium Al 5.50 – 6.50</b>	<b>Zirconium Zr 3.60-4.40</b>	<b>Molybdenum Mo 1.80-2.20</b>	<b>Tin Sn 1.80-2.20</b>	<b>Iron Fe 0.10</b>
<b>Silicon Si 0.06-0.10</b>	<b>Oxygen O 0.15</b>	<b>Hydrogen H 0.125</b>	<b>Carbon C 0.10</b>	<b>Nitrogen N 0.05</b>	

### ویژگی‌های کلیدی آلیاژ تیتانیوم ۶۲۴۲

- خواص مکانیکی عالی
- پایداری مکانیکی عالی
- مقاومت خزشی عالی
- مقاومت به خوردگی خوب
- قابلیت جوش‌پذیری
- نسبت استحکام به وزن بالا
- پلاستیسیته مناسب
- مقاومت خوب در برابر خستگی در دمای اتاق و دمای بالا

### استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
-	-	3.7145 3.7164	R54620	-	-	Ti 6-2-4-2

## خواص مکانیکی

سختی (HV)	مدول الاستیک (GPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	استحکام تسلیم (MPa)	استحکام کششی (MPa)
34	118	13	1050	1110

## خواص فیزیکی

چگالی (g/cm <sup>3</sup> )	مقاومت الکتریکی (μΩ. m)	نقطه ذوب (°C)	ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)
4.54	1.85-1.90	1705	460

## خواص خوردگی

به طور کلی تیتانیوم و آلیاژهای آن مثل Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-Si، مقاومت خیلی خوبی در مقابل خوردگی دارند و دلیل اصلی این موضوع، تشکیل لایه اکسیدی محافظ بر روی آن‌ها می‌باشد. این لایه از لحاظ شیمیایی، بسیار پایدار است و چسبندگی زیادی دارد و می‌تواند از سطح فلز و آلیاژ به صورت مداوم در برابر خوردگی محافظت کند. تیتانیوم به صورت ذاتی فلز واکنش‌پذیر و فعالی محسوب می‌شود و تمایل زیادی به واکنش با اکسیژن دارد. چنین ویژگی باعث می‌شود که زمانی که فلز در معرض هوا یا رطوبت قرار بگیرد، به سرعت و به صورت خود به خودی لایه اکسیدی Passive یا غیرفعال و محافظ بر روی سطح آن تشکیل گردد. نکته جالب‌تر، قابلیت بازسازی سریع لایه اکسیدی می‌باشد که در صورت آسیب، حتی با وجود مقدار اندکی آب یا رطوبت خود را ترمیم کند. آلیاژ تیتانیوم ۶۲۴۲ نیز به دلیل تشکیل لایه اکسیدی به خوبی می‌تواند در برابر خوردگی مقاومت کند. مشکل اصلی در خوردگی آلیاژهای تیتانیوم، ضعف آن‌ها در خوردگی شیاری است که در محیط‌ها و شرایط راکد رخ می‌دهد. عوامل مختلفی در مقاومت به خوردگی آلیاژهای تیتانیوم مثل آلیاژ Ti-6242 نقش دارند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، عناصر آلیاژی است.

## خواص حرارتی و اکسیداسیون

ضریب انبساط حرارتی (1/mm.°C)	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	حداکثر دمای کاری (°C)	ناپوسته	پیوسته
$7.7 \times 10^{-6}$	6.92	310	450	310

## فرآیندهای ساخت و تولید آلیاژ تیتانیوم ۶۲۴۲

### ماشینکاری آلیاژ تیتانیوم ۶۲۴۲

ماشینکاری تیتانیوم و آلیاژهای مختلف آن از جمله Ti-6242 شباهت زیادی به ماشینکاری فولادهای زنگ‌نزن دارند. یکی از وجه اشتراک‌های مهم بین تیتانیوم و فولاد زنگ‌نزن، هدایت یا رسانایی حرارتی پایین است. در اثر این موضوع، حرارت در قطعه کار در زمان ماشینکاری متجمع می‌شود و در نتیجه احتمال صدمه رسیدن به آن وجود دارد. به همین دلیل بایستی در ماشینکاری تیتانیوم‌های خالص و آلیاژی، از مواد خنک‌کننده استفاده شود. علاوه بر مواد خنک‌کننده، رعایت برخی فاکتورها می‌تواند به بهبود ماشینکاری گریدهای مختلف تیتانیوم خالص و آلیاژی کمک کند. در ادامه به بررسی این فاکتورها می‌پردازیم. استفاده از ابزار تیز: در صورت بهره‌گیری از ابزار تیز، احتمال تجمع حرارت و وقوع پدیده گالینگ به حداقل می‌رسد. پدیده گالینگ یکی از خطرات احتمالی در زمان تماس دو فلز است که می‌تواند ویژگی‌های قطعه کار را تحت تأثیر قرار دهد. بهره‌گیری از میزان زیاد سیال برش: در چنین حالتی، حذف حرارت به بیشترین میزان خود می‌رسد. بهره‌گیری از نرخ تغذیه زیاد و پرهیز از تغذیه‌گذاری منقطع: به عبارتی نباید در تغذیه‌گذاری فاصله وجود داشته باشد. رعایت مسائل ایمنی: براده‌های حاصل از ماشینکاری تیتانیوم، قابلیت اشتعال دارند و این موضوع می‌تواند به شدت خطرناک باشد. بنابراین رعایت مسائل و نکات ایمنی در ماشینکاری آلیاژهای تیتانیوم بسیار مهم است.

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، آلیاژ تیتانیوم ۶۲۴۲، یک آلیاژ جوش‌پذیر است و این موضوع یکی از ویژگی‌های مهم آن محسوب می‌شود. متداول‌ترین تکنیک برای جوشکاری تیتانیوم، تکنیک جوشکاری قوسی گاز تنگستن یا GTAW است. روش جوشکاری قوسی گاز فلزی نیز در جایگاه دوم قرار داد. روش‌های دیگری همچون جوشکاری لیز، جوشکاری ذوبی و اتصال نفوذی برای تیتانیوم و آلیاژهایش مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

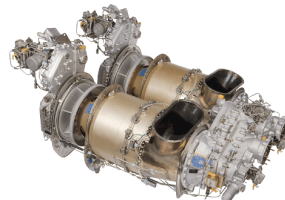
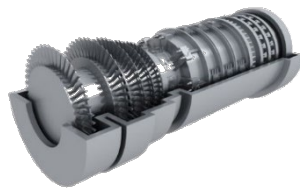
به طور کلی تکنیک‌های جوشکاری تیتانیوم، مشابه با تکنیک‌های جوشکاری مورد استفاده برای فولادهای زنگ‌نزن و آلیاژهای نیکل است.

به منظور دستیابی به نتیجه مناسب در جوشکاری آلیاژهای تیتانیوم مثل Ti-6242، رعایت برخی از الزامات اهمیت بسیار زیادی دارد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، تمیز بودن سطح و بهره‌گیری از گاز محافظ خنثی است. توجه داشته باشید که تیتانیوم مذاب می‌تواند به راحتی با اکسیژن، نیتروژن و هیدروژن واکنش دهند و قرارگیری این عناصر در هوا یا آلودگی‌های سطحی در حین جوشکاری، ممکن است موجب ایجاد اثرات منفی بر خواص فلز جوش گردد. به همین دلیل استفاده از گاز محافظ خنثی، یک امر ضروری است.

چنانچه بعد از جوشکاری، پوسته آلفا در سطح قطعه به وجود آید، باید حتماً آن را برطرف نمود. باید توجه داشت که برخی از فرایندهای جوشکاری مثل جوشکاری زیرپودری برای جوشکاری تیتانیوم و آلیاژهای آن، گزینه مناسبی محسوب نمی‌شوند. علاوه بر این، تیتانیوم را نمی‌توان به اکثر فلزات دیگر اتصال داد زیرا ممکن است ترکیبات فلزی ترد در این حالت به وجود بیایند. پیامد چنین اتفاقی، تشکیل ترک در ناحیه جوش است.

### کاربردها

دیسک، روتور و پره‌های توربین گازی و جت  
 ترمز هواپیماهای مسافربری  
 قطعات قسمت داغ توربین‌های جت  
 قطعات و شیر موتور خودروهای مسابقه  
 قطعات موتور هلی‌کوپتر





آلیاژ تیتانیوم ۸۱۱، یکی از آلیاژهای مهم تیتانیوم است که در دسته شبه آلفاها قرار دارد و مقاومت خزشی فوق‌العاده‌ای از خود نشان می‌دهد. این آلیاژ می‌تواند تا دماهای حدود ۸۴۲ درجه فارنهایت (۴۵۰ درجه سانتی‌گراد) پایداری حرارتی مناسبی داشته باشد. آلیاژ تیتانیوم ۸۱۱ در بین تمام آلیاژهای تیتانیوم، کمترین میزان چگالی و بیشترین میزان مدول یانگ را دارا است. بنابراین نسبت مدول به چگالی بسیار زیادی دارد.

تافنس خوب آلیاژ تیتانیوم Ti-811 هم همیشه مدنظر است. وجود حدود ۸ درصد آلومینیوم، تأثیر به‌سزایی در بهبود مقاومت خزشی آلیاژ Ti-8-1-1 دارد. این عنصر همچنین به بهبود مقاومت اکسیداسیون هم کمک می‌کند. از آلیاژ تیتانیوم ۸۱۱ در ساخت قطعات مختلف توربین گازی مثل دیسک و پره کمپرسور استفاده می‌شود.

### ترکیب شیمیایی

<b>Titanium Ti Balance</b>	<b>Aluminium Al 7.50-8.30</b>	<b>Molybdenum Mo 0.70 – 1.25</b>	<b>Vanadium V 0.75 – 1.25</b>	<b>Iron Fe 0.15</b>	<b>Oxygen O 0.06-0.12</b>
<b>Carbon C 0.08</b>	<b>Nitrogen N 0.05</b>	<b>Hydrogen H 0.0125</b>			

### ویژگی‌های کلیدی Ti-811 – آلیاژ تیتانیوم ۸۱۱

- مقاومت خزشی فوق‌العاده
- مقاومت به خوردگی مناسب
- استحکام بالا
- پایداری حرارتی مطلوب تا دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد (۸۴۲ درجه فارنهایت)
- جوش‌پذیری خوب
- مقاومت به خستگی خوب
- تافنس یا چقرمگی مناسب
- بیشترین میزان مدول یانگ در بین تمام آلیاژهای تیتانیوم
- کمترین میزان چگالی در بین تمام آلیاژهای تیتانیوم
- نسبت مدول به چگالی بالا
- نسبت استحکام به چگالی بالا
- غیر قابل پیرسازی
- قابلیت استفاده در شرایط دمای بالا

### خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
896	827	10	118	30

## خواص فیزیکی

چگالی ( $\text{g/cm}^3$ )	مقاومت الکتریکی ( $\mu\Omega \cdot \text{m}$ )	نقطه ذوب ( $^{\circ}\text{C}$ )	ظرفیت گرمایی ویژه ( $\text{J/Kg} \cdot ^{\circ}\text{K}$ )
4.37	1.85-1.90	1705	460

## خواص خوردگی

تمام آلیاژهای تیتانیوم و همچنین گریدهای خالص، مقاومت به خوردگی خوبی دارند زیرا به محض قرارگیری در معرض هوا یا رطوبت، لایه اکسیدی مقاوم و مداومی بر روی آنها تشکیل می‌گردد. عناصر آلیاژی نیز می‌توانند بر بهبود مقاومت به خوردگی اثر بگذارند. به طور مثال مولیبدن در افزایش مقاومت در برابر سولفید هیدروژن اثر می‌گذارد. البته مقدار مولیبدن در آلیاژ Ti-8Al-1Mo-1V به حدی نیست که بر روی مقاومت به خوردگی تأثیر خاصی داشته باشد.

## خواص حرارتی و اکسیداسیون

ضریب انبساط حرارتی ( $\mu\text{m/m.K}$ )	ضریب هدایت حرارتی ( $\text{W/m.K}$ )	حداکثر دمای کاری ( $^{\circ}\text{C}$ )	ناپيوسته
8.8	7.2	پیوسته 280	400

## فرآیندهای ساخت و تولید آلیاژ تیتانیوم ۸۱۱

### شکل‌دهی گرم و سرد آلیاژ تیتانیوم ۸۱۱

تیتانیوم آلیاژی Ti-8-1-1 قابلیت شکل‌پذیری دارد و امکان شکل‌دهی گرم و سرد آن، فراهم است. در شکل‌دهی گرم این آلیاژ، روش‌هایی همچون هیدروپرس، کنشش و Drop hammer مورد استفاده قرار می‌گیرد. پاسخ آلیاژ تیتانیوم ۸۱۱ در مقابل روش‌های مذکور، مشابه با پاسخ فولادهای زنگ‌نزن سری ۳۰۰ است. شکل‌دهی گرم باعث کاهش برگشت فنری (springback) و نیروی مورد نیاز برای شکل‌دهی در آلیاژ Ti-8-1-1 می‌شود و از طرفی در افزایش انعطاف‌پذیری کلی آلیاژ، تأثیر بسیار مثبتی دارد.

مشخصات شکل‌دهی سرد آلیاژ Ti-8Al-1Mo-1V مشابه با مشخصات شکل‌دهی سرد فولادهای زنگ‌نزن استنیتی است. در فرآیندهای شکل‌دهی چندگانه، توصیه می‌شود که از عملیات رهاسازی تنش میانی برای جبران تمایل آلیاژ به کارسختی، استفاده گردد. عملیات حرارتی آنیل بعد از شکل‌دهی نیز به منظور به دست آوردن مجدد خواص و مشخصات بهینه آلیاژ، مورد نیاز می‌باشد.

باید توجه داشت که شکل‌دهی و تبدیل آلیاژ تیتانیوم ۸۱۱ به مقاطع بزرگ، کار دشواری محسوب می‌شود.

### عملیات حرارتی آلیاژ تیتانیوم ۸۱۱

افزودن مقادیر اندکی از عناصر پایدارکننده بتا، موجب گسترش محدوده دمایی آلفا-بتا به اندازه کافی می‌شود و شرایط را برای کار گرم آلفا/بتا و بتا فراهم می‌کند. در آلیاژهای شبه آلفا مثل آلیاژ تیتانیوم ۸۱۱، مقدار کمی از فاز بتا وجود دارد و به همین دلیل رفتار آنها مشابه آلیاژهای تمام آلفا است و شباهت کمتری به آلیاژهای  $\alpha/\beta$  دارند. با این وجود، استحکام آلیاژهای شبه آلفا نسبت به تمام آلفاها، بیشتر است و این موضوع به دلیل تشکیل فاز آلفا پریم ( $\alpha'$  مارتنزیتی یا  $\alpha/\alpha'$  در حین عملیات حرارتی می‌باشد. بسیاری از آلیاژهای شبه آلفا در گستره پایداری  $\alpha+\beta$  تحت عملیات ترمومکانیکی قرار می‌گیرند. آلیاژ تیتانیوم ۸۱۱ از جمله مهم‌ترین این موارد است.

به طور کلی عملیات حرارتی‌های مورد استفاده برای آلیاژهای تیتانیوم شبه آلفا به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند که بدین شرح هستند:

آلیاژهایی که در محدوده پایداری فاز  $\alpha+\beta$  تحت عملیات حرارتی قرار می‌گیرند. آلیاژهایی که در محدوده پایداری فاز  $\beta$  عملیات حرارتی می‌شود.

انجام عملیات حرارتی از محدوده  $\alpha+\beta$  زمانی امکان‌پذیر است که در آلیاژ به میزان کافی پایدارکننده فاز آلفا بدون افت شدید در انعطاف‌پذیری وجود داشته باشد. در آلیاژهایی مانند تیتانیوم ۸۱۱، مقدار اندکی از عناصر پایدارکننده بتا مثل وانادیوم و مولیبدن به ساختار اضافه می‌شوند تا رفتار آلیاژ را نسبت به عملیات حرارتی بهبود دهند.

### جوشکاری آلیاژ تیتانیوم ۸۱۱

آلیاژ تیتانیوم ۸۱۱ قابلیت جوشکاری خوبی دارد و این موضوع یکی از ویژگی‌های مهم آن محسوب می‌شود. متداول‌ترین و مرسوم‌ترین روش برای جوشکاری تیتانیوم، روش جوشکاری قوسی گاز تنگستن (GTAW) و جوشکاری قوسی گاز فلزی (GMAW) است. البته روش‌های دیگری همچون جوشکاری لیزر، جوشکاری ذوبی، جوشکاری پرتو الکترونی و اتصال نفوذی نیز در این خصوص مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

با توجه به اینکه تیتانیوم تمایل زیادی به واکنش با اکسیژن، نیتروژن و هیدروژن دارد، لذا باید از اتمسفر خنثی در جوشکاری آن استفاده شود. در صورت واکنش تیتانیوم با اکسیژن، یک لایه اکسیدی ترد به نام پوسته آلفا بر روی سطح آن به وجود می‌آید که می‌تواند موجب تضعیف خواص گردد. همچنین تردی هیدروژنی نیز ممکن است در اثر تماس تیتانیوم با هیدروژن رخ دهد. تمیز کردن قطعه آلیاژی قبل و بعد از جوشکاری نیز اهمیت بسیار بالایی برخوردار است.

### کاربردها

سازه‌های اصلی بدنه تجهیزات هوایی  
دیسک و روتور موتورهای جت

تیغه‌های کمپرسور در توربین گازی  
قطعات چرخشی در توربین گازی



آلیاژ تیتانیوم گرید ۶ که با عنوان Ti 5Al 2.5Sn نیز شناخته می‌شود، یکی از مهم ترین گریدهای آلیاژ تیتانیوم است که استحکام بالایی دارد و عموماً برای ساخت ایرفریم و موتور جت مورد استفاده قرار می‌گیرد. آلیاژ تیتانیوم گرید ۶ از جوش‌پذیری بسیار مناسبی برخوردار است. این آلیاژ همچنین پایداری مطلوبی دارد و در مقابل اکسیداسیون در دماهای بالا (۶۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه فارنهایت) پایداری خیلی خوبی از خود نشان می‌دهد. این آلیاژ به اشکال و فرم‌های مختلفی از جمله ورقه، میله، شمش، صفحه، سیم، ریخته‌گری و قطعات اکسترود شده در دسترس می‌باشد. آلیاژ تیتانیوم گرید ۶ در دسته آلیاژهای آلفا تیتانیوم قرار می‌گیرد. این آلیاژ قابل پیرسختی نیست و در مقابل خطرانی مثل خزش نیز مقاومت مطلوبی از خود نشان می‌دهد.

عنصر آلومینیوم در پایداری سازی فاز آلفا دارای نقش بسیار مهمی می‌باشد و به همین دلیل آلیاژ تیتانیوم گرید ۶، نوعی آلیاژ آلفا است. قلع به عنوان یک عنصر آلیاژی، تأثیری در پایداری سازی فازهای آلفا و بتا ندارد.

### ترکیب شیمیایی

<b>Titanium Ti Balance</b>	<b>Aluminium Al 4.50 – 5.75</b>	<b>Tin Sn 2.00 – 3.00</b>	<b>Iron Fe 0.50</b>	<b>Oxygen O 0.20</b>	<b>Carbon C 0.10</b>
<b>Nitrogen N 0.05</b>	<b>Hydrogen H 0.02</b>				

### ویژگی‌های کلیدی Ti CP Grade 6 – تیتانیوم خالص گرید ۶

- استحکام بالاتر نسبت به تیتانیوم خالص تجاری
- دارای مقاومت به خوردگی کمتر نسبت به تیتانیوم غیر آلیاژی
- قابل جوشکاری
- دارای قابلیت عملیات حرارتی
- دارای قابلیت جوشکاری و پایداری و مقاومت به اکسیداسیون در دماهای بالا
- فورج این آلیاژ به دلیل محدوده باریک فورج‌پذیری آن و افت شدید استحکام تسلیم بسیار مشکل است

### استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
-	Ti-Grade6	3.7115	R50520	-	-	Ti 5 Al 2.5 Sn

### خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
970	900	16	110	330-350

## خواص فیزیکی

چگالی (g/cm <sup>3</sup> )	مقاومت الکتریکی (10 <sup>-8</sup> Ω. m)	نقطه ذوب (°C)	ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)
4.48	160-170	1590-1607	557

## خواص خوردگی

به طور کلی آلیاژهای تیتانیوم مثل آلیاژ تیتانیوم گرید ۶، مقاومت بسیار خوبی در مقابل طیف وسیعی از محیط ها و شرایط شیمیایی دارند و دلیل اصلی این موضوع، وجود یک لایه اکسید محافظ و نامرئی است که ضخامت اندکی هم دارد. این لایه اکسیدی عموماً به صورت TiO<sub>2</sub> است و چسبندگی زیادی نیز دارد. از دیدگاه شیمیایی، لایه اکسیدی محافظ اگر به دلایلی همچون صدمات مکانیکی آسیب ببیند، در صورت وجود مقدار اندکی اکسیژن و یا رطوبت می‌تواند در کوتاه‌ترین زمان ممکن خود را ترمیم سازد.

وجود لایه اکسیدی محافظ بر روی سطح آلیاژهای تیتانیوم، می‌تواند موجب بهبود مقاومت در شرایط احیایی ملایم تا اکسیداسیون شدید شود. این لایه همچنین در افزایش مقاومت در محیط‌های بسیار اسیدی تا نسبتاً قلیایی حتی در دماهای بالا، تأثیر مثبتی دارد.

آلیاژهای تیتانیوم مقاومت فوق‌العاده‌ای در برابر فرسایش، خوردگی فرسایشی، پدیده کاویناسیون و تلاطم سیال‌ها دارند. از طرفی مقاومت مفید آلیاژهای تیتانیوم در محیط‌های اسیدی بسیار قوی و بسیار احیایی مانند محلول‌های با غلظت متوسط یا زیاد حاوی هیدروبرمیک اسید (HBr)، هیدروکلریک اسید (HCl)، سولفوریک اسید (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)، فسفریک اسید (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) و همچنین محلول هیدروفلوئوریک اسید (HF) در تمامی غلظت‌ها، محدود است. به طور کلی آلیاژهای تیتانیوم عموماً در طیف وسیعی از محیط‌های شیمیایی و دماها و از این بابت نسبت به برخی فولادهای زنگ‌نزن، آلومینیوم، مس و آلیاژهای پایه نیکل عملکرد بهتری دارد.

## خواص حرارتی و اکسیداسیون

ضریب انبساط حرارتی (μm/m.K)	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	حد اکثر دمای کاری (°C)	ناپيوسته	پيوسته
9.27	7.8	600	450	600

## فرآیندهای ساخت و تولید تیتانیوم گرید ۶

### عملیات حرارتی تیتانیوم گرید ۶

عملیات حرارتی‌های مورد استفاده برای آلیاژ تیتانیوم گرید ۶ شامل عملیات آنیل و رهاسازی تنش هستند. نحوه انجام این عملیات‌ها در جدول ۲، آورده شده است. توجه داشته باشید که آلیاژ Ti grade 6 قابلیت عملیات پیرسختی ندارد.

عملیات حرارتی مورد استفاده برای تیتانیوم گرید ۶ عبارت اند از:

- آنیل: حرارت‌دهی در دمای ۷۱۸ تا ۸۴۳ درجه سانتی‌گراد (۱۳۲۵ تا ۱۵۵۰ درجه فارنهایت) و نگهداری به مدت ۱۰ دقیقه تا ۴ ساعت + سرد کردن در هوا
- رهاسازی تنش: حرارت‌دهی در دمای ۵۳۸ الی ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد (۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه فارنهایت) و نگهداری به مدت ۱۵ دقیقه تا ۱ ساعت + سرد کردن در هوا

عملیات فورج این آلیاژ نیز در بازه دمایی ۱۰۱۰ تا ۱۰۳۰ درجه سانتی‌گراد (۱۸۵۰ الی ۱۹۰۰ درجه فارنهایت) آغاز می‌گردد و در گستره دمایی ۹۵۴ الی ۱۰۱۰ درجه سانتی‌گراد (۱۷۵۰ تا ۱۸۵۰ درجه فارنهایت) پایان می‌یابد.

در جوشکاری گریدهای مختلف تیتانیوم تجاری خالص و همچنین آلیاژهای آن، ویژگی‌ها و مشخصات ماشینکاری یکسانی ندارند. با این حال مشخصات ماشینکاری آن‌ها، غالباً شبیه به فولادهای زنگ‌نزن است. وجود رسانایی حرارتی پایین در تیتانیوم (مشابه فولاد زنگ‌نزن) موجب جلوگیری از اتلاف و عبور گرما از قطعه کار می‌شود؛ به همین دلیل باید در ماشینکاری آن از خنک‌کننده استفاده کرد.

برای ماشینکاری موفق آلیاژهای تیتانیوم، رعایت برخی نکات اهمیت زیادی دارد. این نکات بدین شرح هستند:

- استفاده از ابزار تیز به منظور به حداقل رساندن تجمع گرما و گالینگ (این پدیده در اثر سایش و تماس فلزات رخ می‌دهد و تأثیر منفی بر خواص دارد).
- استفاده از تجهیزات صلب بین ابزار و قطعه کار به منظور مقابله با خمش قطعه کار
- بهره‌گیری از سیال برش به میزان زیاد با هدف به حداکثر رساندن حذف گرما
- استفاده از سرعت برش کم
- بهره‌گیری از نرخ تغذیه بالا
- پرهیز از وقفه در تغذیه‌گذاری
- حذف منظم چرخش‌ها از ماشینکاری

### کاربردها

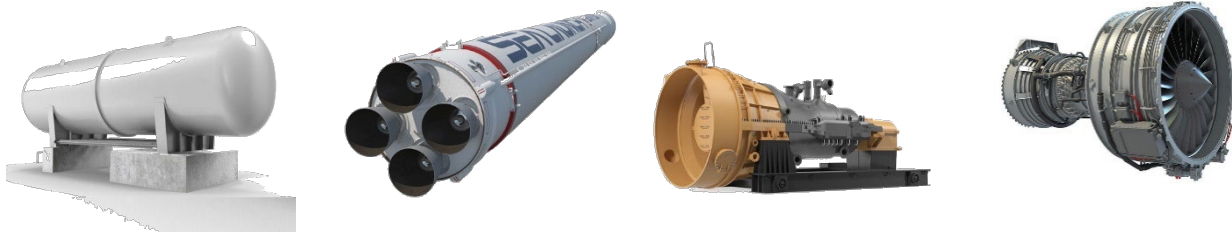
آلیاژ  $Ti-5Al-2.5Sn$  عموماً در شرایط آنیل مورد استفاده می‌شود. این آلیاژ برای کاربردهای برودتی نیز گزینه مناسبی است زیرا چقرمگی شکست و انعطاف‌پذیری خوبی در دماهای پایین دارد. با توجه به این ویژگی‌ها، آلیاژ تیتانیوم گرید ۶، انتخاب بسیار مناسبی برای ساخت قسمت هیدروژنی توربو پمپ‌های سوخت فشار بالا در شاتل‌های فضایی است. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، آلیاژ  $Ti$  Grade 6 در ساخت ایرفریم و موتور جت نیز استفاده می‌شود و دلیل این موضوع، جوش‌پذیری عالی و استحکام مطلوب آن در دماهای بالا است. گونه دیگری از آلیاژ تیتانیوم گرید ۶ وجود دارد که دارای عناصر بین‌نشین کمتری است و اصطلاحاً به آن  $Ti$  grade 6 Eli می‌گویند. این گونه عموماً در ساخت وسایل نقلیه فضایی و محافظ سوخت گاز مایع راکت‌ها کاربرد دارد.

قطعات توربین گازی

پره‌های توربو کمپرسور جت

پره‌های توربین بخار

تجهیزات فوق سرد



## Titanium Grade 9

## تیتانیوم آلیاژی گرید ۹

تیتانیوم گرید ۹ یک آلیاژ آلفا است که استحکام‌دهی آن توسط کرنش سختی انجام می‌گیرد. این آلیاژ داراری انعطاف‌پذیری و تافنس خوبی است. از آن در تولید محصولات مدور از مسیرهای عبور سیال در هواپیما تا اسکلت دوچرخه استفاده می‌شود. تیتانیوم گرید ۹ دارای استحکام متوسط مابین گریدهای ۴ و ۵ است. این گرید دارای مقاومت به خوردگی عالی است و در هواپیما و کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تیتانیوم گرید ۹ می‌تواند در دماهای بالاتر از گرید ۱ تا ۴ استفاده شود و خواص نورد سرد خوبی دارد.

### ترکیب شیمیایی

<b>Titanium Ti Balance</b>	<b>Aluminium Al 2.50 – 3.50</b>	<b>Vanadium V 2.00 – 3.00</b>	<b>Iron Fe 0.25</b>	<b>Oxygen O 0.15</b>	<b>Carbon C 0.10</b>
<b>Nitrogen N 0.03</b>	<b>Hydrogen H 0.015</b>				

### ویژگی‌های کلیدی Ti CP Grade 9 – تیتانیوم آلیاژی گرید ۹

- استحکام بالاتر نسبت به تیتانیوم خالص تجاری
- مقاومت به خوردگی کمتر از تیتانیوم غیر آلیاژی
- قابل جوشکاری
- غیر قابل عملیات حرارتی
- شکل‌پذیری سرد عالی

### استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
-	-	3.7195	R56320	-	-	Ti-3-2.5 Ti 3Al 2.5V

### خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
740	610	17	107	260-320

### خواص فیزیکی

ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی (μΩ.cm)	چگالی (g/cm <sup>۳</sup> )
427	1700	12.6	4.48

ضریب انبساط حرارتی (mm/m.°C)	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	حداکثر دمای کاری (°C)	
7.9	7.6	پیوسته 285	ناپیوسته 400

کاربردها

وسایل مصرفی تزئینی  
خطوط هیدرولیک فشار بالا  
قطعات کشتی‌های نیروی دریایی

قطعات لوله و هیدرولیک هواپیما  
تجهیزات ورزشی  
تولید ساختارهای سلولی





## Titanium Grade 12

## تیتانیوم آلیاژی گرید ۱۲

آلیاژ تیتانیوم گرید ۱۲ (Ti-12) یکی از انواع آلیاژهای تیتانیوم است که به طور خاص برای خواص مکانیکی و مقاومت به خوردگی آن در محیط‌های مختلف کاربرد دارد. این آلیاژ به عنوان یک آلیاژ با مقادیر متوسطی از عناصر دیگر نظیر مولیبدن و آهن ساخته می‌شود که ترکیب آن ویژگی‌های خاصی از جمله استحکام بالا و مقاومت به خوردگی را فراهم می‌آورد.

### ترکیب شیمیایی

<b>Titanium Ti Balance</b>	<b>Nickel Ni 0.60 – 0.90</b>	<b>Molybdenum Mo 0.20 – 0.40</b>	<b>Iron Fe 0.30</b>	<b>Oxygen O 0.25</b>	<b>Carbon C 0.10</b>
<b>Nitrogen N 0.03</b>	<b>Hydrogen H 0.015</b>				

### ویژگی‌های کلیدی Ti Grade 12 – تیتانیوم آلیاژی گرید ۱۲

- دارای استحکام خزشی بهتر نسبت به آلیاژهای آل‌فا
- دارای استحکام نسبتاً بالا تا دمای نزدیک به ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد
- انعطاف‌پذیری نسبتاً خوب در دمای اتاق
- تافنس بالا
- قابلیت جوشکاری
- مقاومت خوب نسبت به محیط‌های آب شور

### استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
-	Titan Grade 12	3.7105	R53400	-	-	Ti 3Al 1/5Mn

### خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
610	465	22	103	170 – 240

### خواص فیزیکی

ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی (μΩ. m)	چگالی (g/cm³)
520	1660	0.52	4.51

## خواص خوردگی

دارای مقاومت به خوردگی شیری فوق‌العاده‌ای است. این آلیاژ در محیط‌های اکسندۀ قوی و احیایی ملایم بسیار مقاوم به خوردگی است. گرید ۱۲ دارای حدود ۳/۰ درصد مولیبدن و ۸/۰ درصد نیکل است که مقاومت به خوردگی را افزایش می‌دهد.

اسید	اسید	اسید	آب دریا	کلر	اسید	آب (نمک)	آب
سولفوریک (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	هیدروکلریک (HCl)	نیتریک (HNO <sub>3</sub> )	NaCl ) (3.5%)	(Cl)	فسفریک (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	خیلی خوب	خیلی خوب
خیلی خوب	خوب	خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب		خیلی خوب

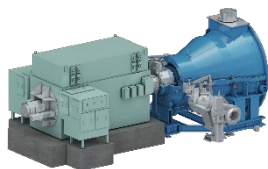
## خواص حرارتی و اکسیداسیون

ضریب انبساط حرارتی ( $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$ )	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	حداکثر دمای کاری (°C)	ناپیوسته
8.6	19	پیوسته 180	316

## کاربردها

استخراج هیدرومتالورژیکی  
پالایش و فرآوری هیدروکربن‌ها  
حفاری و تولید فراساحلی هیدروکربن‌ها

تجهیزات فرآیندهای شیمیایی  
تجهیزات نمک‌زدایی  
تجهیزات استخراج انرژی زمین گرمایی



در دماهای بالا تا حدود ۶۰۰ درجه سانتیگراد مورد استفاده قرار می‌گیرد و در ابتدا در موتور هواپیما به کار رفت. این آلیاژ در زمره آلیاژهای نزدیک آلفا، قابل جوشکاری است و دارای یک میکروساختار آلفا/بتا ریز دانه است که سبب بهترین ترکیب از استحکام کششی، مقاومت به خستگی و خزش می‌گردد. علاوه در مقایسه با دیگر آلیاژهای تیتانیوم مقاوم به خزش، تیتانیوم ۸۳۴ در دماهای بالا تا ۷۰۰ درجه سانتیگراد تنش‌زدایی می‌شود.

## ترکیب شیمیایی

<b>Titanium Ti Balance</b>	<b>Aluminium Al 5.50-6.10</b>	<b>Tin Sn 3.00-5.00</b>	<b>Zirconium Zr 3.00-5.00</b>	<b>Niobium Nb 0.50-1.00</b>	<b>Molybdenum Mo 0.25-0.75</b>
<b>Iron Fe 0.05</b>	<b>Oxygen O 0.07-0.15</b>	<b>Carbon C 0.04-0.08</b>	<b>Nitrogen N 0.03</b>	<b>Hydrogen H 0.006</b>	

## ویژگی‌های کلیدی تیتانیوم ۸۳۴

- دارای استحکام خزشی بهتر نسبت به آلیاژهای آلفا
- دارای استحکام نسبتاً بالا تا دمای نزدیک ۴۰۰ درجه سانتیگراد
- انعطاف‌پذیری نسبتاً خوب در دمای اتاق
- دارای تافنس بالا
- دارای قابلیت جوشکاری
- دارای مقاومت خوب نسبت به محیط‌های آب شور می‌باشند.

## استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
-	-	-	-	-	-	Ti-5.8Al-4Sn-3.5Zr-0.7Nb-0.5Mo-0.35Si-0.06C

## خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
1050	925	12	120	35

## خواص فیزیکی

ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی ( $\mu\Omega \cdot m$ )	چگالی (g/cm <sup>3</sup> )
580	1670	1.1	4.55

## خواص حرارتی و اکسیداسیون

ضریب انبساط حرارتی ( $\mu m/m.K$ )	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	حداکثر دمای کاری (°C)	ناپوسته 600	پیوسته 450
8.9	6.7			

## کاربردها

قطعات توربین گازی (تا دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد)  
دیسک‌های کمپرسور و پره‌های توربین در صنایع هوایی



آلیاژ تیتانیوم گرید ۵ پرکاربردترین و نیز متداولترین آلیاژ تیتانیوم آلفا-بتا است. این آلیاژ که هم قابل ریخته گری است و هم قابلیت نورد، فورج و دیگر فرآیندهای شکلدهی سرد و گرم را دارد در هوا و فضا، پزشکی، نظامی، دریایی و دیگر کاربردها جایی که استحکام بالا، نسبت استحکام به وزن خوب و خواص خوردگی مطلوب مورد نیاز است مورد استفاده قرار می‌گیرد و ترکیبی از استحکام بالا و تافنس را ارائه می‌دهد. تیتانیوم گرید ۵ دارای خواص جوشکاری و ساخت خوبی است همچنین دارای قابلیت عملیات حرارتی و جوشکاری و فورج و کاربردهای متنوع است.

این آلیاژ متشکل از دو فاز آلفا + بتا می‌باشد. در این آلیاژ، آلومینیوم در پایدارسازی فاز آلفا و وانادیوم در پایدارسازی فاز بتا موثر است. آلیاژ تیتانیوم گرید ۵، استحکام بالایی دارد و می‌تواند از دماهای برودتی تا دماهای حدود ۴۲۷ درجه سانتی‌گراد (۸۰۰ درجه فارنهایت) مورد استفاده قرار بگیرد. به منظور استفاده از تیتانیوم گرید ۵ در کاربردهای مختلف، این ماده باید در شرایط عملیات حرارتی آنیل و شرایط عملیات حرارتی انحلالی و پیرسختی باشد.

ساخت این آلیاژ با روش‌هایی همچون ذوب اولیه توسط قوس خلأ (VAR)، پرتو الکترونی و PAM یا (Plasma arc health melting) صورت می‌گیرد. گرید ۵ به دلیل داشتن استحکام مکانیکی مناسب و چگالی کم، نسبت استحکام به وزن بالایی دارد و این موضوع یک ویژگی بسیار مثبت برای آن محسوب می‌شود. همچنین مقاومت به خوردگی این آلیاژ در بسیاری از محیطها، عالی است.

این آلیاژ پایه تیتانیوم به طور کامل قابل عملیات حرارتی است (به عبارتی دیگر هر دو عملیات انحلالی + پیرسازی برای آن می‌تواند انجام شود).

### ترکیب شیمیایی

<b>Titanium Ti Balance</b>	<b>Aluminium Al 5.50 – 6.75</b>	<b>Vanadium V 3.50 – 4.50</b>	<b>Iron Fe 0.30</b>	<b>Oxygen O 0.20</b>	<b>Carbon C 0.10</b>
<b>Nitrogen N 0.05</b>	<b>Hydrogen H 0.0125</b>				

### ویژگی‌های کلیدی

- استحکام بالا
- به عنوان یکی از آلیاژهای آلفا - بتا بهترین خواص مکانیکی را بین آلیاژهای تیتانیوم دارد
- قابلیت افزایش استحکام به وسیله انجام عملیات حرارتی
- قابلیت انجام عملیات حرارتی کمتر نسبت به آلیاژهای تکفاز بتا
- قابلیت جوشکاری ضعیف به دلیل وجود ریز ساختار دوفازی
- یکی از بهترین گزینه برای کاربردهایی است که به طور همزمان نیاز به مقاومت مکانیکی، مقاومت به خوردگی و وزن سبک میباشد

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام های دیگر
-	Titan Grade 5 (6Al-4V)	3.7164	R56200 R56400	AMS 4928 AMS 4920 AMS 4911 AMS 4906 AMS 4905 AMS 4965 AMS 4954 AMS 4935 AMS 4934 AMS 4930 AMS 4967	B265 B348 B381	MIL T-81915 MIL T-81556 MIL F-83142 MIL T-9046 MIL T-9047

خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (B)
1170	1100	18	114	334

خواص فیزیکی

ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی (μΩ.cm)	چگالی (g/cm³)
570	1674	170	4.42

خواص خوردگی

آلیاژ تیتانیوم گرید ۵، مقاومت به خوردگی بسیار خوبی در اکثر محیط های دریایی و نفت و گاز ساحلی دارد. از طرفی تیتانیوم و آلیاژهای آن در طیف گسترده ای از محیط های اسیدی، مقاومت مناسبی دارند و در برابر اسیدهای اکسید کننده نیز دارای رفتار حفاظتی مطلوبی هستند. همچنین این مواد در برابر اسیدهای احیایی نیز مقاوم می باشند و در مقابل اسیدهای آلی هم در دماها و غلظت های اندک، رفتار حفاظتی مطلوبی از خود نشان می دهند.

باید توجه داشت که این آلیاژ نباید در نیتریک اسید دود قرمز (Red fuming nitric acid) مورد استفاده قرار داد زیرا دچار تخریب می شود. همچنین در محیط هیدروفلوئوریک اسید نیز این ماده به سرعت تحت حمله قرار می گیرد. افزودن میزان ۵/۰ درصد پالادیم در آلیاژ تیتانیوم گرید ۲۴، ۱/۰ درصد روتنیوم در گرید ۲۹ و یا ۵/۰ درصد پالادیم و ۵/۰ درصد نیکل در گرید ۲۵، به طور قابل توجهی مقاومت به خوردگی را در اسیدهای احیایی، کلریدی و محیط های گاز ترش افزایش می دهد و دمای آستانه را تا بیش از ۲۰۰ درجه سانتی گراد بالا می برد.

اسید فسفریک (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	اسید هیدروفلوئوریک (HF)	اسید فرمیک (HCOOH)	کلر (Cl)	آب دریا (NaCl) (3.5%)	اسید نیتریک (HNO <sub>3</sub> )	اسید هیدروکلریک (HCl)	اسید سولفوریک (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
خوب	متوسط	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خوب	خوب	متوسط

خواص حرارتی و اکسیداسیون

حد اکثر دمای کاری (°C)	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	ضریب انبساط حرارتی (μm/m.K)
ناپیوسته 300	پیوسته 170	9

## فرآیندهای ساخت و تولید

### شکل‌دهی گرم و سرد

شکل‌دهی گرم آلیاژ Ti-6Al-4V امکان‌پذیر است و این آلیاژ میتواند از دمای ۹۵۴ درجه سانتی‌گراد (۱۷۵۰ درجه فارنهایت) تا دمای ۷۸۸ درجه سانتی‌گراد (۱۴۵۰ درجه فارنهایت) تحت عملیات فورج نهایی قرار می‌گیرد.

ماده‌ای که تحت بیش از ۵ درصد کار سرد قرار گرفته باشد، باید بعد از استحکام بخشی ناشی از کار سرد، تحت عملیات آنیل توجه داشته باشید که انجام فرایند شکل‌دهی سرد آلیاژ تیتانیوم گرید ۵ در دمای اتاق حتی در شرایط آنیل هم ممکن نیست. بنابراین فرآیندهای شکل‌دهی شدید مثل خمش یا کشش بر روی ماده آنیل شده و در دماهای بالاتر از ۶۴۹ درجه سانتی‌گراد (۱۲۰۰ درجه فارنهایت)، بدون تأثیر بر خواص مکانیکی انجام می‌شود.

### عملیات حرارتی

آلیاژ تیتانیوم گرید ۵ را می‌توان با روش‌های مختلفی عملیات حرارتی کرد که در ادامه به تشریح آن پرداخته می‌شود:

۱- آنیل: عملیات حرارتی در بازه دمایی ۶۹۱ الی ۷۶۰ درجه سانتی‌گراد (۱۲۷۵ تا ۱۴۰۰ درجه فارنهایت) + ۰/۵ تا ۲ ساعت نگهداری + سرد کردن در هوا یا کوره.

۲- آنیل رهاسازی تنش: عملیات حرارتی در بازه دمایی ۵۳۸ الی ۶۴۹ درجه سانتی‌گراد (۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه فارنهایت) + ۱ تا ۸ ساعت نگهداری + سرد کردن در هوا یا کوره.

۳- عملیات حرارتی انحلالی: عملیات حرارتی در بازه دمایی ۹۱۳ تا ۹۵۴ درجه سانتی‌گراد (۱۶۷۵ الی ۱۷۵۰ درجه فارنهایت) + ۱ ساعت نگهداری + سرد کردن سریع (کوئنچ) در آب.

۴- عملیات پیرسازی: عملیات حرارتی در بازه دمایی ۵۲۴ تا ۵۵۲ درجه سانتی‌گراد (۹۷۵ الی ۱۰۲۵ درجه فارنهایت) + ۴ تا ۸ ساعت نگهداری + سرد کردن در هوا.

عملیات حرارتی آنیل در آلیاژ Ti-6Al-4V در بازه دمایی ۹۲۷ الی ۱۰۳۸ درجه سانتی‌گراد (۱۷۰۰ تا ۱۹۰۰ درجه فارنهایت) در جایی انجام می‌شود که استحکام، سختی و استحکام خستگی بالا مورد نظر باشند.

### جوشکاری

آلیاژ تیتانیوم گرید ۵ جوش‌پذیری مناسبی دارد و می‌توان آن را در شرایط آنیل یا شرایط عملیات انحلالی و عملیات پیرسازی غیرکامل، جوشکاری کرد. توجه داشته باشید که در حالت دوم، عملیات پیرسازی در حین عملیات تنش‌زدایی بعد از جوشکاری، تکمیل می‌شود.

در جوشکاری آلیاژ Ti-6Al-4V رعایت نکات ایمنی به منظور جلوگیری از آلودگی‌های ناشی از اکسیژن، نیتروژن و هیدروژن اهمیت بسیار زیادی دارد. جوشکاری ذوبی این آلیاژ را می‌توان در محفظه‌های پرشده از گاز خنثی و یا استفاده از جوشکاری گاز خنثی فلز مذاب انجام داد.

روش‌هایی همچون جوشکاری نقطه‌ای، جوشکاری نواری (Seam welding) و جوشکاری جرقه‌ای یا Flash welding، برای اتصال‌دهی تیتانیوم گرید ۵ گزینه‌های مناسبی به شمار می‌روند. این روش‌ها نیازی به اتمسفر محافظ ندارند.

گرید ۵ تیتانیوم ، پرکاربردترین گونه آلیاژ تیتانیوم محسوب می‌شود و به همین دلیل بیش از ۷۰ درصد گریدهای آلیاژهای ذوب شده زیر گرید Ti-6Al-4V هستند. برخی از کاربردهای این آلیاژ عبارتند از :

قطعات دوار توربین های گاز و جت	ساخت پره های کمپرسور
تجهیزات دریایی	دیسک ها و رینگها برای موتور جت
تجهیزات نفت و گاز ساحلی و درون چاهی	ارابه فرود هواپیماها
منابع تولید برق	ساخت اجزای ایرفریم و کپسول فضایی
تجهیزات پزشکی	محفظه های فشار
قطعات اتو اسپرت	موتورهای راکت
اتصال دهنده های هوایی و فضایی	محورهای انتقال نیرو و روتور هلیکوپتر





تیتانیوم گرید ۵ پزشکی یا گرید ۲۳ در حقیقت زیرمجموعه آلیاژ تیتانیوم گرید ۵ یا Ti-6Al-4V است که میزان اکسیژن، نیتروژن و آهن بسیار پایین‌تری در ساختار خود دارد و اصطلاحاً به آن Eli یا Extra Low Interstitials می‌گویند. این آلیاژ همانند تیتانیوم گرید ۵، یکی از پرکاربردترین آلیاژهای تیتانیوم است و با روش‌های ذوب VAR و ذوب مجدد تولید می‌شود. این تیتانیوم به نوعی آلیاژ تمیز (Clean Alloy) به شمار می‌رود و میزان عناصر بینابینی و آهن در آن کمتر از گرید ۵ است.

این گرید مقاومت به خوردگی بسیار خوبی به ویژگی‌های در محیط‌های کلریدی دارد. آلیاژ تیتانیوم گرید ۲۳ با بدن و استخوان انسان، سازگار است و به همین دلیل می‌تواند برای ساخت ایمپلنت‌های جراحی مورد استفاده قرار بگیرد.

با وجود اینکه آلیاژ Ti-6Al-4V Eli به عنوان بهترین گرید تیتانیوم جهت استفاده در کاربردهای پزشکی و دندانپزشکی شناخته می‌شود، اما در شرایط دیگری که نیاز به چقرمگی، استحکام بالا، وزن کم و مقاومت به خوردگی مناسب وجود داشته باشد هم می‌توان از آن استفاده کرد.

آلیاژ تیتانیوم گرید ۲۳ حتی در دماهای پایین و نزدیک به ۲۵۳- درجه سانتی‌گراد، چقرمگی یا تافنس خوبی از خود نشان می‌دهد. همان‌طور که پیش‌تر نیز ذکر شد در گرید ۲۳، میزان عناصر بینابینی مثل اکسیژن و آهن نسبت به گرید ۵، کمتر است. این موضوع موجب شده تا آلیاژ تیتانیوم گرید ۲۳، استحکام خستگی بالا، قابلیت شکل‌پذیری مناسب و مدول الاستیک کمی داشته باشد اما انعطاف‌پذیری و تافنس شکست بهتری نسبت به تیتانیوم گرید ۵ دارد.

آلیاژ تیتانیوم گرید ۲۳ معمولاً در شرایط غیر پیرشده برای کاربردهایی که نیازمند بیشترین میزان چقرمگی هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### ترکیب شیمیایی

Titanium Ti Balance	Aluminium Al 5.50 – 6.75	Vanadium V 3.50 – 4.50	Iron Fe 0.25	Oxygen O 0.13	Carbon C 0.08
Nitrogen N 0.05	Hydrogen H 0.0125				

### ویژگی‌های کلیدی Ti Grade 23 – تیتانیوم گرید ۲۳ (۵ پزشکی)

- خواص مکانیکی و شکل‌پذیری بسیار خوب
- خواص زیست‌سازگاری و چسبندگی استخوانی بسیار عالی
- نسبت استحکام به وزن عالی
- قابلیت پوشش دهی بالا
- هدایت حرارتی کم برای جلوگیری از سرد و گرم شدن در بدن

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
-	TiAl6V4	3.7165	R56401	4907 4930 4931 4956	F136 B265 B348 B363 B381 B861 B862	Grade 5 ELI Ti-6Al-4V ELI ISO 5832-3

### خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
895	825	15	114	350

### خواص فیزیکی

ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی (μΩ.cm)	چگالی (g/cm³)
560	1604 - 1660	170	4.43

### خواص خوردگی

همان‌طور که پیش‌تر نیز ذکر شد، تشکیل لایه اکسیدی تأثیر به‌سزایی در مقاومت به خوردگی آلیاژ تیتانیوم گرید ۲۳ دارد. این لایه اکسیدی در اتمسفر و محیط‌های حاوی اکسیژن، ایجاد می‌شود و ضخامت آن تقریباً از ۱ تا ۲ نانومتر کمتر است. البته ضخامت لایه اکسیدی تشکیل شده را می‌توان با اکسیداسیون آندی به‌طور قابل توجهی افزایش داد.

تیتانیوم گرید ۲۳ می‌تواند در حمام‌های اسید اکسیدکننده مثل فسفریک اسید (H3PO4) و سولفوریک اسید (H2SO4) به راحتی تحت اکسیداسیون آندی قرار بگیرد. لایه‌های اکسیدی ضخیم تیتانیوم اکسید (TiO2) که در اثر اکسیداسیون آندی به وجود می‌آیند، در بهبود خواص گلایدینگ (Gliding) موثر هستند. این لایه‌ها همچنین در بهبود مقاومت سایشی و مقاومت در مقابل خوردگی فرسایشی نیز تأثیر مثبتی دارند.

اسید	اسید	اسید	آب دریا (NaCl)	کلر (Cl)	اسید	اسید	اسید
سولفوریک (H2SO4)	هیدروکلریک (HCl)	نیتریک (HNO3)	(3.5%)		فرمیک (HCOOH)	هیدروفلوئوریک (HF)	فسفریک (H3PO4)
متوسط	خوب	خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خوب	خوب

### خواص حرارتی و اکسیداسیون

ضریب انبساط حرارتی (μm/m.K)	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	حداکثر دمای کاری (°C)	ناپیوسته
8.60	7.3	پیوسته 200	350

## فرآیندهای ساخت و تولید تیتانیوم گرید ۲۳ (۵ پزشکی)

### شکل‌دهی گرم و سرد تیتانیوم گرید ۲۳ (۵ پزشکی)

با توجه به وجود درصد کمتری از اکسیژن در تیتانیوم گرید ۲۳ در مقایسه با گرید ۵، این آلیاژ قابلیت انعطاف‌پذیری و شکل‌پذیری بهتری دارد. فرایند فورج گرم این آلیاژ می‌تواند در دمای ۹۸۲ درجه سانتی‌گراد (۱۸۰۰ درجه فارنهایت) آغاز گردد و در دمای ۹۶۸ درجه سانتی‌گراد (۱۷۵۰ درجه فارنهایت) تکمیل شود. توجه داشته باشید که کار گرم می‌تواند انعطاف‌پذیری کلی مواد را بهبود دهد.

ویژگی‌ها و مشخصات شکل‌دهی سرد آلیاژ تیتانیوم گرید ۲۳ شباهت زیادی به مشخصات شکل‌دهی سرد فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی دارد. تجربه ثابت کرده که انجام عملیات آنیل پس از کار سرد، می‌تواند در دستیابی مجدد به خواص مطلوب ماده کمک کند.

### عملیات حرارتی تیتانیوم گرید ۲۳ (۵ پزشکی)

آلیاژ تیتانیوم گرید ۲۳، قابل عملیات حرارتی است و عملیات‌های مختلفی همچون آنیل، انحلال، رسوب سختی و رهاسازی تنش را می‌توان با هدف بهبود خواص برای آن انجام داد.

۱- آنیل: نگهداری در دمای ۷۳۲ درجه سانتی‌گراد (۱۳۵۰ درجه فارنهایت) به مدت تقریباً ۱ تا ۴ ساعت + سرد کردن در کوره تا دمای ۵۶۶ درجه سانتی‌گراد (۱۰۵۰ درجه فارنهایت) + سرد کردن در هوا.

۲- انحلال: عملیات حرارتی در دمای ۹۰۴ تا ۹۵۴ درجه سانتی‌گراد (۱۶۶۰ الی ۱۷۵۰ درجه فارنهایت) به مدت ۲ ساعت + سرد کردن سریع (کوئنچ) در آب.

۳- پیرسازی: عملیات حرارتی در بازه دمایی ۹۵۰ تا ۹۵۵ درجه سانتی‌گراد تا ۵ ساعت + سرد کردن آهسته در کوره تا دمای ۵۶۵ درجه سانتی‌گراد + سرد کردن در هوا.

۴- رهاسازی تنش: عملیات حرارتی در بازه دمایی ۴۸۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد تا ۴ ساعت + سرد کردن در هوا.

### تفاوت و شباهت گرید ۲۳ و ۵

آلیاژ تیتانیوم گرید ۲۳ نسبت به گرید ۵، میزان عناصر بینابینی آهن و اکسیژن کمتری دارد. این آلیاژ یک گزینه عالی برای ساخت ایمپلنت‌های مفصل ران و ایمپلنت‌های دندانپزشکی است.

وجود درصد کمتری از اکسیژن در تیتانیوم گرید ۲۳ موجب شده تا این آلیاژ قابلیت شکل‌پذیری و انعطاف‌پذیری بهتری نسبت به گرید ۵ داشته باشد و از طرفی تافنس یا چقرمگی و قابلیت ماشینکاری آن هم بهبود یابد. با این وجود برخی خواص مکانیکی گرید ۲۳ در مقایسه با گرید ۵، ضعیف‌تر است. آلیاژ  $Ti-6Al-4V$  به نوعی خالص‌تر آلیاژ تیتانیوم گرید ۵ محسوب می‌شود.

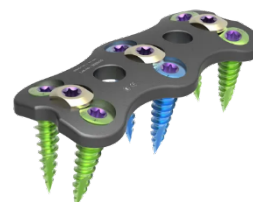
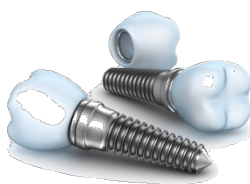
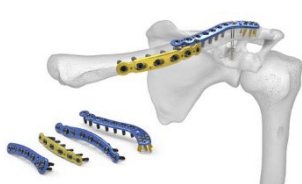
### کاربردها

آلیاژ تیتانیوم گرید ۲۳ یا  $ELI$  می‌تواند در ساخت ایمپلنت، در زمینه‌های دندانپزشکی، جراحی و پزشکی به کار گرفته شود. همچنین این گرید در ساخت اجزای ساعت‌ها، تجهیزات دریایی، قطعات هوایی و ساخت جواهرات و قطعات تزئینی نیز استفاده می‌شود.

قطعات زیردریایی  
قطعات ساعت  
لوازم زینتی شخصی

ایمپلنت‌های مفصل و ران  
ایمپلنت‌های فک و دهان  
قطعات هوایی و هوافضایی

ایمپلنت‌های دندان  
ایمپلنت‌های ستون فقرات  
ایمپلنت‌های استخوانی و ارتوپدی



مشابه تیتانیوم گرید ۵ با مقدار کمتر اکسیژن، نیتروژن و آهن است (که میان آن و گرید ۲۳ هم تشابه ایجاد می‌کند) در حالی که مقداری روتنیوم جهت افزایش مقاومت به خوردگی به آن افزوده شده است. شکل کار شده این آلیاژ در جایی که استحکام متوسط و نسبت استحکام به وزن خوب و خواص خوردگی مطلوب مورد نیاز است، استفاده می‌شود.

## ترکیب شیمیایی

<b>Titanium Ti Balance</b>	<b>Aluminium Al 5.50-6.50</b>	<b>Vanadium V 3.50-4.50</b>	<b>Ruthenium Ru 0.08-0.14</b>	<b>Iron Fe 0.13</b>	<b>Carbon C 0.10</b>
<b>Nitrogen N 0.03</b>	<b>Hydrogen H 0.015</b>				

## ویژگی‌های کلیدی تیتانیوم Ti-Grade 29 – تیتانیوم گرید ۲۹

- آلیاژهای آلفا-بتا بهترین خواص مکانیکی را بین آلیاژهای تیتانیوم دارد .
- قابلیت افزایش استحکام به وسیله انجام عملیات حرارتی
- قابلیت انجام عملیات حرارتی کمتر نسبت به آلیاژهای تکفاز بتا
- قابلیت جوشکاری ضعیف به دلیل وجود ریز ساختار دوفازی

## استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
			R56404	4907	B265	Ti-6-4 Ru
				4930	B348	Ti 6Al 4V 0.1Ru
				4956	B363	6Al-4V ELI with 0.1% Ru
					B381	
					B861	
					B862	
					F136	

## خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
895	825	15	114	350

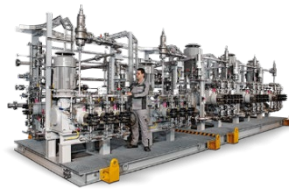
## خواص فیزیکی

ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی (μΩ.cm)	چگالی (g/cm <sup>۳</sup> )
560	1660	0.176	4.43

ضریب انبساط حرارتی ( $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$ )	ضریب هدایت حرارتی ( $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ )	حداکثر دمای کاری ( $^{\circ}\text{C}$ )	
8.6	7.3	پیوسته 350	ناپیوسته 450

کاربردها

حفاری و تولید فراساحلی هیدروکربن‌ها  
حفاری و تولید هیدروکربن‌ها



تجهیزات فرآیندهای شیمیایی  
تجهیزات نمک زدایی



یک آلیاژ تیتانیوم آلفا بتا با استحکام بالا که در ایمپلنت‌های پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد و زیست سازگاری بسیار بالای از خود نشان می‌دهد.

Ti-6Al-7Nb یکی از آلیاژهای تیتانیومی است که از فاز هگزاگونال  $\alpha$  (ثابت شده با آلومینیوم) و فاز مکعبی مرکز-بدنه  $\beta$  (ثابت شده با نیوبیوم) تشکیل شده است. این آلیاژ با خواص مکانیکی برتر خود، مقاومت به خوردگی بالاتر و زیست‌سازگاری بیشتری نسبت به آلیاژهای Ti-6Al-4V مشخص می‌شود.

### ترکیب شیمیایی

<b>Titanium Ti Balance</b>	<b>Niobium Cr 6.50-7.50</b>	<b>Aluminium Al 5.50-6.50</b>	<b>Tantalum Ta 0.50</b>	<b>Iron Fe 0.25</b>	<b>Carbon C 0.10</b>
<b>Nitrogen N 0.05</b>	<b>Hydrogen H 0.009</b>	<b>Oxygen O 0.20</b>			

### ویژگی‌های کلیدی آلیاژ تیتانیوم 6Al-7Nb

- آلیاژهای آلفا - بتا بهترین خواص مکانیکی را بین آلیاژهای تیتانیوم دارد.
- قابلیت افزایش استحکام به وسیله انجام عملیات حرارتی
- قابلیت انجام عملیات حرارتی کمتر نسبت به آلیاژهای تکفاز بتا
- قابلیت جوشکاری ضعیف به دلیل وجود ریز ساختار دوفازی

### استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
-	-	-	R56700	-	-	-

### خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
1000	900	12	105	38

### خواص فیزیکی

ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی ( $\mu\Omega \cdot m$ )	چگالی ( $g/cm^3$ )
540-560	1527-1587	1.26-1.58	4.52

ضریب انبساط حرارتی ( $\mu\text{m}/\text{m.K}$ )	ضریب هدایت حرارتی ( $\text{W}/\text{m.K}$ )	حداکثر دمای کاری ( $^{\circ}\text{C}$ )	
8-9.8	7-8	پیوسته 175	ناپیوسته 325

### فرآیندهای ساخت و تولید آلیاژ تیتانیوم

این آلیاژ با روش‌های متالورژی پودر تولید می‌شود. رایج‌ترین روش‌ها عبارتند از پرس گرم، قالب گیری تزریقی فلز و مخلوط کردن و پرس کردن. در تولید این گرید، معمولاً از دمای سینترینگ بین ۹۰۰ تا ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد استفاده می‌شود. تغییر دمای سینترینگ، خواص مختلفی مانند تخلخل و ریزساختار متفاوت به این آلیاژ می‌دهد. در سال‌های اخیر، این آلیاژ با روش‌های مختلف چاپگر سه بعدی مانند SLM و EBM نیز تولید می‌شود.

### عملیات حرارتی آلیاژ تیتانیوم

عملیات حرارتی تیتانیوم اثرات قابل توجهی در کاهش تنش‌های باقیمانده و بهبود خواص مکانیکی (مانند استحکام کششی یا استحکام خستگی با عملیات محلول سازی و پیرسازی) دارد. علاوه بر این، عملیات حرارتی به دلیل تفاوت در ریزساختار و سرعت‌های سرد کردن بین فازهای  $\alpha$  و  $\beta$ ، ترکیب ایده آلی از شکل پذیری، قابلیت ماشین کاری و پایداری ساختاری را فراهم می‌کند. سرعت سرد کردن بر مورفولوژی تأثیر می‌گذارد. هنگامی که سرعت سرد شدن کاهش می‌یابد، مانند سرد شدن در هوا به سرد شدن کند، مورفولوژی  $\alpha$  تبدیل شده در ضخامت و طول افزایش می‌یابد و در تعداد کمتر و بزرگتر از کلونی‌های  $\alpha$  محصور می‌شود. اندازه کلونی  $\alpha$  مهمترین خاصیت ریزساختاری است زیرا بر خواص خستگی و مکانیک تغییر شکل آلیاژهای  $\alpha+\beta$  پردازش شده  $\beta$  تأثیر می‌گذارد.

### کاربردها

صفحات استخوانی  
پیچ‌های ارتوپدی  
دریچه و ضربان سازهای قلب مصنوعی

ایمپلنت‌های جایگزین بافت آسیب دیده  
مفاصل ران و زانو  
ایمپلنت دندان



آلیاژ تیتانیوم گرید Al 6V 2Sn یک آلیاژ آلفا - بتا است که می‌تواند با حرارت‌دهی به مقاومت‌های بالاتر و مقاطع ضخیم‌تر نسبت به آلیاژ تیتانیوم گرید ۵ دست یابد. این آلیاژ دارای مقاومت عالی، مقاومت به خوردگی خوب و قابلیت ساخت متوسط است. عمدتاً در شرایط آنیل یا آنیل انحلالی و پیرشده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این آلیاژ قابل عملیات حرارتی، و دارای استحکام بالا با انعطاف‌پذیری و تافنس پایین‌تر نسبت به تیتانیوم گرید ۵ است و جوشکاری آن مشکل است. شکل‌دهی سرد این گرید به دلیل استحکام بالا و حالت ارتجاعی آن مشکل است. این گرید توسط جوشکاری به روش گاز خنثی محافظ و جوشکاری ذوبی قابل جوشکاری است اما ناحیه تحت تاثیر حررات انعطاف‌پذیری و تافنس کمتری نسبت به فلز پایه خواهد داشت.

### ترکیب شیمیایی

<b>Titanium Ti Balance</b>	<b>Aluminium Al 5.00-6.00</b>	<b>Vanadium V 5.00-6.00</b>	<b>Niobium Nb 0.35-1.00</b>	<b>Iron Fe 0.20</b>	<b>Carbon C 0.10</b>
<b>Nitrogen N 0.04</b>	<b>Hydrogen H 0.02</b>				

### ویژگی‌های کلیدی آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-6V-2Sn

- آلیاژهای آلفا-بتا بهترین خواص مکانیکی را بین آلیاژهای تیتانیوم دارند
- قابلیت افزایش استحکام به وسیله انجام عملیات حرارتی
- قابلیت انجام عملیات حرارتی کمتر نسبت به آلیاژهای تکفاز بتا
- قابلیت جوشکاری ضعیف به دلیل وجود ریز ساختار دوفازی
- دارای بالاترین استحکام در میان آلیاژهای آلفا - بتا
- دارای قابلیت فورج

### استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
-	-	3.7175	R56620	-	-	Ti-6-6-2 Ti-662

### خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
1280	1210	10	117	44



## خواص فیزیکی

ظرفیت گرمایی ویژه (J/g.°C)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی ( $\mu\Omega.cm$ )	چگالی (g/cm <sup>3</sup> )
0.67	1627-1649	157	4.54

## خواص حرارتی و اکسیداسیون

ضریب انبساط حرارتی ( $\mu m/m.K$ )	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	حداکثر دمای کاری (°C)	ناپيوسته
-	6.6	بييوسته 170	315

## فرآیندهای ساخت و تولید آلیاژ تیتانیوم 6Al 6V 2Sn

### ماشینکاری

آلیاژ تیتانیوم 6Al 6V 2Sn را می‌توان با استفاده از سرعت های پایین، مقدار مناسب جریان خنک‌کننده و سرعت‌های تغذیه بالا ماشینکاری کرد. برای ابزارسازی این آلیاژ باید از ابزارهای پر سرعت استفاده کرد و انواع ابزار توصیه شده، کاربید تنگستن با مشخصات C1-C4 یا بر پایه کبالت هستند.

### شکل‌دهی گرم و سرد آلیاژ تیتانیوم

آلیاژ تیتانیوم 6Al 6V 2Sn را می‌توان به صورت گرم یا سرد فرم داد. تکنیک‌های فرم دهی شامل هیدروپرس، کشش یا چکش سقوطی است. فورجینگ یا آهنگری خام را می‌توان در دمای ۹۳۲ درجه سانتی‌گراد (۱۷۱۰ فارنهایت) انجام داد و در دمای ۸۴۳ درجه سانتی‌گراد (۱۵۵۰ فارنهایت) تکمیل کرد. کار سرد این ماده مشابه فولاد ضد زنگ آستنیتی است. توصیه می‌شود پس از کار، آنیلینگ انجام شود تا خواص عملکرد مطلوب بازگردد.

### عملیات حرارتی آلیاژ تیتانیوم

این گرید از آلیاژ تیتانیوم را می‌توان در دمای ۸۴۳-۹۱۳ درجه سانتی‌گراد (۱۵۵۰-۱۶۷۵ فارنهایت) به مدت ۱ ساعت محلول‌سازی و سپس با آب خنک کرد. برای آنیلینگ آلیاژ تیتانیوم، باید ماده را به مدت ۲ ساعت در دمای ۷۰۴ درجه سانتی‌گراد (۱۳۰۰ فارنهایت) نگه داشت و سپس با هوا خنک کرد. اگر نیاز به رفع تنش باشد، باید ماده را به مدت ۲ ساعت در دمای ۵۹۳ درجه سانتی‌گراد (۱۱۰۰ فارنهایت) نگه داشت و سپس با هوا خنک کرد. برای عملیات پیرسازی می‌توان در دمای ۵۳۸-۶۲۱ درجه سانتی‌گراد (۱۰۰۰-۱۱۵۰ فارنهایت) به مدت ۴-۸ ساعت انجام داد و سپس با هوا خنک کرد.

### جوشکاری آلیاژ تیتانیوم

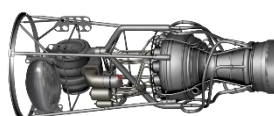
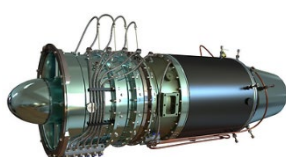
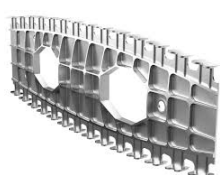
جوشکاری آلیاژ تیتانیوم 6Al 6V 2Sn باید در دمای انتقال بتا 1735 (F +/- 25) انجام شود.

### کاربردها

بدنه‌های موتور راکت

قطعات موتور جت

قطعات اسکلت و بدنه هواپیما



آلیاژ تیتانیوم ۶۲۴۶، یک آلیاژ تیتانیوم با ریزساختار آلفا-بتا است که استحکام مکانیکی بسیار خوبی دارد و تا دمای حدود ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد، بسیار پایدار است. آلیاژ Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo یک آلیاژ قابل عملیات حرارتی محسوب می‌شود و عموماً برای استفاده در دماهای بالا تا حدود ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. قابلیت فورج و حساسیت به ترک در آلیاژ تیتانیوم ۶۲۴۲، مشابه با تیتانیوم گرید ۵ است اما این آلیاژ را می‌توان تحت عملیات حرارتی قرار داد تا به استحکام‌های بالاتر در مقاطع بزرگتر از تیتانیوم گرید ۵ دست یابد.

خواص آلیاژ تیتانیوم ۶۲۴۲، تحت تأثیر تاریخچه ترمومکانیکی آن است. در آلیاژهای فورج شده آلفا-بتا، ویژگی‌هایی همچون استحکام بالا، انعطاف‌پذیری مناسب و مقاومت خستگی سیکل کم مطلوب وجود دارد. البته لازم به ذکر است که آلیاژهای بتا فورج شده، بهترین شرایط را برای خستگی سیکل کم و مقابله با رشد ترک خستگی را دارند.

آلیاژ Ti-6246 چگالی کمی دارد و مدول یانگ آن تقریباً نصف فولاد است و مانند سایر گریدهای تیتانیوم، نسبت استحکام به وزن بالایی دارد.

مقاومت به خوردگی این آلیاژ به واسطه برخورداری از حدود ۶ درصد مولیبدن، در مقابل محیط‌های احیایی مثل گاز ترش یا سولفید هیدروژن (H<sub>2</sub>S) بسیار مناسب است و به همین دلیل می‌توان از آن در چاه‌های گاز ترش استفاده کرد. این آلیاژ همچنین در برابر آب دریا نیز مقاومت خیلی خوبی دارد و در کاربردهای ساحلی و زیر آب نیز مورد استفاده قرار بگیرد.

### ترکیب شیمیایی

Titanium Ti Balance	Aluminium Al 5.50 – 6.50	Molybdenum Mo 5.50-6.50	Vanadium V 3.60-4.40	Iron Fe 0.15	Hydrogen H 0.125
Nitrogen N 0.04					

### ویژگی‌های کلیدی آلیاژ تیتانیوم 6246

- استحکام مکانیکی بالا
- استحکام عالی در دماهای بالا تا ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد
- مقاومت خزشی مناسب
- مقاومت به خوردگی مطلوب
- قابلیت انجام عملیات حرارتی با هدف دستیابی به سطوح استحکام بالاتر نسبت به آلیاژ تیتانیوم گرید ۵
- خواص خستگی سیکل کم مناسب
- نسبت استحکام به وزن بالا
- ضریب انبساط حرارتی کم
- مدول الاستیک کم
- چگالی کم
- مقاومت به خوردگی فوق‌العاده در محیط‌های میدان نفتی

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
		3.7164	R56260			Ti-6-2-4-6 Ti-6246

### خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
1210	1200	13	114	39

### خواص فیزیکی

ظرفیت گرمایی ویژه (J/g°C)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی (μΩ.cm)	چگالی (g/cm <sup>۳</sup> )
0.5	1595-1675	190	4.65

### خواص خوردگی

این گرید آلیاژی دارای مقاومت به خوردگی بسیار خوب در اکثر محیط‌ها می‌باشد.

### خواص حرارتی و اکسیداسیون

ضریب انبساط حرارتی (μm/m.K)	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	حداکثر دمای کاری (°C)
8.6	7.70	ناپیوسته 320
		نایبوسته 450

### فرآیندهای ساخت و تولید آلیاژ تیتانیوم ۶۲۴۶

#### شکلدهی سرد و گرم آلیاژ تیتانیوم ۶۲۴۶

انجام شکل‌دهی سرد و گرم بر روی آلیاژ Ti-6Al-2Sn-4Zn-6Mo امکان‌پذیر است. در شکل‌دهی گرم آلیاژ تیتانیوم ۶۲۴۶ برگشت فنی (springback) و نیروی موردنیاز شکل‌دهی کمتر از گرید ۵ بوده و شکل‌پذیری کلی مواد بیشتر است. مشخصات شکل‌دهی سرد این آلیاژ مشابه با فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی است. در عملیات‌های شکل‌دهی چندگانه، توصیه می‌شود از عملیات حرارتی رهاسازی تنش میانی برای جبران تمایل آلیاژ به کارسختی استفاده گردد. عملیات حرارتی آنیل بعد از شکل‌دهی نیز می‌تواند در دوباره به دست آمدن مشخصات اجرایی و کاربردی مناسب، موثر باشد.

#### جوشکاری آلیاژ تیتانیوم ۶۲۴۶

در خصوص جوشکاری آلیاژ Ti-6Al-2Sn-4Zn-6Mo باید به این موضوع اشاره کرد که آلیاژ مذکور، جوش‌پذیری محدودی دارد. آلیاژ Ti-6246 یک نوع آلیاژ آلفا-بتا است که ترکیبی از استحکام، تافنس (چقرمگی)، قابلیت سختی‌پذیری، مقاومت خزشی و مقاومت به رشد ترک بالا را دارد. این آلیاژ در ساخت دیسک‌های کمپرسور و موتورهای فن در بازه دمایی ۴۰۰ تا ۵۴۰ درجه سانتی‌گراد برای تحمل بار طولانی مدت و کوتاه مدت مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این وجود تحقیقات زیادی بر روی جوشکاری آلیاژ تیتانیوم ۶۲۴۶ صورت نگرفته است و همچنین پژوهش‌ها بر جوشکاری پرتو الکترونی آن نیز محدود می‌باشد.

در بین روش‌های مختلف جوشکاری، تکنیک جوشکاری پرتو الکترونی (EBW) موثرترین تکنیک برای جلوگیری از انحلال عناصر مضر مثل اکسیژن، نیتروژن، کربن و هیدروژن در گازهای اتمسفر است. همچنین در این تکنیک، وجود چگالی انرژی بالا و حرارت ورودی کم، منجر به افزایش نسبت عمق به عرض، ایجاد یک ناحیه متأثر از حرارت (HAZ) کوچک، تنش باقیمانده کم و اعوجاج اندک درآمده می‌شود. تمامی این ویژگی‌ها باعث شده که تکنیک EBW یک روش امیدوارکننده برای اتصال و جوشکاری آلیاژهای تیتانیوم باشد.

در سال ۲۰۲۰ تحقیقی بر روی ریزساختار و خواص مکانیکی آلیاژ Ti-6246 جوشکاری شده به روش EBW، انجام گردید. نتایج به دست آمده از این تحقیق، بدین شرح هستند:

- منطقه جوش EBW در آلیاژ تیتانیوم ۶۲۴۶، شامل ناحیه متأثر از حرارت (HAZ)، ناحیه ذوب (FZ) و فلز پایه (BM) بوده و فازهای آلفا و بتا با استفاده از آنالیز XRD صرفاً در ناحیه FZ مشاهده شده است.
- عملیات حرارتی تنش‌زدایی بعد از جوشکاری نیز منجر به رسوب صفحات ثانویه و کوچک آلفا در زمینه بتا در ناحیه HAZ و FZ شده و دانسیته و ضخامت صفحات آلفا در زمان تغییر دمای عملیات تنش‌زدایی از ۵۴۵ تا ۶۴۵ درجه سانتی‌گراد، افزایش پیدا کرده است.
- سختی آلیاژ Ti-6Al-2Sn-4Zn-6Mo با کاهش فاصله تا مرکز جوش، افزایش یافته و در شرایط جوشکاری و در ناحیه FZ به حداکثر مقدار خود یعنی ۴۰۵HV رسیده است.
- عملیات تنش‌زدایی بعد از جوشکاری در دمای ۵۹۵ درجه سانتی‌گراد، منجر به افزایش بیشتر سختی در ناحیه HAZ و FZ گردیده است اما از طرفی زمانی که دمای عملیات تنش‌زدایی تا ۶۴۵ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرد، کاهش در میزان سختی دیده شده است.
- بر روی نمونه‌های جوش این آلیاژ، آزمون کشش انجام گرفت و نمونه‌های جوش در طول آزمایش، دچار تغییر شکل غیریکنواخت شدند. مانع اصلی تغییر شکل برای فلز پایه، فصل مشترک‌های صفحات آلفا/بتا بودند؛ در حالی که در ناحیه FZ، مانع اصلی تغییر شکل، مرز دانه‌های بتا و فصل مشترک‌های آلفا ثانویه/بتا تشخیص داده شدند.

### عملیات حرارتی آلیاژ تیتانیوم ۶۲۴۶

آلیاژ Ti-6Al-2Sn-4Zn-6Mo یک آلیاژ قابلیت عملیات حرارتی است و با انجام عملیاتی مثل پیرسازی، می‌توان استحکام و خواص مکانیکی آن را بهبود داد. در جدول ۲، عملیات‌های حرارتی مورد استفاده برای آلیاژ Ti 6246 و نحوه انجام آن‌ها شرح داده شده است.

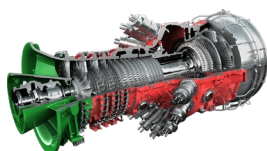
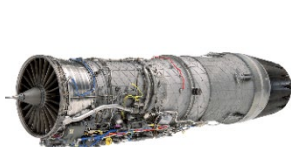
- آنیل دوتایی (Duplex anneal): حرارت‌دهی در بازه دمایی ۸۱۶ الی ۹۱۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ تا ۲ ساعت + سرد کردن در هوا و یا با سرعت بالاتر + حرارت‌دهی تا ۵۹۳ درجه سانتی‌گراد و نگهداری به مدت ۴ تا ۸ ساعت + سرد کردن آهسته
- عملیات انحلالی: عملیات حرارتی در بازه دمایی ۸۴۳ الی ۹۱۳ درجه سانتی‌گراد (۱۵۵۰ تا ۱۶۷۵ درجه فارنهایت) + سرد کردن در هوا (AC) یا کوئنچ در روغن (OQ) و یا کوئنچ در آب (WQ)
- پیرسازی: عملیات حرارتی در بازه دمایی ۵۷۹ الی ۶۰۷ درجه سانتی‌گراد و نگهداری به مدت ۸ ساعت + سرد کردن در هوا
- رهاسازی تنش: عملیات حرارتی در بازه دمایی ۴۸۲ الی ۶۴۹ درجه سانتی‌گراد (۹۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه فارنهایت) و نگهداری به مدت ۱ تا ۴ ساعت

### کاربردها

قطعات موتورهای هوایی نظامی

قطعات توربین گازی

صنایع نفت و گاز



تیتانیوم 7Al-4Mo یا TIMETAL 7-4 یک آلیاژ آلفا-بتا با مقاومت خزش عالی و استحکام بالاتر از Ti-6Al-4V است. این گرید می تواند مقاومت بسیار خوبی در برابر دمای بالا، تا ۹۰۰ درجه فارنهایت (۴۸۰ درجه سانتیگراد) ارائه دهد.

## ترکیب شیمیایی

<b>Titanium Ti Balance</b>	<b>Aluminium Al 6.50-7.30</b>	<b>Molybdenum Mo 3.50-4.30</b>	<b>Iron Fe 0.20</b>	<b>Yttrium Y 0.01</b>	<b>Carbon C 0.10</b>
<b>Nitrogen N 0.05</b>	<b>Hydrogen H 0.013</b>				

## ویژگی‌های کلیدی آلیاژ تیتانیوم Ti-7Al-4Mo

- خواص مکانیکی بالا
- قابلیت افزایش استحکام به وسیله انجام عملیات حرارتی
- قابلیت انجام عملیات حرارتی کمتر نسبت به آلیاژهای تکفاز بتا
- قابلیت جوشکاری ضعیف به دلیل وجود ریز ساختار دوفازی
- مقاومت به خزش خیلی زیاد
- استحکام بالاتر از Ti-6-4
- مقاومت به حرارت خیلی زیاد تا دمای ۴۸۰ درجه سانتیگراد

## استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
-	-	-	R56740	-	-	-

## خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
1172	1103	8	111	333

## خواص فیزیکی

ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی (μΩ.cm)	چگالی (g/cm <sup>3</sup> )
-	1648	-	4.48

## خواص حرارتی و اکسیداسیون

ضریب انبساط حرارتی (μm / m. °C)	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	حداکثر دمای کاری (°C)	ناپوسته
9	6.10	پیوسته 350	480

## فرآیندهای ساخت و تولید آلیاژ تیتانیوم

### شکلدهی سرد و گرم آلیاژ تیتانیوم

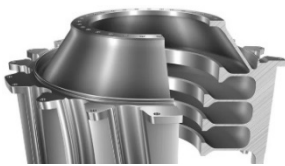
ماشین کاری آلیاژ Grade Ti 7Al 4Mo بسیار سخت است، اما با استفاده از سرعت‌های پایین، جریان بالای خنک‌کننده و نرخ‌های بالای تغذیه، می‌توان با موفقیت انجام داد. ابزارسازی باید با استفاده از ابزارهای کاربید تنگستن با مشخصات C1-C4 یا ابزارهای سرعت بالای نوع کبالت انجام شود.

آلیاژ Ti-7Al-4Mo می‌تواند از طریق روش‌های پرس قدرت، هیدروپرس، کشش یا چکش سقوطی به صورت گرم یا سرد شکل داده شود.

ویژگی‌های کار سرد این ماده مشابه فولاد ضد زنگ آستنیتی معتدل شده است. توصیه می‌شود پس از کار، آنیلینگ انجام شود تا خواص عملکرد مطلوب دوباره به دست آید.

### کاربردها

پره‌های کمپرسور موتورهای هوایی



دیسک‌های موتور جت



اجزای سازه‌ای در صنایع هوافضا



## Ti-4Al-4Mo-2Sn

## تیتانیوم آلیاژی 4Al-4Mo-2Sn

آلیاژ ۴۴۲ در شرایط آنیل و پیرسازی شده دارای بالاترین استحکام و خواص خستگی در مقایسه با Ti-6-4 و همراه با خواص کششی و خزشی در دمای بالا تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. آلیاژهای این گروه را می‌توان با روش‌های پرتو الکترونی یا لیزر جوشکاری نمود. همچنین این گروه دارای قابلیت شکل‌پذیری سوپرپلاستیک خوب و بالانس عالی میان تافنس و استحکام می‌باشد.

### ترکیب شیمیایی

<b>Titanium Ti Balance</b>	<b>Aluminium Al 3.00– 5.00</b>	<b>Molybdenum Mo 3.00 – 5.00</b>	<b>Tin Sn 1.50 – 2.50</b>	<b>Iron Fe 0.20</b>	<b>Silicon Si 0.30 – 0.70</b>
<b>Oxygen + Nitrogen O + 2N 0.27</b>	<b>Hydrogen H 0.0125</b>				

### ویژگی‌های کلیدی آلیاژ تیتانیوم Ti-4Al-4Mo-2Sn

- دارای نسبت استحکام به وزن بسیار بالا
- مقاومت به خوردگی بسیار خوب
- مقاومت در برابر خستگی بسیار خوب
- مقاومت به حرارت خوب
- قابلیت افزایش استحکام به وسیله انجام عملیات حرارتی
- قابلیت انجام عملیات حرارتی کمتر نسبت به آلیاژهای تکفاز بتا
- قابلیت جوشکاری متوسط به دلیل وجود ریز ساختار دوفازی
- دارای چقرمگی بالا

### استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
-	TiAl 4 Mo 4 Sn 2	3.7185	-	-	-	BTS: TA 45-51 SAE: Ti-4Al-4Mo-2Sn

### خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
1138	1035	12	114	38

### خواص فیزیکی

ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی (μΩ.cm)	چگالی (g/cm <sup>۳</sup> )
7.50	1650 °C	160	4.60

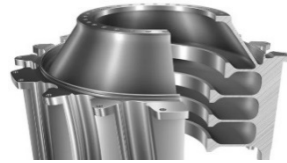
## خواص حرارتی و اکسیداسیون

ضریب انبساط حرارتی ( $\mu\text{m}/\text{m.K}$ )	ضریب هدایت حرارتی ( $\text{W}/\text{m.K}$ )	حداکثر دمای کاری ( $^{\circ}\text{C}$ )	
8	7.50	پیوسته 220	ناپیوسته 460

## کاربردها

بدنه و موتور هواپیما

قطعات توربین گازی





تیتانیوم Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr یک آلیاژ بتا است که می‌تواند گستره وسیعی از خواص مکانیکی را داشته باشد. در شرایط آنیل انحلالی، این آلیاژ بسیار انعطاف‌پذیر بوده و می‌تواند به سادگی تحت عملیات کار سرد قرار گیرد. افزایش سطح استحکام با انجام کار سرد، آنیل انحلالی، پیرسازی یا ترکیبی از این فرآیندها قابل حصول است.

این آلیاژ به طور متداول برای فنرها و بست‌های مورد استفاده در هواپیما، لوله‌ها در صنایع نفت و گاز و نیز به عنوان سیم در وسایل ورزشی و جواهرات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### ترکیب شیمیایی

<b>Titanium Ti Balance</b>	<b>Vanadium V 7.50-8.50</b>	<b>Chromium Cr 5.50-6.50</b>	<b>Molybdenum Mo 3.50-4.50</b>	<b>Zirconium Zr 3.50-4.50</b>	<b>Aluminium Al 3.00-4.00</b>
<b>Palladium Pd 0.40-0.80</b>	<b>Iron Fe 0.30</b>	<b>Oxygen O 0.12</b>	<b>Carbon C 0.08</b>	<b>Nitrogen N 0.03</b>	<b>Hydrogen H 0.02</b>

### ویژگی‌های کلیدی Ti-Grade 19 – تیتانیوم گرید ۱۹

- افزایش قابلیت عملیات حرارتی
- داکتیلیته بالاتر در شرایط آنیل شده
- شکل‌پذیری بهتر نسبت به آلیاژهای آلفا یا آلفا – بتا
- دارای قابلیت جوشکاری مناسب
- چقرمگی شکست بالا
- نرخ رشد ترک خستگی مناسب

### استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
			R58640	4957		Ti 3Al 8V 6Cr 4Mo 4Zr
			R58153	4958		3-8-6-4-4 Ti Beta C

### خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
1250	1150	9	102	360-420

## خواص فیزیکی

ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg.°K)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی ( $\mu\Omega.cm$ )	چگالی (g/cm <sup>3</sup> )
523	1660	0.18	4.81

## خواص حرارتی و اکسیداسیون

ضریب انبساط حرارتی ( $\mu m/m.K$ )	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	حداکثر دمای کاری (°C)	ناپوسته
8.6	16.4	پیوسته	377

## کاربردها

تجهیزات انرژی زمین گرمایی  
قطعات ارابه فرود هواپیما

تجهیزات حفاری و تولید هیدروکربن ها  
تجهیزات فضایی و قطعات موشک  
قطعات کشتی های نیروی دریایی



## Ti-10V-2Fe-3Al

## تیتانیوم آلیاژی 10V-2Fe-3Al

یک آلیاژ نزدیک بتا است که بسته به نوع عملیات حرارتی می‌تواند گستره وسیعی از استحکام‌ها را به خود اختصاص دهد و دارای قابلیت فورج عالی، تافنس بالا و قابلیت سخت شدن است که باعث ایجاد خواص خوب در مقاطعی با ضخامت بالا تا ۵ اینچ می‌شود.

قابلیت فورج‌پذیری عالی این آلیاژ امکان استفاده از آن برای تولید قطعات فورج به عنوان محصول نهایی را فراهم می‌آورد. این آلیاژ سخت‌تر و مستحکم‌تر از بسیاری آلیاژهای تیتانیوم است.

### ترکیب شیمیایی

<b>Titanium Ti Balance</b>	<b>Vanadium V 9.00-11.00</b>	<b>Aluminium Al 2.60-3.40</b>	<b>Iron Fe 1.60-2.20</b>	<b>Oxygen O 0.13</b>	<b>Carbon C 0.05</b>
<b>Nitrogen N 0.05</b>	<b>Hydrogen H 0.015</b>				

### ویژگی‌های کلیدی Ti-10-2-3 – آلیاژ تیتانیوم 10-2-3

- افزایش قابلیت عملیات حرارتی
- داکتیلیته بالاتر در شرایط آنیل شده
- شکل‌پذیری بهتر آن‌ها نسبت به آلیاژهای آلفا یا آلفا – بتا
- دارای قابلیت جوشکاری مناسب
- چقرمگی شکست بالا
- نرخ رشد ترک خستگی مناسب
- دارای قابلیت عملیات حرارتی، جوشکاری و شکل‌دهی
- ماشینکاری آن از بسیاری آلیاژهای تیتانیوم مشکل‌تر است.

### استانداردها

AISI	EN Chemical Designation	EN Numeric Designation (DIN)	UNS	AMS	ASTM	نام‌های دیگر
-	-	-	R56410	-	-	Ti 10V 2Fe 3Al

### خواص مکانیکی

استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	درصد تغییر طول در ۵۰ میلی‌متر	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HV)
970	900	9	110	37

## خواص فیزیکی

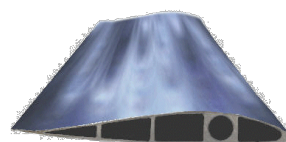
ظرفیت گرمایی ویژه (J/g.°C)	نقطه ذوب (°C)	مقاومت الکتریکی ( $\mu\Omega.cm$ )	چگالی (g/cm <sup>3</sup> )
0.525	1660	150	4.65

## خواص حرارتی و اکسیداسیون

ضریب انبساط حرارتی ( $\mu m/m.K$ )	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)	حداکثر دمای کاری (°C)	ناپیوسته پیوسته
8.5	7.80	پیوسته 160	327

## کاربردها

### قطعات هلیکوپتر



### قطعات هواپیما با استحکام بالا



## مقایسه عمومی تیتانیوم و آلیاژهای آن

نام و گرید آلیاژ	توضیحات	استانداردها	کاربردها
<b>Commercially Pure (Unalloyed) Ti Grades + Unalloyed Modified with Pd or Ru</b>			
<b>CP Grade 1</b> Titanium Grade 1	تیتانیوم گرید ۱، یک تیتانیوم غیر آلیاژی با داکتیلیته و قابلیت کار سرد مناسب است. این ماده دارای تافنس ضربه بالا بوده و بسادگی قابل جوشکاری است، ضمن آنکه قابلیت کشش عمیق را دارا می باشد و در نتیجه در تولید ورق و لوله های مبدل حرارتی مورد استفاده قرار می گیرند. این ماده قابل ریخته گری است و در بعضی مواقع بصورت ریختگی در دندانیزشکی مورد استفاده قرار می گیرد.	ASTM B265, ASTM B338, ASTM B348, ASTM B363, ASTM B367, ASTM B381, ASTM B861, ASTM B862, ASTM F67, AWS A5.16, ISO 5832-2	AC, CG, CP, DS, HE, HR, FP, MI, PB, NS
<b>CP Grade 2</b> Titanium Grade 2	تیتانیوم گرید ۲ یک تیتانیوم غیر آلیاژی با بالانس استحکام و داکتیلیته عالی است. این ماده دارای تافنس خوب بوده و به سهولت قابل جوشکاری است. این ماده در محیط های اکسنده بسیار مقاوم بخوردگی است. این ماده قابل ریخته گری است و اغلب در تولید شیرها و اتصالات ریختگی مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین از این ماده جهت تولید ورق های پوشش دار استفاده می شود.	AMS 4902, 4941, 4942, 4951, ASME SB265, ASME SB348, ASME SB367, ASME SB381, ASTM B265, B338, B348, B363, B367, B381, ASTM B861, B862, B831, ASTM F67, AWS A5.16	AC, AD, AP, AR, CG, CP, DS, FP, HE HR, MI, NS, PB, PP, OP, SR
<b>CP Grade 3</b> Titanium Grade 3	گرید ۳ تیتانیوم خالص تجاری، مستحکمتر و با قابلیت شکل پذیری کمتر نسبت به تیتانیوم گریدهای ۱ و ۲ و گریدهای مجاز به طراحی با کد ASME است. این ماده بسادگی قابل جوشکاری است و در محیط های اکسنده بالا و احیایی ملایم به شدت مقاوم به خوردگی است. این ماده قابل ریخته گری است و اغلب در ریخته گری شیرها و اتصالات ریخته گری مورد استفاده قرار می گیرد.	AMS 4900, ASME SB-265, ASME SB-348, ASTM 337, ASTM B265, ASTM B348, ASTM B367, ASTM B381, ASTM B861, ASTM B862, ASTM F67, AWS A5.16, ISO 5832-3	CP, NS, PP
<b>CP Grade 4</b> Titanium Grade 4	تیتانیوم خالص تجاری گرید ۴ مستحکم تر از گریدهای ۲ و ۳ است. این ماده به سادگی قابل جوشکاری است و در محیط های بسیار اکسنده و احیایی ملایم بسیار مقاوم بخوردگی است. این ماده قابل ریخته گری است و اغلب در ریخته گری شیرها و اتصالات ریخته گری مورد استفاده قرار می گیرد.	ASTM B265, ASTM B338, ASTM B348, ASTM B363, ASTM B381, ASTM B861, ASTM B862	AC, CP, DS, HE, HR, PB
<b>CP Grade 11</b> Ti. Palladium Grade 1with Pd.	گرید ۱۱ همان گرید ۱ است به اضافه حضور پالادیوم در ترکیب شیمیایی که سبب بهبود قابل ملاحظه مقاومت به خوردگی در محیط های قلیایی شامل کلریدها و جاییکه PH پایین و دما بالا حدود ۸۳ تا ۲۶۰ درجه سانتی گراد می شود و سبب کاربرد این آلیاژ در چنین محیط هایی فوق می گردد.	ASME SB-265, ASME SB-337, ASME SB-338, ASME SB-348, ASTM B265, ASTM B348, ASTM B367, ASTM B861, ASTM B862, AWS A5.16	AC, CP, DS, HE, HR, PB
<b>CP Grade 7</b> Ti-0.15PD	آلیاژ تیتانیوم گرید ۷ با ۰/۱ درصد پالادیوم مشابه گرید ۲ است، اما با مقاومت به خوردگی بهتر نسبت به خوردگی شیباری در یک رنج وسیعی از محیط های اسیدی احیایی شامل کلریدها و جاییکه PH پایین و دما بالا حدود ۸۳ تا ۲۶۰ درجه سانتی گراد است.	ASME SB-265, ASME SB-337, ASME SB-338, ASME SB-348, ASTM B265, ASTM B348, ASTM B367, ASTM B861, ASTM B862, AWS A5.16	AC, AP, CP, DS, HE, PB
<b>CP Grade 16</b> Ti-0.05% Pd Grade 2 with Lower Pd.	تیتانیوم گرید ۱۶ با پالادیوم کمتر (0.1 Pd) مشابه گرید ۲ و ۷ است اما دارای پالادیوم کمتری است. پالادیوم کمتر سبب کاهش هزینه ها بدون اثر قابل ملاحظه بر روی مقاومت به خوردگی شیباری است.	ASME SB-265, ASME SB-338, ASTM B265, ASTM B348, ASTM B367, AWS A5.16	AC, AP, CP, DS, HE, HR, PB
<b>CP Grade 26</b> Ti-0.1 Ru TIRU-26™	تیتانیوم گرید ۲۶ با (0.1Ru) دارای خواص مکانیکی معادل تیتانیوم گرید ۲ است. تیتانیوم گرید ۲۶ دارای مقاومت به خوردگی معادل گریدهای ۷ و ۱۶ در محیط های اسیدی احیایی با PH<1 و دمای بالای ۲۰۰ درجه سانتی گراد است.	ASTM B265, ASTM B338, ASTM B348, ASTM B363, ASTM B381, ASTM B861, ASTM B862	AC, AP, CP, DS, HE, HR, PB
<b>CP Grade 17</b> Ti – 0.06 Pd Grade 1 with Lower Pd.	آلیاژ تیتانیوم گرید ۱۷ دارای بهترین داکتیلیته و کار سرد با خواص مشابه گرید ۱ است. گرید ۱۷ مشابه گرید ۱۱ اما با مقدار پالادیوم کمتر در ترکیب شیمیایی است. این آلیاژ به سادگی قابل جوشکاری بوده و مقاومت به خوردگی بالایی در محیط های اکسنده قوی و قلیایی متوسط دارد. همچنین این آلیاژ قابل ریخته گری بوده و می تواند در تولید شیرها و اتصالات ریختگی مورد استفاده قرار گیرد.	ASTM B265, ASTM B348, ASTM B367, ASTM B381	AC, CP, DS, HE, HR, PB
<b>CP Grade 27</b> Ti 0.1 Ru TIRU-27™ Titanium Grade 1+ 0.1%Ru	تیتانیوم گرید ۲۷ دارای قابلیت جوشکاری، شکل پذیری عالی با خواص مکانیکی معادل گرید ۱ می باشد. تیتانیوم گرید ۲۷ با ۰/۱ رتنیوم آلیاژی شده است که مقاومت به اسیدهای معمولی و خوردگی شیباری در محیط هایی با PH<1 و دمای بالای ۲۰۰ درجه سانتی گراد را مشابه گریدهای ۲ و ۱۷ را ایجاد می کند.	AMS 4901, AMS 4921, ASTM B265, ASTM B348, ASTM B367, ASTM B381, ASTM F67, ISO 5832-2, MIL-T-9047, MIL-T-9046	AC, AD, CP

نام و گرید آلیاژ	توضیحات	استانداردها	کاربردها
<b>Alpha and Near-Alpha Alloys</b>			
<b>Titanium Grade 12</b> Ti-CODE 12™ Ti-0.3Mo-0.8Ni	آلیاژ تیتانیوم گرید ۱۲ اندکی آلیاژی شده نزدیک آلیاژ آلفا و دارای استحکام بهبود یافته در دماهای بالا و اپتیمم مجاز طراحی کد ASME می باشد. این متریال به سادگی قابل جوشکاری است و دارای مقاومت بخوردگی شیری فوق العاده ای است. این آلیاژ در محیط های اکسندده قوی و احیایی ملایم بسیار مقاوم بخوردگی است. گرید ۱۲ دارای ۰/۳ درصد مولیبدن و ۰/۸ درصد نیکل است که مقاومت بخوردگی را افزایش می دهد.	AMS 4902, ASME B861, ASME B862, ASME SB-381, ASME SB-348, ASTM B265, ASTM B338, ASTM B348, ASTM B337, ASTM B381, ASTM B861, ASTM B862, AWS A5.16	CP, DS, GB, HE, HR, OP
<b>Ti-2.5Cu</b> Ti 230	تیتانیوم ۲۳۰ دارای قابلیت شکل پذیری و قابلیت جوشکاری و خواص مکانیکی بهتر از گریدهای غیرآلیاژی تیتانیوم در دماهای بالا (تا ۲۳۰ درجه سانتی گراد) است. این آلیاژ را میتوان در شرایط آتیل جهت فرایند شکل دهی مورد استفاده قرار داد. این آلیاژ در اسکلت هواپیما و هم در مجرای عبور سیال در موتورهای توربین گازی مورد استفاده قرار می گیرد. انجام عملیات پیرسازی سبب افزایش خواص کششی آلیاژ تا حدوذ ۲۵ درصد در دمای اتاق و تا حدود دو برابر در دماهای بالا می گردد.	MSRR 8603, MSRR 8602/8605, TA52, MSRR8606, WL 3.7124, TA 53	
<b>Titanium Grade 28</b> Ti-3Al-2.5V with 0.1% Ru Ti-3-2.5Ru	آلیاژ Ti-3Al-2.5V آلیاژ نزدیک آلفا است که استحکام دهی آن توسط کرنش سختی انجام می گیرد. افزودن روتنیوم به این آلیاژ سبب افزایش مقاومت بخوردگی آن شده است.	ASTM B265, ASTM B338, ASTM B348, ASTM B363, ASTM B383, ASTM B861, ASTM B862	CP, GB, HE, OP, PD
<b>Titanium Grade 9</b> Ti-3-2.5 Ti-3Al-2.5V	آلیاژ Ti-3Al-2.5V یک آلیاژ آلفا است که استحکام دهی آن توسط کرنش سختی انجام می گیرد. این آلیاژ دارای انعطاف پذیری و تافنس خوبی است. از آن در تولید محصولات مدور از مسیرهای عبور سیال در هواپیما تا اسکلت دوچرخه استفاده می شود. تیتانیوم گرید ۹ دارای استحکام متوسط مابین گریدهای ۴ و ۵ است. این گرید دارای مقاومت بخوردگی عالی است و در هواپیما و کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد. تیتانیوم گرید ۹ می تواند در دماهای بالاتر از گرید ۱ تا ۴ استفاده شود و دارای خواص نورد سرد خوبی دارد.	AMS 4943, AMS 4944, AMS 4945, ASTM B265, ASTM B338, ASTM B348, ASTM B381, ASTM B861, ASTM B862, AWS A5.16	AD, CG, NS, SR
<b>Titanium Grade 6</b> Ti-5Al-2.5Sn A-110AT MMA-5137	این آلیاژ دارای قابلیت جوشکاری و پایداری و مقاومت به اکسیداسیون در دماهای بالا است. کاربردهای این فلز در فورجینگ و ورق قطعات فلزی از قبیل پره های توربوکمپرسور جت، مجراهای عبور سیال و پره های توربین بخار است. فورجینگ این آلیاژ بدلیل محدوده باریک فورج پذیری آن و افت شدید استحکام تسلیم بسیار مشکل است.	AMS 4910, AMS 4926, AMS 4966, ASTM B265, ASTM B348, ASTM B381, MIL-T-9046, MIL-T-9047, MIL-T-81556, MIL-F-83142	GT
<b>Ti-5Al-2.5Sn ELI</b> 5-2.5 Extra Low Interstitial	این آلیاژ بطور متداول در کاربردهای برودتی مصرف دارد ، همچنین برای پمپ های اکسیژن و هیدروژن مایع در فضایی شاتل استفاده شده است.	AMS 4909 AMS 4924	SS
<b>Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo</b> Ti-6-2-4-2	این آلیاژ برای محصولات نورد و فورج شده در موتورهای جت و اسکلت هواپیما جایگه استحکام، تافنس و مقاومت به خزش بالا مورد نیاز است ، استفاده می شود.	AMS 4975, AMS 4976, MIL-T-9046, MIL-T-9047, MIL-T-81915, MIL-T-83142	AF, AU, GT
<b>Ti-8Al-1Mo-1V</b> Ti-8-1-1-1	این آلیاژ اصولا در موتور هواپیما مورد استفاده قرار می گیرد. ساخت مقاطع بزرگتر از این آلیاژ مشکل است. این آلیاژ دارای مدول بالا و دانسیته پایین در میان تمام آلیاژهای تیتانیوم است و دارای استحکام خزشی خوب و قابلیت جوشکاری با گاز خنثی و جوشکاری مقاومتی می باشد. این گرید در شرایط آتیل برای کاربردهایی از قبیل اسکلت هواپیما و قطعات موتور جت که مستلزم داشتن استحکام بالا، مقاومت خزش عالی و نسبت استیفنس به دانسیته خوب است، مورد استفاده قرار می گیرد.	AMS 4915, AMS 4916, AMS 4933, AMS 4955, AMS 4972	GT
<b>Ti 834</b> Ti-5.8Al-4.0Sn-3.5Zr-0.7Nb-0.5Mo-0.35Si-0.06C	Ti 834 در دماهای بالا تا حدود ۶۰۰ درجه سانتی گراد مورد استفاده قرار می گیرد و در ابتدا در موتور هواپیما مورد استفاده قرار گرفت. این آلیاژ در زمره آلیاژهای نزدیک آلفا، قابل جوشکاری است و دارای یک میکروساختار آلفا/بتا ریز دانه است که سبب بهترین ترکیب از استحکام کششی، مقاومت به خستگی و خزش می گردد. بعلاوه در مقایسه با دیگر آلیاژهای تیتانیوم مقاوم به خزش، تیتانیوم ۸۳۴ در دماهای بالا تا ۷۰۰ درجه سانتی گراد تنش زدایی میشود.	CP5238, CPW534, DMD 9003, MSRR8679, MSRR8681, MTS1267	
<b>Ti-5Al-1Sn-1Zr-1V-0.8Mo</b> TIMETAL 5111	یک آلیاژ تیتانیوم نزدیک آلفا با استحکام میانی است. این آلیاژ دارای تافنس بالا، جوش پذیری خوب، مقاومت به ترک در برابر خوردگی تنش و مقاومت به خزش در دمای اتاق است. این آلیاژ بطور ایده ال برای کاربرد در محیط دریا جایگه تافنس و مقاومت بخوردگی اهمیت اساسی دارند، مورد استفاده قرار می گیرد.	ASTM 468 (32), ASTM B265, ASTM B348, ASTM F467, ASTM F467(32), ASTM F468, ASTM Grade 32	

نام و گرید آلیاژ	توضیحات	استانداردها	کاربردها
<b>Alph-Beta Alloys</b>			
<b>Titanium Grade 5</b> Ti-6Al-4V Ti-6-4	آلیاژ Ti-6Al-4V پرکاربردترین و نیز متداولترین آلیاژ تیتانیوم آلفا-بتا است. این آلیاژ قابل ریخته گری است و بصورت ریختگی در محصولات ورزشی مورد استفاده قرار می گیرد. شکل کار شده این آلیاژ در هوا و فضا، پزشکی و دیگر کاربردها جایگاه استحکام متوسط، نسبت استحکام به وزن خوب و خواص خوردگی مطلوب مورد نیاز است مورد استفاده قرار می گیرد، که ترکیبی از استحکام بالا و تافنس را ارائه می دهد. تیتانیوم گرید ۵ دارای خواص جوشکاری و ساخت خوبی است.	AMS 4911, AMS 4920, AMS 4928, AMS 4965, AMS 4963, AMS 4967, AMS-T-9047, ASTM B348, ASTM B367, ASTM F1472, AWS A5.16	AD, AF, AU, BA, CG, GT, HE, LG, NS, PD, SR, SS
<b>Grade 23 Titanium</b> Ti-6Al-4V ELI Ti 6-4ELI	تیتانیوم گرید ۲۳ مشابه با گرید ۵ اما با میزان اکسیژن، نیتروژن و آهن پایین تر است. این آلیاژ دارای انعطاف پذیری و تافنس شکست بهتر نسبت به تیتانیوم گرید ۵ است. شکل کار شده آن در جایگاه استحکام متوسط، نسبت استحکام به وزن خوب، و خواص خوردگی مطلوب مورد نیاز است، استفاده می شود. این آلیاژ بطور متداول در ایمپلنت های پزشکی جایگاه استحکام اهمیت بالایی دارد، مورد استفاده قرار می گیرد.	AMS 4907, AMS 4956, ASTM B265, ASTM B348, ASTM B363, ASTM B381, ASTM B861, ASTM B862, ASTM B863, ASTM F136, AWS A5.16	AF, MI, BA, NS, OP, SS
<b>Titanium Grade 29</b> 6Al-4V ELI with 0.1% Ru Ti-6-4 Ru	تیتانیوم گرید ۲۹ مشابه تیتانیوم گرید ۵ با میزان مشابه اکسیژن، نیتروژن و آهن است در حالیکه مقداری روتنیوم جهت افزایش مقاومت به خوردگی به آن افزوده شده است. شکل کار شده این آلیاژ در جایگاه استحکام متوسط و نسبت استحکام به وزن خوب و خواص خوردگی مطلوب مورد نیاز است، استفاده می شود.	ASTM B265, ASTM B348, ASTM B363, ASTM B381, ASTM B861, ASTM B862, ASTM B863, AWS A5.16	CP, DS, GB, OP, PD
<b>Ti-6Al-7Nb</b>	آلیاژ تیتانیوم استحکام بالا که در ایمپلنتهای پزشکی مورد استفاده قرار می گیرد.	ASTM. F1295, ISO 5832-11	MI
<b>Ti-6Al-6V-2Sn</b> Ti-6-6-2	این آلیاژ عمدتاً در شرایط آتیل یا آتیل انحلالی و پیر شده مورد استفاده قرار میگیرد. این آلیاژ قابل عملیات حرارتی، و دارای استحکام بالا با انعطاف پذیری و تافنس پایین تر نسبت به تیتانیوم گرید ۵ است و جوشکاری آن مشکل است. شکل دهی سرد تیتانیوم 6Al-6V-2Sn بدلیل استحکام بالا و حالت ارتجاعی آن مشکل است. این گرید توسط جوشکاری به روش گاز خنثی محافظ و جوشکاری ذوبی قابل جوشکاری است اما ناحیه تحت تاثیر حرارت انعطاف پذیری و تافنس کمتری نسبت به فلز پایه خواهد داشت. سختی تیتانیوم ۲-۶-۶ تقریباً ۳۶-۳۸ راکول سی است. این گرید در ابتدا برای اسکلت هواپیما و قطعات موتور جت، بدنه موتور راکت و قطعات مهمات سازی مورد استفاده قرار گرفته است. این آلیاژ برای فورجینگ ها و اکستروژن هایی که استحکام بیشتر از Ti-6Al-4V نیاز دارند استفاده می شود که در بدنه های موتور راکت، اسکلت هواپیما مورد استفاده قرار می گیرند.	AMS 4918, AMS 4936, AMS 4971, AMS 4978, AMS 4979, MIL-T-9046, MIL-T-9047, MIL-T-81556, MIL-T-83142	AF
<b>Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo</b> Ti-6-2-4-6	این گرید یک آلیاژ غنی از آلفا-بتا است که در کاربردهای هوایی و منابع نفت و گاز مورد استفاده قرار می گیرد. ساخت و شکل دهی این آلیاژ به مراتب سخت تر از آلیاژ مشابه آن یعنی آلیاژ Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo است. این آلیاژ دارای استحکام، پایداری و مقاومت به خزش در دماهای بالا تا ۵۵۰ درجه سانتی گراد است ضمن آنکه قابل عملیات حرارتی در بخش هایی با اندازه های بالا تا ۱ اینچ است و تقریباً دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد مورد استفاده قرار میگیرد. این آلیاژ آلفا-بتا ترکیبی از مقاومت به خوردگی و استحکام خوب و جوش پذیری و قابلیت ساخت را با هم دارد.	AMS 4981	GT
<b>Ti-7Al-4Mo</b> HA 146 C-135A Mo	میله ها و فورجینگ های Ti-7Al-4Mo اصولاً برای دیسک های موتور جت و پره های کمپرسور استفاده می شوند.	AMS 4970, MIL-T-9047, MIL-T-81556, MIL-T-83142	
<b>Ti-4Al-4Mo-2Sn</b> Ti-550	این آلیاژ دارای استحکام بالا و یک آلیاژ آلفا-بتا قابل فورج است. در شرایط آتیل انحلالی و پیر شده دارای استحکام و خواص خستگی بالاتر در مقایسه با Ti 6-4 و همراه با خواص کششی و خزشی دمای بالا تا ۴۰۰ درجه سانتی گراد می باشد. این آلیاژ دارای کاربردهایی در صنایع هوا و فضا در موتورهای هوایی و قطعات بدنه هواپیما می باشد. آلیاژهای این گروه را می توان با روش های الکترون بیم یا لیزر جوشکاری نمود. همچنین این گروه دارای خواص شکل دهی سوپرپلاستیک خوب و بالانس عالی میان تافنس و استحکام می باشند.	MSRR 8626, MSRR 8663/8634, TA 45/46, TA 47	GT
<b>Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.15Si</b> Ti-6-2-2-2-2	این آلیاژ در شکل های ورق، میله و فورجینگ تولید شده است. عملیات حرارتی سه بعدی سبب مینیمم کردن خسارات ناشی از ترانس ابعادی می گردد.	AMS 4898	AF, SS

نام و گرید آلیاژ	توضیحات	استانداردها	کاربردها
<b>Near-Beta and Beta Alloys</b>			
<b>Ti-5Al-2Zr-2Sn-4Mo-4Cr</b>	آلیاژ نزدیک آلفا با استحکام بالا و قابلیت سخت شدن عمیق می باشد. شکل فورج آن اصولاً در قطعات توربین های گازی نظیر دیسک های مورد استفاده در فن و کمپرسور استفاده می شود. همچنین این آلیاژ دارای استحکام و مقاومت خزشی بالاتر نسبت به Ti-6Al-4V در محدوده دماهای میانی می باشد.	AMS 4995	
<b>Grade 19</b> Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr 3-8-6-4-4 Ti Beta-C	یک آلیاژ بتا است که رنج وسیعی از خواص مکانیکی را دارد. در شرایط آتیل انحلالی، این آلیاژ بسیار انعطاف پذیر بوده و می تواند بسادگی تحت عملیات کار سرد قرار گیرد. افزایش سطح استحکام با انجام کار سرد، آتیل انحلالی، پیرسازی یا ترکیبی از این فرایندها قابل حصول است. این آلیاژ بطور متداول برای فنرها و بست های مورد استفاده در هواپیما، لوله ها در صنایع نفت و گاز و نیز بعنوان سیم در وسایل ورزشی و جواهرات مورد استفاده قرار می گیرد.	AMS 4957, AMS 4958, ASTM B265, ASTM B348	GB, LG, NS, PD, SS
<b>Ti-13V-11Cr-3Al</b> Ti-13-11-3 B120VCA	این یک آلیاژ بتا است که اصولاً برای تولید ورق مورد استفاده قرار می گیرد. این آلیاژ قابل کار سرد بوده که می تواند برای رسیدن به بالاترین استحکام تحت عملیات پیرسازی قرار گیرد. زمان پیرسازی برای این آلیاژ به مراتب طولانی تر از دیگر آلیاژهای بتا است. این آلیاژ عموماً برای فنرها مورد استفاده قرار می گیرد.	AMS 4917 AMS 4959	
<b>TIMETAL 21S</b> Ti-15Mo-3Nb-3Al-.2Si	یک آلیاژ پایدار تیتانیوم بتا که سبب کاهش وزن بسیار بالایی نسبت به دیگر مواد مهندسی می شود. این آلیاژ دارای قابلیت شکل دهی سرد خوب و مقاومت به اکسیداسیون، استحکام دمای بالا، مقاومت خزشی و پایداری حرارتی است.	ASTM B265, ASTM B348, ASTM B363, ASTM B381, ASTM B861, ASTM B862 ASTM B863, ASME SB-265, ASME SB-348, ASME SB-363	
<b>Ti 10V- 2Fe- 3Al</b>	آلیاژی از خانواده بتا که سخت تر و مستحکم تر از بسیاری آلیاژهای تیتانیوم است. این آلیاژ قابل عملیات حرارتی و جوشکاری و شکل دهی آسان است. ضمن آنکه ماشینکاری آن نسبت به بقیه آلیاژهای تیتانیوم مشکل تر است.	AMS 4983, AMS 4984, AMS 4986, AMS 4987	
<b>15V-3Cr-3Sn-3Al</b> TIMETALR15.3	این آلیاژ قابلیت سخت شدن بالا توسط عملیات پیرسازی و کرنش سختی را دارد. و اصولاً بصورت ورق و نیز بعنوان جایگزین برای ورق های شکل دهی گرم تیتانیوم گرید ۵ مورد استفاده قرار می گیرد. این آلیاژ قابلیت ریخته گری بسیار خوبی دارد و در کاربردهای هوایی عمدتاً تحت استاندارد AMS 4914 مورد استفاده قرار میگیرد.	AMS 4914 ASTM B265	
<b>Ti-10V-2Fe-3Al</b> Ti-10-2-3	این آلیاژ قابل عملیات حرارتی، جوشکاری و شکل دهی است و ماشینکاری آن از بسیاری آلیاژهای تیتانیوم مشکل تر است. این آلیاژ یک آلیاژ نزدیک بتا است که بسته به نوع عملیات حرارتی می تواند رنج وسیعی از استحکام ها را بخود بگیرد و دارای قابلیت فورج عالی، تافنس بالا و قابلیت سخت شدن است که سبب ایجاد خواص خوب در مقاطعی با ضخامت بالا تا ۵ اینچ می شود. این آلیاژ برای قطعات فورج هواپیما با استحکام بالا مورد استفاده قرار می گیرد. قابلیت فورج پذیری عالی این آلیاژ امکان استفاده آن برای تولید قطعات فورج بعنوان محصول نهایی را فراهم می آورد. این آلیاژ سخت تر و مستحکم تر از بسیاری آلیاژهای تیتانیوم است.	AMS 4983A, AMS 4984, AMS 4986, AMS 4987	
<b>AC:</b> Anode/cathode/cell components <b>AD:</b> Aircraft ducting, hydraulic, tubing, misc. <b>AF:</b> Airframe components <b>AP:</b> Air pollution control equipment <b>AR:</b> Architectural, roofing <b>AU:</b> Automotive components <b>BA:</b> Ballistic armor <b>CG:</b> Consumer products (watches, eye glass frames)	<b>CP:</b> Chemical processing equipment <b>DS:</b> Desalination, brine concentration/evaporation <b>FP:</b> Food processing/pharmaceutical <b>GB:</b> Geothermal brine energy extraction <b>GT:</b> Gas turbine engine components <b>HE:</b> Hydrometallurgical extraction/electrowinning <b>HR:</b> Hydrocarbon refining/processing <b>LG:</b> Landing gear components	<b>MI:</b> Medical implants/devices, surgical instrument <b>NS:</b> Navy ship components <b>OP:</b> Offshore hydrocarbon production/drilling <b>PB:</b> Pulp/paper bleaching/washing equipment <b>PD:</b> Hydrocarbon production/drilling <b>PP:</b> Power plant cooling system components <b>SR:</b> Sports/recreational equipment <b>SS:</b> Space vehicles/structures, missile componen	



## جدول ترکیب شیمیایی تیتانیوم های خالص و آلیاژی

Common Name	N	C	H	Fe	O	Pd	Ru	Al	V	Mo	Sn	Zr	Si	Other	Ti
<b>Commercially Pure (Unalloyed) Ti Grades</b>															
CP Grade 1	0.03	0.1	0.015	0.2	0.18										Bal.
CP Grade 11	0.03	0.1	0.015	0.2	0.18	0.12 0.25									Bal.
CP Grade 17	0.03	0.1	0.015	0.2	0.18	0.04 0.08									Bal.
CP Grade 27	0.03	0.1	0.015	0.2	0.18	0.08 0.14									Bal.
CP Grade 2	0.03	0.1	0.015	0.3	0.25										Bal.
CP Grade 7	0.03	0.1	0.015	0.3	0.25	0.12 0.25									Bal.
CP Grade 16	0.03	0.1	0.015	0.3	0.25	0.04 0.08									Bal.
CP Grade 26	0.03	0.1	0.015	0.3	0.25		0.08 0.14								Bal.
CP Grade 3	0.05	0.1	0.015	0.3	0.35										Bal.
CP Grade 4	0.05	0.1	0.015	0.5	0.4										Bal.
<b>Alpha and Near Alpha Alloys</b>															
Grade 12	0.03	0.1	0.015	0.3	0.25					0.2 0.4				Ni 0.6-0.9	Bal.
Ti-2.5Cu	0.03	0.1	0.01	0.2	0.2									Cu 2.0-3.0	Bal.
Grade 9	0.03	0.1	0.015	0.25	0.15			2.5 3.5	2.0 3.0						Bal.
Grade 28	0.03	0.1	0.015	0.25	0.15		0.08 0.14	2.5 3.5	2.0 3.0						Bal.
Grade 6	0.05	0.1	0.02	0.5	0.2			4.5 5.75			2.0 3.0			Y 0.01	Bal.
5 2.5Sn ELI	0.04	0.1	0.013	0.25	0.12			4.5 5.75			2.0 3.0			Y 0.01	Bal.
Ti 6Al 2Sn 4Zr 2Mo	0.05	0.1	0.125	0.1	0.15			5.5 6.5		1.8 2.2	1.8 2.2	3.6 4.4	0.06 0.10	Y 0.01	Bal.
Ti 8Al 1Mo 1V	0.05	0.1	0.013	0.3	0.15			7.35 8.35	0.75 1.25	0.75 1.25					Bal.
Ti 10V 2Fe 3Al	0.05	0.1	0.015	1.6 2.2	0.13			2.6 3.4	9.0 11.0						Bal.
Ti 834	0.03	0.04 0.08	0.006	0.05	0.07 0.15			5.5 6.1		0.25 0.75	3.0 5.0	3.0 5.0	0.20 0.60	Nb 0.5-1.0	Bal.
Ti 5Al 1Sn 1Zr 1V 0.8Mo	0.03	0.1	0.015	0.25	0.11			4.5 5.5	0.6 1.4	0.6 1.2	1.4	0.6 1.4	0.06 0.14		Bal.
<b>Alpha Beta Alloys</b>															
Grade 5	0.05	0.1	0.125	0.4	0.2			5.50 6.75	3.5 4.5					Y 0.01	Bal.
Grade 23	0.03	0.1	0.02	0.25	0.13			5.50 6.75	3.5 4.5						Bal.
Grade 29	0.03	0.1	0.015	0.25	0.13		0.08 0.14	5.5 6.5	3.5 4.5						Bal.
Ti 6Al 7Nb	0.05	0.1	0.009	0.25	0.2			5.5 6.5		0.5				Nb 6.5-7.5	Bal.
Ti 6Al 6V 2Sn	0.04	0.1	0.02	0.35 1.00	0.2			5.0 6.0	5.0 6.0		1.5 2.5			Cu 0.35- 1.00	Bal.
Ti 6Al 2Sn 4Zr 6Mo	0.04	0	0.125	0.15	0.15			5.5 6.5	3.6 4.4	5.5 6.5	1.75 2.25				Bal.
Ti 7Al 4Mo	0.05	0.1	0.013	0.3	0.2			6.5 7.3		3.5 4.5				Y 0.01	Bal.
Ti 4Al 4Mo 2Sn	0.05		0.013	0.2	0.27			3.0 5.0		3.0 5.0	1.5 2.5		0.3 0.7		Bal.
Ti 6Al 2Sn 2Zr 2Mo 2Cr 0.15Si	0.03	0.1	0.013	0.15	0.15			2.25 6.25		1.75 2.25	1.75 2.25	1.75 2.25	0.12 0.20	Cr 1.75- 2.25	Bal.
<b>Near Beta and Beta Alloys</b>															
Ti 5Al 2Zr 2Sn 4Mo 4Cr	0.04		0.013	0.3	0.08 0.13			4.5 5.5		3.5 4.5	1.5 2.5	1.5 2.5		Cr 3.5-4.5	Bal.
Ti 3Al 8V 6Cr 4Mo 4Zr	0.03	0.1	0.03	0.3	0.12			3.0 4.0	7.5 8.5	3.5 4.5		3.5 4.5		Cr 5.5-6.5 Y 0.01	Bal.
Ti 13V 11Cr 3Al	0.05	0.1	0.025	0.35	0.17			2.5 3.5	12.5 14.5					Cr 10-12	Bal.
Ti 15Mo 3Nb 3Al 0.2Si	0.05	0.1	0.015	0.4	0.17			2.5 3.5		14.0 16.0			0.15 0.25	Nb 2.4-3.2	Bal.
Ti 10V 2Fe 3Al	0.05	0.1	0.015	1.6 2.2	0.13			2.6 3.4	9.00 11.0						Bal.
15V 3Cr 3Sn 3Al	0.03	0.1	0.015	0.3	0.13			2.5 3.5	14 16		2.5 3.5			Cr 2.5-3.5	Bal.

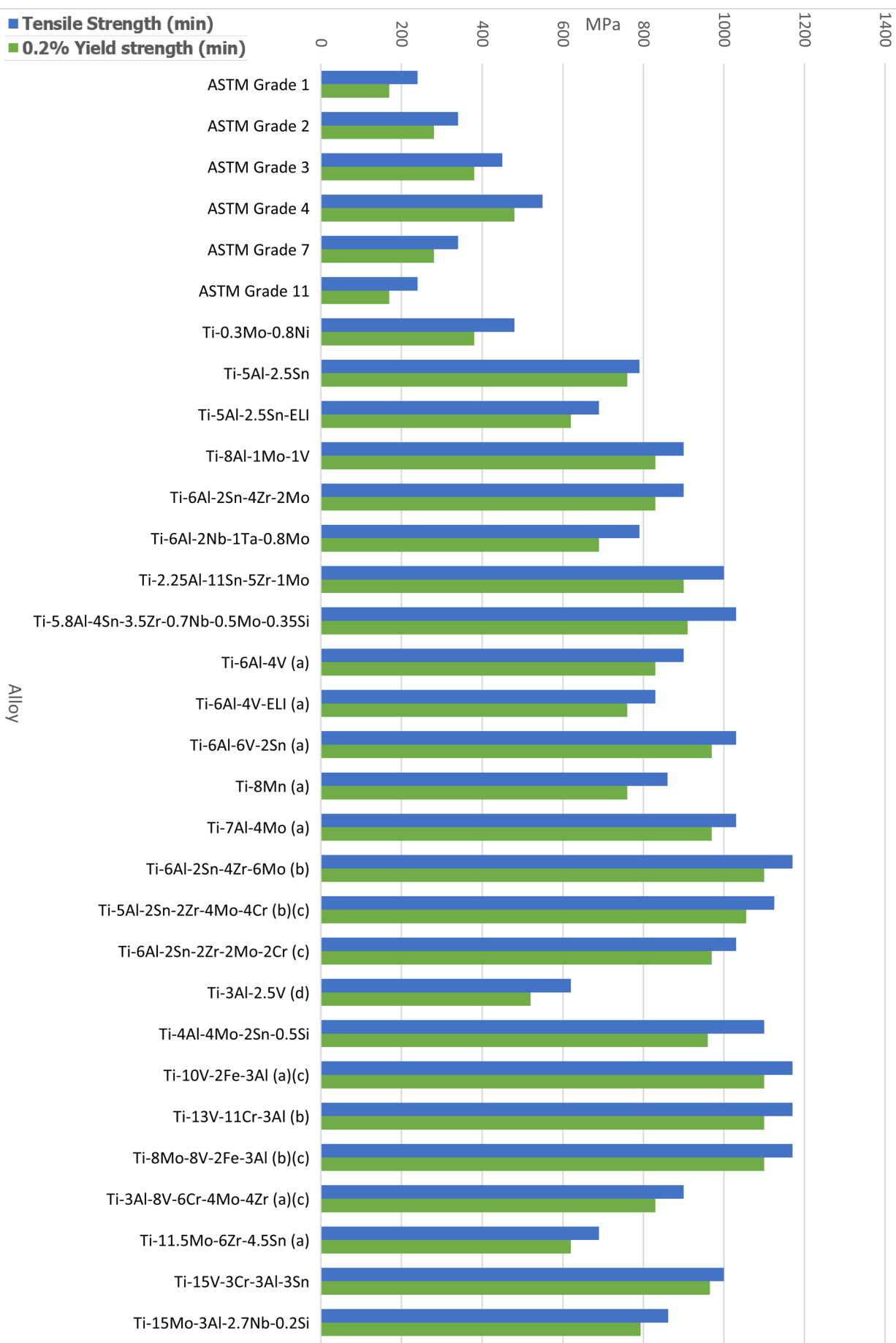
## جدول مقایسه خواص تیتانیوم و آلیاژهای آن

Titanium Alloy	Condition	Min. UTS (Mpa)	Min. 0.2% VS (Mpa)	Min. El. (%)	Min. RA (%)	Min. Charpy V- Notch Impact @ R.T. , Joules	Hardness	Beta Transus °C	Weldability
CP Grade 1	As specified	240	138	24	30	95 - 162	70 HRB	890	Excellent
CP Grade 11	As specified	240	138	24	30	95 - 162	70 HRB	890	Excellent
CP Grade 17	As specified	240	170	24	30	95 - 162	70 HRB	890	Excellent
CP Grade 27	As specified	240	170	24	30	95 - 162	70 HRB	890	Excellent
CP Grade 2	As specified	345	275	20	30	40 - 82	82 HRB	913	Excellent
CP Grade 7	As specified	345	275	20	30	40 - 82	82 HRB	913	Excellent
CP Grade 16	As specified	345	275	20	30	40 - 82	82 HRB	913	Excellent
CP Grade 26	As specified	345	275	20	30	40 - 82	82 HRB	913	Excellent
CP Grade 3	As specified	450	380	18	30	24 - 48	90 HRB	920	Very Good
CP Grade 4	Condition	550	483	15	25	13 - 27	100 HRB	949	Good
Titanium Grade 12	As specified	483	345	18	25	16 - 27	88 HRB	890	Excellent
Ti-2.5Cu	As specified	610	490	10	25			895	
Titanium Grade 9	As specified	620	483	15	25	48 - 102	25 HRC	935	Very Good
Titanium Grade 28	Annealed	620	483	15	25	48 - 102	26 HRC	936	Very Good
Titanium Grade 6	Forged Bars ≤ 4"	792	758	10	25	14	34 HRC	1038	Good
5-2.5Sn ELI	Forgings ≤ 3"	689	620	10	25	20	33 HRC	1038	Very Good
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	Annealed, Forgings < 3"	896	827	10	25	-	34 HRC	999	Fair
Ti-8Al-1Mo-1V	Annealed	895	828	10	20	20 - 34	36 HRC	1038	Fair
	Heat Treated	1180	1070	10	20				
	Heat Treated, (800F)	620	480	10	25				
Ti 834	Forgings	1030	910	7.5	7.5				
	Forgings tested(1112°F)	585	450	11	20				
Ti5Al1Sn1Zr1V0.8Mo	As specified (plate)	689	586	10	-				
Titanium Grade 5	As specified	895	828	10	25	20 - 27	33 HRC	996	Very Good
	STA	1103	1034	10	20				
	Castings	895	828	6	10				
Titanium Grade 23	Beta-Annealed	828	759	10	25	24- 40	32 HRC	982	Very Good
Titanium Grade 29	As specified	828	759	10	25	24- 40	32 HRC	982	Very Good
Ti-6Al-7Nb	Bar	900	800	10	25	—	—	1010	Good
Ti-6Al-6V-2Sn	Forging < 1"	1206	1103	8	20	16 - 19	38 HRC	946	Limited
	Annealed Forgings	1035	965	10	20				
Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	STA	1172	1103	8-10	15-20	—	39 HRC	946	Limited
Ti-7Al-4Mo	STA Forgings <1"	1172	1103	8	15				
	Forged, Annealed <1"	1000	931	10	20				
Ti-4Al-4Mo-2Sn	Bar/Rod <1"	1100	960	9	20	23	37 HRC	975	Limited
	Bar/Rod/Forgings 1-4"	1050	920	9	20				
	Bar/Rod/Forgings 4-6"	1000	870	9	20				
	Plate 0.2-2.5 in"	1030	900	9	20				
	Rod ST 1"	1080	930	12	40				
Rod ST+A 1"	1200	1070	14	42					
Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.15Si	Sheet Annealed	1069	1034	5-8	n/a	16	—	960	
	STA	1172	1103	12	20				
Ti-5Al-2Zr-2Sn-4Mo-4Cr	As specified	1165	1110	10	32	—	40 HRC	890	—
Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr	Annealed	793	759	15	n/a	10.8-16.3	30-45 HRC	730	Fair
	STA	1172	1103	6	15				
	ST+Cold Work 25%	1103	1000	15	45				
	ST+Cold Work 25% + Age	1276-1344	1207-1276	15	30-40				
Ti-13V-11Cr-3Al	ST	89	82	-	-				
	Sprint Temper	1241	n/a	6	2				
	STA	1172	1103	4	-				
	ST+ Cold Work	1207-1276	1103-1172	8	30				
	ST+ Cold Work + Age	1448-1517	n/a	5-8	n/a				
Ti-15Mo-3Nb-3Al-.2Si	ST	793	759	15	-				
	STA	1024	965	6	-				
Ti 10V- 2Fe- 3Al	STA	1100	1000	6	10	—	32-41 HRC	812	Fair
	STOA	965	-	-	-				
15V-3Cr-3Sn-3Al		1000	966	7	-				

## جدول مقایسه خواص مکانیکی تیتانیوم و آلیاژهای آن

Designation	Tensile strength (min)		0.2% Yield strength (min)	
	MPa	ksi	MPa	ksi
<b>Unalloyed Grades</b>				
ASTM Grade 1	240	35	170	25
ASTM Grade 2	340	50	280	40
ASTM Grade 3	450	65	380	55
ASTM Grade 4	550	80	480	70
ASTM Grade 7	340	50	280	40
ASTM Grade 11	240	35	170	25
<b><math>\alpha</math> and Near - <math>\alpha</math> Alloys</b>				
Ti-0.3Mo-0.8Ni	480	70	380	55
Ti-5Al-2.5Sn	790	115	760	110
Ti-5Al-2.5Sn-ELI	690	100	620	90
Ti-8Al-1Mo-1V	900	130	830	120
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	900	130	830	120
Ti-6Al-2Nb-1Ta-0.8Mo	790	115	690	100
Ti-2.25Al-11Sn-5Zr-1Mo	1000	145	900	130
Ti-5.8Al-4Sn-3.5Zr-0.7Nb-0.5Mo-0.35Si	1030	149	910	132
<b><math>\alpha</math>-<math>\beta</math> Alloys</b>				
Ti-6Al-4V (a)	900	130	830	120
Ti-6Al-4V-ELI (a)	830	120	760	110
Ti-6Al-6V-2Sn (a)	1030	150	970	140
Ti-8Mn (a)	860	125	760	110
Ti-7Al-4Mo (a)	1030	150	970	140
Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo (b)	1170	170	1100	160
Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr (b)(c)	1125	163	1055	153
Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr (c)	1030	150	970	140
Ti-3Al-2.5V (d)	620	90	520	75
Ti-4Al-4Mo-2Sn-0.5Si	1100	160	960	139
<b><math>\beta</math> Alloys</b>				
Ti-10V-2Fe-3Al (a)(c)	1170	170	1100	160
Ti-13V-11Cr-3Al (b)	1170	170	1100	160
Ti-8Mo-8V-2Fe-3Al (b)(c)	1170	170	1100	160
Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr (a)(c)	900	130	830	120
Ti-11.5Mo-6Zr-4.5Sn (a)	690	100	620	90
Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn	1000(b)	145(b)	965(b)	140(b)
	1241(f)	180(f)	1172(f)	170(f)
Ti-15Mo-3Al-2.7Nb-0.2Si	862	125	793	115

## مقایسه خواص مکانیکی تیتانیوم و آلیاژهای آن



## جداول مقایسه استانداردهای تیتانیوم و آلیاژهای آن

USA		Russia		China	
Grade 1	Unalloyed Ti ("Pure") 35A	BT1-00	Industrial Pure Titanium	TAD	Titanium Iodide
Grade 2	Unalloyed Ti ("Pure") 50A	BT1-0	Industrial Pure Titanium	TA1	Industrial Unalloyed (Pure) Titanium
Grade 3	Unalloyed Ti ("Pure") 65A	OT4-0	Ti-0.8Al-0.7Sn	TA2	Industrial Unalloyed (Pure) Titanium
Grade 4	Unalloyed Ti ("Pure") 80A	OT4-1	Ti-2Al-1.5Mn	TA3	Industrial Unalloyed (Pure) Titanium
Grade 5	Ti-6Al-4V	OT4	Ti-3Al-1.5Mn	TA4	Ti-3Al
Grade 6	Ti-5Al-2.5V	BT5	Ti-5Al	TA5	Ti-4Al-0.005B
Grade 7	Ti-0.2Pd	BT5-1	Ti-5Al-2.5Sn	TA6	Ti-5Al
Grade 9	Ti-3Al-2.5V	BT6	Ti-6Al-4V	TA7	Ti-5Al-2.5Sn
Grade 10	Ti-11.5Mo-4.5Sn-6Zr	BT6c	Ti-6Al-4V	TA8	Ti-5Al-2.5Sn-3Cu-1.5Zr
Grade 11	Ti-0.2Pd	BT3-1	Ti-6Al-1.5Cr-2.5Mo-0.5Fe-0.3Si	TC1	Ti-2Al-1.5Mn
Grade 12	Ti-0.3Mo-0.75Ni	BT9	Ti-6.5Al-3.5Mo-0.3Si	TC2	Ti-3Al-1.5Mn
A-1	Ti-5Al-2.5Sn	BT/4	Ti-5Al-3Mo-1.5V	TC3	Ti-4Al-4V
A-3	Ti-6Al-2Nb-1Ta	BT16	Ti-2.8Al-5Mo-5V	TC4	Ti-6Al-4V
A-4	Ti-8Al-1Mo-1V	BT18	Ti-8Al-0.6Mo-11Zr-1Nb	TC6	Ti-6Al-1.5Cr-2.5Mo-0.5Fe-0.3Si
AB-1	Ti-6Al-4V	BT19	Ti-3Al-5.5Mo-3.5V-5.5Cr-1Zr	TC7	Ti-6Al-0.6Cr-0.4Fe-0.4Si-0.01B
AB-3	Ti-6Al-6V-2Sn	BT20	Ti-6Al-1.5Mo-1.5V	TC9	Ti-6.5Al-3.5Mo-2.5Sn-0.3Si
AB-4	Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	BT22	Ti-5.5Al-5V-5Mo-1.5Cr-1.0Fe	TC10	Ti-6Al-6V-2Sn-0.5Cu-0.5Fe
AB-5	Ti-3Al-2.5V	nT-3B	Ti-4Al-2V	TC11	Ti-6Al-3.5Mo-1.5Zr-0.3Si
B-1	Ti-3Al-13V-11Cr	nT-7M	Ti-2Al	TB2	Ti-5Mo-5V-3Cr-3Al

## محدوده عملیات آهنگری گرم (فورجینگ) برای تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم

آلیاژ	$\beta_t$		پروسه	دمای فورج	
	°C	°F		°C	°F
<b><math>\alpha</math> &amp; near <math>\alpha</math> alloys</b>					
Ti-CP (c)	915	1675	C	815 – 900	1500 – 1650
Ti-5Al-2.5Sn (c)	1050	1925	C	900 – 1010	1650 – 1850
Ti-5Al-6Sn-2Zr-1Mo-0.1Si	1010	1850	C	900 – 995	1650 – 1925
Ti-6Al-2Nb-1Ta-0.8Mo	1015	1860	C	940 – 1050	1725 – 1825
			B	1040 – 1120	1900 – 2050
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo(+0.2Si) (d)	990	1815	C	900 – 975	1650 – 1790
			B	1010 – 1065	1850 – 1950
Ti-8Al-1Mo-1V	1040	1900	C	900 – 1020	1650 – 1870
IMI 685 (Ti-6Al-5Zr-0.5Mo-0.25Si) (e)	1030	1885	C/B	980 – 1050	1795 – 1925
IMI 829 (Ti-5.5Al-3.5Sn-3Zr-1Nb-0.25Mo-0.3Si) (e)	1015	1860	C/B	980 – 1050	1795 – 1925
IMI 834 (Ti-5.5Al-4.5Sn-4Zr-0.7Nb-0.5Mo-0.4Si-0.06C) (e)	1010	1850	C/B	980 – 1050	1795 – 1925
<b><math>\alpha</math>-<math>\beta</math> alloys</b>					
Ti-6Al-4V (c)	995	1825	C	900 – 980	1650 – 1800
			B	1010 – 1065	1850 – 1950
Ti-6Al-4V ELI (f)	975	1790	C	870 – 950	1600 – 1740
			B	990 – 1045	1815 – 1915
Ti-6Al-6V-2Sn	945	1735	C	845 – 915	1550 – 1675
Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	940	1720	C	845 – 915	1550 – 1675
			B	955 – 1010	1750 – 1850
Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr	980	1795	C	870 – 955	1600 – 1750
Ti-17 (Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Cr-4Mo) (g)	885	1625	C	805 – 865	1480 – 1590
			B	900 – 970	1650 – 1775
Corona 5 (Ti-4.5Al-5Mo-1.5Cr)	925	1700	C	845 – 915	1550 – 1675
			B	955 – 1010	1750 – 1850
IMI 550 (Ti-4Al-4Mo-2Sn)	990	1810	C	900 – 970	1650 – 1775
IMI 679 (Ti-2Al-11Sn-4Zr-1Mo-0.25Si)	945	1730	C	870 – 925	1600 – 1700
IMI 700 (Ti-6Al-5Zr-4Mo-1Cu-0.2Si)	1015	1860	C	800 – 900	1470 – 1650
<b><math>\beta</math>/near-<math>\beta</math>/metastable <math>\beta</math> alloys</b>					
Ti-8Al-8V-2Fe-3Al	775	1425	C/B	705 – 980	1300 – 1800
Ti-10V-2Fe-3Al	805	1480	C	705 – 785	1300 – 1450
			B	815 – 870	1500 – 1600
Ti-13V-11Cr-3Al	675	1250	C/B	650 – 955	1200 – 1750
Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn	770	1415	C/B	705 – 925	1300 – 1700
Beta C (Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr)	795	1460	C/B	705 – 980	1300 – 1800
Beta III (Ti-4.5Sn-6Zr-11.5Mo)	745	1375	C/B	705 – 955	1300 – 1750
Transage 129 (Ti-2Al-11.5V-2Sn-11Zr)	720	1325	C/B	650 – 870	1200 – 1600
Transage 175 (Ti-2.7Al-13V-7Sn-2Zr)	760	1410	C/B	705 – 925	1300 – 1700

(a) C, conventional forging processes in which most or all of the forging work is accomplished below the  $\beta_t$  of the alloy for the purposes of desired mechanical property development. This forging method is also referred to as  $\alpha$ - $\beta$  forging. B,  $\beta$  forging processes in which some or all of the forging is conducted above the  $\beta_t$  of the alloy to improve hot workability or to obtain desired mechanical property combinations. C/B, either forging methodology (conventional or  $\beta$ ) is employed in the fabrication of forgings or for alloys, such as  $\beta$  alloys, that are predominately forged above their  $\beta_t$  but may be finish forged at subtransus temperatures.

(b) These are recommended metal temperature ranges for conventional  $\alpha$ - $\beta$ , or  $\beta$  forging processes for alloys for which the latter techniques are reported to have been employed. The lower limit of the forging temperature range is established for open-die forging operations in which reheating is recommended.

(c) Alloys for which there are several compositional variations (primarily oxygen or other interstitial element contents) that may affect both  $\beta_t$  and forging temperature ranges.

(d) This alloy is forged and used both with and without the silicon addition; however, the  $\beta_t$  and recommended forging temperatures are essentially the same.

(e) Alloys designed to be predominantly  $\beta$  forged.

(f) ELI, extra-low interstitial.

(g) Ti-17 has been classified as an  $\alpha$ - $\beta$  and as a near- $\beta$  titanium alloy. For purposes of this table, it is classified as an  $\alpha$ - $\beta$  alloy.

## عملیات آنیل کردن تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم

آلیاژ	دما		زمان (Hrs)	نحوه سرد کردن
	°C	°F		
CP , $\alpha$ & near $\alpha$ alloys				
Ti-Commercial Pure Gr1, 2 , 3 , 4	650-760	1200-1400	0.1-2	Air
Ti-5Al-2.5Sn	720-845	1325-1550	0.167-4	Air
Ti-8Al-1Mo-1V	790	1450	1-8	Air or fumace
Ti-2.5Cu(IMI2.30)	780-800	1450-1470	0.5-1	Air
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	900(b)	1650	0.5-1	Air
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.2Si(IMI685)	(C)	(C)	...	...
Ti-5.5Al-3.5Sn-3Zr-1Nb-0.3Mo-0.3Si(IMI829)	(C)	(C)	...	...
Ti-5.8Al-4Sn-3.5Zr-0.7Nb-0.5Mo-0.3Si(IMI834)	(C)	(C)	...	...
Ti-6Al-2Cb-1Ta-0.8Mo	790-900	1450-1650	1-4	Air
$\alpha$ - $\beta$ alloys				
Ti-6Al-4V(c)	705-790	1300-1450	1-4	Air or fumace
Ti-6Al-7Nb(IMI 367)	700	1300	1-2	Air
Ti-6Al-6V-2Sn(Cu+Fe)	705-815	1300-1500	0.75-4	Air or fumace
Ti-3Al-2.5V	650-760	1200-1400	0.5-2	Air
Ti-6Al-6V-2Sn-4Zr-6Mo	(C)	(C)	...	...
Ti-6Al-4Mo-2Sn-0.5Si(IMI550)	(C)	(C)	...	...
Ti-6Al-4Mo-2Sn-0.5Si(IMI551)	(C)	(C)	...	...
Ti-6Al-2Sn-4Mo-2Zr-4Cr(Ti-17)	(C)	(C)	...	...
Ti-7Al-4Mo	705-790	1300-1450	1-8	Air
Ti-6Al-2Sn-4Mo-2Zr-2Mo-2Cr-0.25Si	705-815	1300-1500	1-2	Air
Ti-8Mn	650-760	1200-1400	0.5-1	(d)
$\beta$ /near- $\beta$ /metastable $\beta$ alloys				
Ti-13V-11Cr-3Al	705-790	1300-1450	0.167-1	Air or water
Ti-11.5Mo-6Zr-4.5Sn(Beta III)	690-760	1275-1400	0.167-1	Air or water
Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo(Beta C)	790-815	1450-1500	0.25-1	Air or water
Ti-10V-2Fe-3Al	(C)	(C)	...	...
Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn	770	1415	C/B	...
Ti-15V-3Al-3Cr-3Sn	790-815	1450-1500	0.0833-0.25	Air

## عملیات تنش زدایی و انحلال تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم

آلیاژ	دمای انحلال		زمان انحلال (h)	نحوه سرد کردن	دمای پیرسختی		زمان (h)
	°C	°F			°C	°F	
CP , $\alpha$ & near $\alpha$ alloys							
Ti-8Al-1Mo-1V	980-1010(a)	1800-1850	1	Oil or water	565-595	1050-1100	...
Ti-2.5Cu(IMI2.30)	795-815	1750-1800	1/2-1	Air or water	390-410	735-770	8-24 (step1)
				465-485	870-905	8(step2)	
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	955-980	1750-1800	1	Air	595	1100	8
Ti-6Al-4Zr-0.5Mo-0.2Si(IMI685)	1040-1060	1905-1940	1/2-1	Oil	540-560	1005-1040	24
Ti-5.5Al-3.5Sn-3Zr-1Nb-0.3Mo-0.3Si(IMI829)	1040-1060	1905-1940	1/2-1	Air or Oil	615-635	1140-1175	2
Ti-5.8Al-4Sn-3.5Zr-0.7Nb-0.5Mo-0.3Si(IMI834)	1020(b)	1870(b)	2	Oil	625	1155	2
$\alpha$ - $\beta$ alloys							
Ti-6Al-4V	955-970(c)	1750-1775(c)(d)	1	Water	480-595	900-1100	4-8
	955-970	1750-1775	1	Water	705-760	1300-1400	2-4
Ti-6Al-6V-2Sn(Cu+Fe)	885-910	1625-1675	1	Water	480-595	900-1100	4-8
Ti-6Al-6V-2Sn-4Zr-6Mo	845-890	1550-1650	1	Air	580-605	1075-1125	4-8
Ti-6Al-4Mo-2Sn-0.5Si(IMI550)	890-910	1635-1670	1/2-1	Air	490-510	915-950	24
Ti-6Al-4Mo-2Sn-0.5Si(IMI551)	890-910	1635-1670	1/2-1	Air	490-510	915-950	24
Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.25Si	870-925	1600-1700	1	Water	480-595	900-1100	4-8
$\beta$ /near- $\beta$ /metastable $\beta$ alloys							
Ti-13V-11Cr-3Al	775-800	1425-1475	1/2-1	Air or water	425-480	800-900	4-100
Ti-11.5Mo-6Zr-4.5Sn(Beta III)	690-760	1275-1450	1/8-1	Air or water	480-595	900-1100	8-32
Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo(Beta C)	815-925	1500-1700	1	water	455-540	850-1000	8-24
Ti-10V-2Fe-3Al	760-780	1400-1435	1	water	495-525	925-975	8
Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn	790-815	1450-1500	1/4	Air	510-595	950-1100	8-24



## دمای نورد کردن تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم

آلیاژ	دما		زمان (h)
	°C	°F	
<b>CP , α &amp; near α alloys</b>			
Ti-Commercial Pure Gr1, 2 , 3 , 4	480-595	900-1100	¼-4
Ti-5Al-2.5Sn	540-650	1000-1200	¼-4
Ti-8Al-1Mo-1V	595-705	1100-1300	¼-4
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	595-705	1100-1300	¼-4
Ti-6Al-4Zr-1Ta-8Mo	595-650	1100-1200	¼-2
Ti-0.3Mo-0.8Ni(TiCode12)	480-595	900-1100	¼-4
<b>α-β alloys</b>			
Ti-6Al-4V	480-650	900-1200	1-4
Ti-6Al-6V-2Sn(Cu+Fe)	480-650	900-1200	1-4
Ti-3Al-6V-2.5V	540-650	1000-1200	½-2
Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	595-705	1100-1300	¼-4
Ti-5Al-2Sn-4Mo-2Zr-4Cr(Ti-17)	480-650	900-1200	1-4
Ti-7Al-4Mo	480-705	900-1300	1-8
Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.25Si	480-650	900-1200	1-4
Ti-8Mn	480-595	900-1100	¼-2
<b>β/near-β/metastable β alloys</b>			
Ti-13V-11Cr-3Al	705-730	1300-1350	1/12-1/4
Ti-11.5Mo-6Zr-4.5Sn(Beta III)	720-730	1325-1350	1/12-1/4
Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo(Beta C)	705-760	1300-1400	1/6-1/12
Ti-10V-2Fe-3Al	675-705	1250-1300	½-2
Ti-15V-3Al-3Cr-3Sn	790-815	1450-1500	1/12-1/4

## عملیات تنش زدایی تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم

آلیاژ	مقاطع		ورقهای ضخیم		ورقهای نازک	
	°C	°F	°C	°F	°C	°F
<b>CP , α &amp; near α alloys</b>						
Ti-Commercial Pure Gr1, 2 , 3 , 4	760-815	1400-1500	760-790	1400-1450	705-760	1300-1400
Ti-5Al-2.5Sn	1010-1065	1850-1950	980-1040	1800-1900	980-1010	1800-1850
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	955-1010	1750-1850	955-980	1750-1800	925-980	1700-1800
Ti-8Al-1Mo-1V	1010-1040	1850-1900	980-1040	1800-1900	980-1040	1800-1900
<b>α-β alloys</b>						
Ti-8Mn	...	...	705-760	1300-1400	705-760	1300-1400
Ti-4Al-3Mo-1V	925-955	1700-1750	900-925	1650-1700	900-925	1650-1700
Ti-6Al-4V	955-1010	1750-1850	925-980	1700-1800	900-925	1650-1700
Ti-6Al-6V-2Sn	900-955	1650-1750	870-925	1600-1700	870-900	1600-1650
Ti-7Al-4Mo	955-1010	1750-1850	925-955	1700-1750	925-955	1700-1750
<b>β/near-β/metastable β alloys</b>						
Ti-13V-11Cr-3Al	955-1065	1750-1950	980-1040	1800-1900	730-900	1350-1650

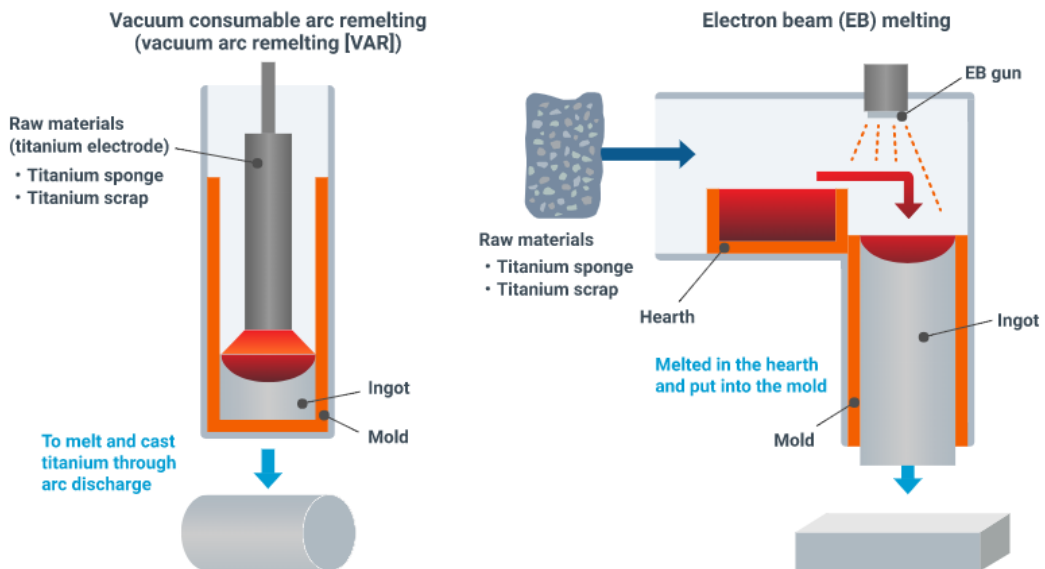
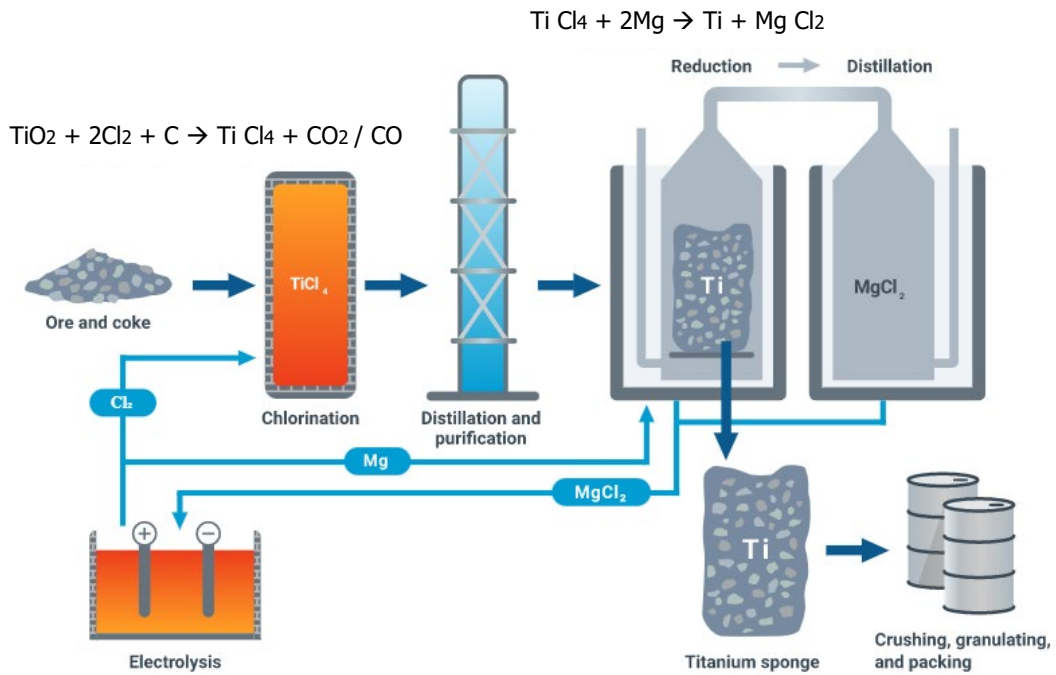
## مقایسه و انتخاب تیتانیوم و دیگر آلیاژها برای محیط های دارای خوردگی

محیط	نامناسب	مناسب	خوب	خیلی خوب
Chlorides (Pitting, Crevice Corrosion)	304L	Alloy 20 , 316L 2101 , In 600	Monel 400, 2205 317L	AL6XN, 625 C276, C22, 686 Ti , ZERON 100
Chloride Stress Corrosion Cracking	304L, 316L	LDX 2101, 904L 2205, 317L	AL6XN, Alloy 20 ZERON 100	400, 600 , 625 686, C276, C22
Hydrochloric Acid	Ti , 2205, 2101 In 600, Alloy20 317L	Ni200, 400 625, ZERON 100	C22, C276, In 686	Ti , Zr , Ta Hastelloy B2
Hydrofluoric Acid	Ni 200, In 600 2205	C276, C22 686, 400	Monel 400, Silver	Gold, Platinum
Sulfuric Acid	Titanium, In 600	316L, 317L LDX2101, 2205	AL6XN, 625	Alloy 20, C276 Ta, ZERON 100
Phosphoric Acid	Ni 200, Monel 400 316L, 317L	904L, 2205	AL-6XN, Alloy 20 ZERON 100	G-30, 625
Nitric Acid	904L, AL6XN 200, 400, 600	304L, 2205 ZERON 100	In 625	Zirconium Tantalum
Caustic	304L, 316L, 317L Tantalum	LDX2101, 2205 ZERON 100	600, 625, 400 686, C22, C276	Ni 200

## مقایسه و انتخاب تیتانیوم و دیگر آلیاژها در دمای بالا و شرایط متفاوت

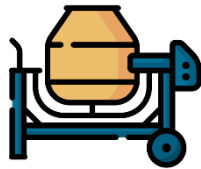
Condition	نامناسب	مناسب	خوب	خیلی خوب
Strength	446	600, 306, 310	RA 330	800 H/HT, 601
Thermal Shock	446, 800 H/HT	310, 309	601, 600	RA 333, RA 330
Oxidation	--	309, 446 800 H/HT	310, 600 RA 253, RA 330	RA 602 CA RA 333, 601
Carburization	446, 321	310, 309, 800H/HT	RA 330	600, 601 RA 333
Oxidizing Sulfur (SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> )	600	RA 602 CA RA 333	601, RA 330 800H/HT	446, 310, 309 RA 253 MA
Reducing Sulfur (H <sub>2</sub> S)	600, 601 800 H/HT	347	309, 310, 556	446
Hot HCL Gas	446	RA 333, RA 330	RA 602 CA, 601	Ni 200
Molten Metals Cu, Zn, Mg	600	309, 310, 316	AL6XN Duplex SS	446, 430, 410

## فرآیند تولید تیتانیوم به روش کرول

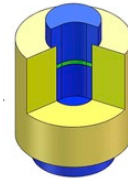




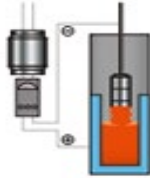
تیتانیوم اسفنجی  
Titanium Sponge



میکس کردن مواد اولیه  
Mixing of Materials



فشرده سازی  
Compacting



ذوب ثانویه  
Second Melting



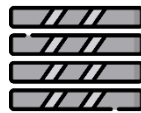
ذوب اولیه  
First Melting



جوشکاری  
Welding



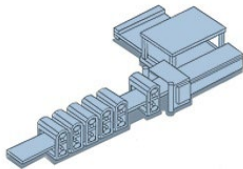
فورج پرسی  
Press Forging



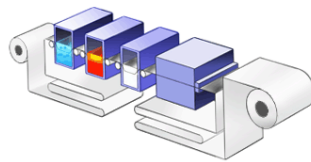
شمش  
Bloom



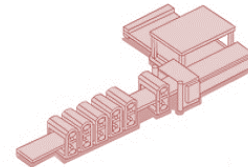
تختال کردن  
Slabbing



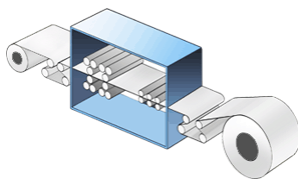
نورد سرد  
Cold Rolling



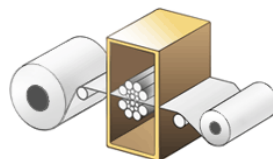
آتیل / اسیدشویی  
Annealing / Pickling



نورد گرم  
Hot Rolling



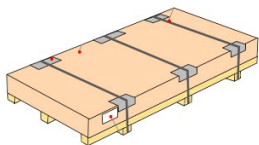
آنیلینگ و بهبود سطح  
Annealing & Surface Improvement



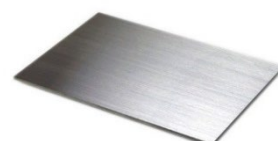
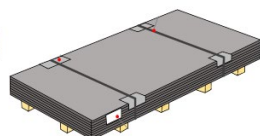
نورد پوسته‌ای نیمه نهایی  
Skin Passing



برش و لبه گیری  
Trimming & Shear Cutting



بسته بندی  
Packing



نهایی کاری  
Finishing



برای کسب اطلاعات بیشتر در ارتباط با  
تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم  
به سایتهای ما مراجعه کنید



متالیوم



آلیاژهای صنعتی



آلیاژهای پزشکی



ایران تیتانیوم

دفتر: تهران، سعادت آباد، چهار راه سرو، خیابان سرو غربی، ساختمان نگار، واحد ۵۹، گروه آلیاژهای صنعتی  
تلفن: ۲۲۳۶۱۰۵۳ - ۲۲۳۶۱۰۵۴ - ۲۲۳۶۱۰۵۵ فکس: ۲۲۹۲۶۰۷۲

انبارها و فروشگاه ها :

کیلومتر ۴ جاده قدیم تهران کرج، مرکز تجارت استیل ایران، پلاک ۱۷۱  
تلفن: ۶۶۳۹۵۲۹۳ - ۶۶۳۹۵۳۵۷

کیلومتر ۵ جاده قدیم تهران کرج، بازار فولاد استیل ایران، پلاک ۱۶۱  
تلفن: ۶۶۳۹۳۱۵۰ - ۶۶۳۹۳۱۵۱

