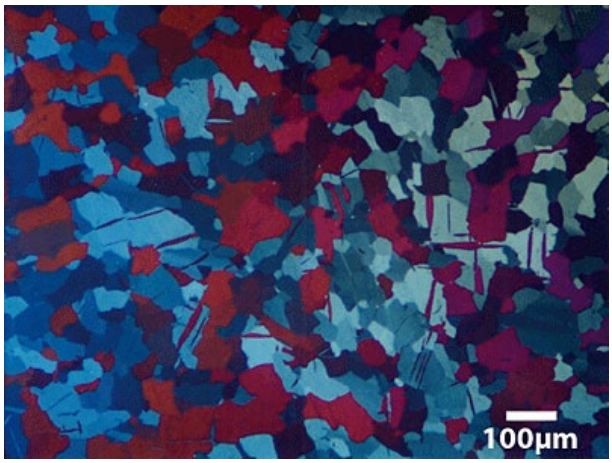
آلیاژهای تیتانیوم

تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم

تیتانیوم چهارمین عنصر فراوان در پوسته زمین است و هزینه استخراج آن بدلیل نقطه ذوب بالا و واکنش پذیری فوق العاده بالای آن بسیار بالا است. با این وجود تیتانیوم و آلیاژهای آن بدلیل استحکام بالا، دانسیته کم و مقاومت به خوردگی عالی بسیار مورد توجه می باشند. ویژگی های برتر تیتانیوم به شرح زیر است:

- نسبت وزن به استحکام بالا که سبب می شود در بسیاری از کاربردها که استحکام و تافنس شکست بالایی مورد نیاز است آلیاژهای این فلز جایگزین فولاد شوند. تیتانیوم دارای دانسیته $۴/۵\ g/cm^3$ است و آلیاژهای آن دارای نصف وزن فولاد و سوپرآلیاژ و نسبت استحکام به وزن عالی می باشند.
- آلیاژهای تیتانیوم استحکام خستگی بسیار بهتری نسبت به آلیاژهای سبک وزن از قبیل آلومینیوم و منیزیم را دارند.
- آلیاژهای تیتانیوم قابلیت کاربرد در دماهای بالا حدود ۳۷۰ تا ۵۹۰ درجه را دارند.
- مقاومت به خوردگی آلیاژهای تیتانیوم بالاتر از فولاد و آلومینیوم است.



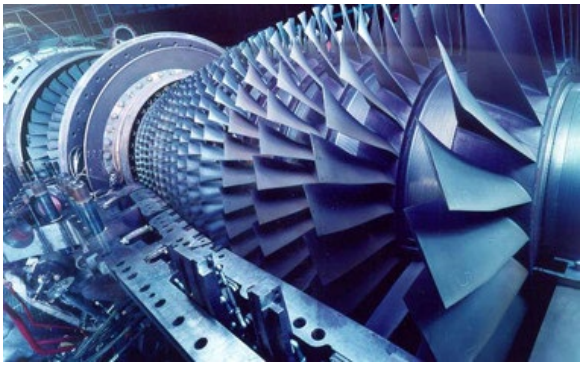
ریز ساختار تیتانیوم گرید ۵ (6Al-4V)

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.

کاربردها :

تیتانیوم و آلیاژهای آن دارای خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی منحصریفردی می باشند که این خواص سبب کاربرد گسترده این آلیاژها در صنایع مختلف از جمله صنایع زیر گردیده است:

- صنایع دریایی
- هوا فضا
- توربین های گازی
- توربین های بخار
- ایمپلنت‌های پزشکی
- سانتریفیوژها
- وسایل نقلیه
- الکتروشیمی
- تاسیسات آب شیرین
- صنایع پالایش نفت و صنایع گاز
- مبدل‌های حرارتی
- صنایع غذایی و دارویی



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 غیرآلیاژی :

عموما شامل ۹۹ تا ۹۹/۵ درصد تیتانیوم با مقادیری آهن و عناصر هیدروژن، نیتروژن، کربن و اکسیژن بعنوان ناخالصی می باشند. میکروساختار تیتانیوم غیرآلیاژی بصورت فاز آلفا با ساختار HCP و مقادیر بسیار کمی از فاز بتا است. تیتانیوم خالص تجاری نسبت به آلیاژهای تیتانیوم ارزانتر 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 عموما 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 کاملا آلفا می باشند. 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 بعلت 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 کاملا آلفا تا دمای نزدیک ۴۰۰ درجه سانتی گراد، استحکام نسبتا بالا در دمای اتاق، انعطاف پذیری نسبتا خوب، تافنس بالا، قابلیت جوشکاری خوب 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.

عملیات حرراتی:

عملیات حرارتی آلیاژهای تیتانیوم شامل تنش زدایی، آنیل، آنیل انحالی و پیرسازی می باشد. عملیات تنش زدایی به منظور کاهش تنش های ایجاد شده در حین پروسه ساخت ، عملیات آنیل به منظور بهینه کردن انعطاف پذیری، قابلیت ماشینکاری و پایداری ابعادی و ساختار انجام می گیرند و انجام عملیات آنیل انحلالی و پیرسازی سبب افزایش استحکام، و بهینه کردن ویژگی هایی از قبیل تافنس شکست، استحکام خستگی و استحکام خزش در دمای بالا می گردد. حرارت دهی تیتانیوم و آلیاژهای آن در کوره های معمولی می تواند سبب آلودگی سطح و جذب اکسیژن و هیدروژن و در نتیجه ایجاد تردی در آلیاژ گردد.

کار سرد:

ورقی که آنیل انحلالی شده است می تواند تحت عملیات کشش، پرس و غیره قرار گیرد ولی ماکزیمم مقدار تغییرفرم به مقدار بار اعمالی بستگی دارد. استفاده از پرس هیدرولیک نتایج خوبی بهمراه دارد. برای تولید قطعات با طرح های پیچیده از ورق های تیتانیوم، عمدتا از روش شکل دهی چکش سقوطی استفاده می شود، که ورق ها پیش از شکل دهی پیش گرم شده اند. لقمه های مورد استفاده در شکل دهی سرد را می توان توسط فرایند برش یا اره کردن با سرعت های برش پایین آماده نمود. شرایط لبه لقمه ها از اهمیت بالایی برخوردار است و با استفاده از تیغه های برش تیز و محکم نگه داشتن لقمه توسط ابزار در حین برش یا پیش گرم قطعه می توان ایجاد ترک در لبه ها را به حداقل رساند. کلیه برآمدگی های تیز بایستی زدوده شوند و برای فرایندهای شکل دهی پیچیده لبه های برش بایستی سوهان کاری یا پولیش شوند. شکل های ساده را می توان در دمای اتاق فرم دهی نمود. تغییرفرم به استحکام و خاصیت ارتجاعی ماده بستگی دارد. روانکارهای جامد همچون صابون،

دی سولفید مولیبدن یا گرافیت نسبت به روغن های معدنی و گریس ارجحیت دارند. در شکل دهی قطعات با طرح های پیچیده، قطعه و قالب بایستی به منظور تسهیل فرایند شکل دهی، تحت عملیات پیش گرم قرار گیرند.

کارگرم:

آهنگری پرسی و چکشی تیتانیوم اصولا مشابه فولادهای کم آلیاژ است. بدلیل سرد کنندگی سریع و محدوده کار گرم نسبتا باریک، اثر سردکنندگی ابزار بایستی توسط کاهش زمان تماس تا حد امکان کاهش یابد، که در این میان پیش گرم ابزار نیز موثر است. ادامه آهنگری در دمای بسیار پایین ممکن است سبب گسترش ترک های داخلی شود، که بایستی از این عمل اجتناب نمود. علاوه بر آن انجام پیش گرم های متعدد همراه با انجام تغییرفرم های اندک در هر مرحله نیز مضر می باشد زیرا این مسئله سبب درشت شدن ساختار دانه ها و خشن شدن میکروساختار و کاهش خواص مکانیکی می شود. در چکش کاری سقوطی لبه های قالب بایستی دارای انحنا بزرگتر نسبت به فولاد باشند زیرا انقباض حرارتی تیتانیوم کمتر از فولاد بوده و لذا انقباض مجاز کوچکتری را شامل می شود. حذف زائده ها بایستی در شرایطی که دمای قطعه بالا است انجام گیرد. لذا به منظور کمتر کردن پیش گرمایش و جلوگیری از اتلاف زمان و حرارت بایستی چکش کاری و حذف زائده ها با کمترین فاصله زمانی از یکدیگر انجام گیرند و پس از آن عملیات تنش زدایی توصیه می شود.

جوشکاری:

تیتانیوم خالص تجاری و بیشتر آلیاژهای تیتانیوم قابلیت جوشکاری با استفاده از روش های مختلف جوشکاری را دارند. متداولترین روش های جوشکاری مورد استفاده برای آلیاژهای تیتانیوم GTAW و GMAW می باشند. از دیگر روش های مورد استفاده می توان به الکترون بیم، جوشکاری لیزر، جوشکاری اصطکاکی و جوشکاری مقاومتی اشاره نمود.

به منظور بدست آوردن جوش سالم تمیزی سطح قطعه و استفاده صحیح از گاز خنثی محافظ ضروری است. مذاب تیتانیوم به آسانی با اکسیژن و هیدروژن واکنش می دهد، که این عناصر از طریق تماس با هوا و یا سطح آلوده می تواند جذب مذاب تیتانیوم شوند و اثرات نامطلوبی را بر روی خواص قلز جوش گذارند. به همین علت فرایندهای جوشکاری همچون SAW

برای جوشکاری تیتانیوم مناسب نیستند. همچنین عمدتا تیتانیوم را نمی توان به فلزات دیگر جوش داد زیرا امکان تشکیل ترکیبات بین فلزی ترد در ناحیه جوش وجود دارد که میتوانند سبب ایجاد ترک در ناحیه جوش شوند.

ماشینکاری:

تیتانیوم و آلیاژهای آن را می توان با استفاده از ابزارهای ماشینکاری متداول، ماشینکاری نمود. استفاده از توصیه های زیر سبب ماشینکاری خوب و عمر زیاد دستگاه می شود:

- استفاده از تیغه های برش تیز به منظور کاهش ایجاد حرارت و ساییدگی
- استفاده از حجم بالای سیال خنک کننده جهت ماکزیمم کردن میزان حرارت زدوده شده
- استفاده از سرعت های برش پایین تر
- جلوگیری از قطع تغذیه سیال خنک کننده
- براده برداری منظم
- محکم کردن قطعه و ابزار ماشین کاری به منظور مقابله با انحنا قطعه

Common Name	Alloy Description	Industry Standard	Application
Commercially Pure (Unalloyed) Ti Grades			

CP Grade 1 Titanium Grade 1	تیتانیوم گرید ۱ یک تیتانیوم غیرآلیاژی 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 بصور ت ریختگی در دندانپزشکی 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
CP Grade 11 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
CP Grade 17 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
CP Grade 27 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 شیاری در محیط هایی با PH<1 و دمای بالای ۲۰۰ درجه سانتی گراد را مشابه گریدهای ۲ و ۱۷ را ایجاد می کند.	ASTM B265, ASTM B338, ASTM B348, ASTM B363, ASTM B381, ASTM B861, ASTM B862	AC, CP, DS, HE, HR, PB
CP Grade 2 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, AMS 4941, AMS 4942, AMS 4951, ASME SB265, ASME SB348, ASME SB367, ASME SB381, ASTM B265, ASTM B338, ASTM B348, ASTM B363, ASTM B367, ASTM B381, ASTM B861, ASTM B862, ASTM B863, ASTM B831, ASTM F67, AWS A5.16,	AC, AD, AP, AR, CG, CP, DS, FP, HE HR, MI, NS, PB, PP, OP, SR
CP Grade 7 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 شیاری در یک رنج وسیعی از محیط های اسیدی کاهنده 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
CP Grade 16 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 شیاری است.	ASME SB-265, ASME SB-338, ASTM B265, ASTM B348, ASTM B367, AWS A5.16	AC, AP, CP, DS, HE, HR, PB
CP Grade 26 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 کاهنده 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
CP Grade 3 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 کاهنده 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
CP Grade 4 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 کاهنده 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.	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

Common Name	Alloy Description	Industry Standard	Application
		Alpha and Near-Alpha Alloys	

Titanium Grade 12 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 شیاری فوق العاده ای است. این آلیاژ در محیط های اکسنده قوی و کاهنده 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
Ti–2.5Cu 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 آنیل 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 آلیاز تا حذوذ 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	
Titanium Grade 28 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 B861ASTM B862	CP, GB, HE, OP, PD
Titanium Grade 9 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 داراری 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 و۵ 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
Titanium Grade 6 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
Ti-5Al-2.5Sn ELI 5-2.5 Extra Low Interstitial	آلیاژTi-5Al-2.5Sn (ELI) بطور متداول در کاربردهای برودتی است. این آلیاژ برای پمپ های بوستر اصلی (مایع اکسیژن و هیدروژن) در فضاپیمای شاتل استفاده شده است.	AMS 4909 AMS 4924	SS
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo Ti-6-2-4-2	این آلیاژ برای محصولات نورد و فورج شده در موتورهای جت و اسکلت هواپیما جاییکه 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
Ti-8Al-1Mo-1V 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 آنیل 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
Ti 834 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 مورتور 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	
Ti-5Al-1Sn-1Zr-1V-0.8Mo TIMETAL 5111	این یک آلیاژ تیتانیوم نزدیک آلفا با استحکام میانی است. این آلیاژ دارای تافنس بالا، جوش پذیری خوب، مقاومت به ترک در برابر خوردگی تنشی و مقاومت به خزش در دمای اتاق است. این آلیاژ بطور ایده ال برای کاربرد در محیط دریا جاییکه 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	

Common Name	Alloy Description	Industry Standard	Application
			Alph-Beta Alloys

Titanium Grade 5 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 کارشده این آلیاژ در هوا و فضا، پزشکی و دیگر کاربردها جاییکه 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
Grade 23 Titanium 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 کارشده آن در جاییکه 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 جاییکه 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
Titanium Grade 29 6Al-4V ELI with 0.1% Ru Ti-6-4 Ru	تیتانیوم گرید ۲۹ مشابه تیتانیوم گرید ۵ با میزان 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 جاییکه 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
Ti-6Al-7Nb	یک آلیاژ تیتانیوم استحکام بالا که در ایمپلنت های پزشکی مورد استفاده قرار می گیرد.	ASTM. F1295, ISO 5832-11	MI
Ti-6Al-6V-2Sn Ti-6-6-2	این آلیاژ عمدتا در شرایط آنیل یا آنیل انحلالی و پیرشده مورد استفاده قرار می گیرد. 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 تقریبا 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 دراند استفاده می شود که در بدنه های موتور راکت، اسکلت هواپیما کورد 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
Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo Ti-6-2-4-6	این آلیاژ یک آلیاژ غنی از آلفا–بتا است که در کاربردهای هوایی و صنایع 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 تقریبا تا دمای ۴۰۰ دزجه 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
Ti-7Al-4Mo HA 146 C-135A Mo	میله ها و فورجینگ های Ti-7Al-4Mo اصولا برای دیسک های موتور جت، پره های کمپرسور استفاده می شوند.	AMS 4970, MIL-T-9047, MIL-T-81556, MIL-T-83142	
Ti–4Al–4Mo–2Sn Ti-550	این آلیاژ دارای استحکام بالا و یک آلیاژ آلفا–بتا قابل فورج است. در شرایط آنیل انحلالی و پیرشده دارای بالاترین استحکام و خواص خستگی 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
Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.15Si 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 تلرانس ابعادی می گردد.	AMS 4898	AF, SS

Common Name	Alloy Description	Industry Standard	Application
			Near-Beta and Beta Alloys

Ti-5Al-2Zr-2Sn-4Mo-4Cr	این آلیاژ نزدیک آلفا با استحکام بالا و قابلیت سخت شدن عمیق می باشد. شکل فورج آن اصولا 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-4Vدر محدوده دماهای میانی می باشد.	AMS 4995	
Grade 19 Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr 3-8-6-4-4 Ti Beta-C	این یک آلیاژ بتا است که می تواند یک رنج وسیعی از خواص مکانیکی را سبب شود. در شرایط آنیل انحلالی، این آلیاژ بسیار انعطاف پذیر بوده و می تواند بسادگی تحت عملیات کار سرد قرار گیرد. افزایش سطح استحکام با انجام کارسرد، آنیل 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
Ti-13V-11Cr-3Al Ti-13-11-3 B120VCA	این یک آلیاژ بتا است که اصولا برای تولید ورق مورد استفاده قرار می گیرد. این آلیاژ قابل کارسرد 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 عموما برای فنرها مورد استفاده قرار می گیرد.	AMS 4917 AMS 4959	
TIMETAL 21S Ti-15Mo-3Nb-3Al-.2Si	این یک آلیاژ پایدار تیتانیوم بتا است 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	
Ti 10V- 2Fe- 3Al	این یک آلیاژ بتا است، 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	
15V-3Cr-3Sn-3Al TIMETALR15.3	این آلیاژ قابلیت سخت شدن بالا توسط عملیات پیرسازی و کرنش سختی را دارد. و اصولا 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 عمدتا تحت استاندارد AMS 4914 مورد استفاده قرار می گیرد.	AMS 4914 ASTM B265	
Ti-10V-2Fe-3Al 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	

AC: Anode/cathode/cell components
AD: Aircraft ducting, hydraulic, tubing, misc.
AF: Airframe components
AP: Air pollution control equipment
AR: Architectural, roofing
AU: Automotive components
BA: Ballistic armor
CG: Consumer products (watches, eye glass frames)
CP: Chemical processing equipment
DS: Desalination, brine concentration/evaporation
FP: Food processing/pharmaceutical
GB: Geothermal brine energy extraction
GT: Gas turbine engine components
HE: Hydrometallurgical extraction/electrowinning
HR: Hydrocarbon refining/processing
LG: Landing gear components
MI: Medical implants/devices, surgical instrumer
NS: Navy ship components
OP: Offshore hydrocarbon production/drilling
PB: Pulp/paper bleaching/washing equipment
PD: Hydrocarbon production/drilling
PP: Power plant cooling system components
SR: Sports/recreational equipment
SS: Space vehicles/structures, missile componen

ترکیب شیمیایی برخی از آلیاژهای تیتانیوم

Common Name	N	C	H	Fe	O	Pd	Ru	Al	V	Mo	Sn	Zr	Si	Cr	Nb	Cu	Ni	Y	Ti
Commercially Pure (Unalloyed) Ti Grades																			
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.
Alpha and Near Alpha Alloys																			
Grade 12	0.03	0.1	0.015	0.3	0.25					0.2 0.4							0.6 0.9		Bal.
Ti–2.5Cu	0.03	0.1	0.01	0.2	0.2											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							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							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					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		0.5 1.0				Bal.
Ti5Al1Sn1Zr1V0.8Mo	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.
Alpha Beta Alloys																			
Grade 5	0.05	0.1	0.125	0.4	0.2			5.50 6.75	3.5 4.5									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					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					0.35 1.00		0	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								0.01	Bal.
Ti 4Al 4Mo 2Sn	0.05		0.013	0.2	0.27 (O+2)			3.0 5.0		3.0 5.0	1.5 2.5		0.3 0.7						Bal.
Ti6Al2Sn2Zr2Mo2Cr 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	1.75 2.25					Bal.
Near Beta and Beta Alloys																			
Ti5Al2Zr2Sn4Mo4Cr	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		3.5 4.5					Bal.
Ti3Al8V6Cr4Mo4Zr	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		5.5 6.5				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					10 12					Bal.
Ti15Mo3Nb 3Al0.2Si	0.05	0.1	0.015	0.4	0.17			2.5 3.5		14.0 16.0			0.15 0.25		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		2.5 3.5			Bal.

خواص فیزیکی و مکانیکی برخی از آلیاژهای تیتانیوم

Titanium Alloy	Condition	Min. UTS (Mpa)	Min. 0.2% YS (Mpa)	Min. El. (%)	Min. RA (%)	Min. Charpy V- Notch Impact @ R.T. , Joules	Bend Ra./ Thic. <1.78 mm Thic.	Bend Ra./ Thic. >1.78 mm Thic.	Welded Bend Radius/ Thic.	Hardness	Beta Transus °C	Weldability
CP Grade 1	As specified	24	13	24	30	95 - 162	1.5	2.0	1.5-2.0	70 HRB	890	Excellent
CP Grade 11	As specified	24	13	24	30	95 - 162	1.5	2.0	1.5-2.1	70 HRB	890	Excellent
CP Grade 17	As specified	24	17	24	30	95 - 162	1.5	2.0	1.5-2.2	70 HRB	890	Excellent
CP Grade 27	As specified	24	17	24	30	95 - 162	1.5	2.0	1.5-2.3	70 HRB	890	Excellent
CP Grade 2	As specified	34	27	20	30	40 - 82	2.0	2.5	2.5-3.0	82 HRB	913	Excellent
CP Grade 7	As specified	34	27	20	30	40 - 82	2.0	2.5	2.5-3.1	82 HRB	913	Excellent
CP Grade 16	As specified	34	27	20	30	40 - 82	2.0	2.5	2.5-3.2	82 HRB	913	Excellent
CP Grade 26	As specified	34	27	20	30	40 - 82	2.0	2.5	2.5-3.3	82 HRB	913	Excellent
CP Grade 3	As specified	45	38	18	30	24 - 48	2.0-2.5	2.5	2.5-3.4	90 HRB	920	Very Good
CP Grade 4	Condition	55	48	15	25	13 - 27	2.5	3.0	3.0-5.0	100 HRB	949	Good
Titanium Grade 12	As specified	48	34	18	25	16 - 27	2.0	2.5-3.0	3	88 HRB	890	Excellent
Ti–2.5Cu	As specified	61	49	10	25						895	
Titanium Grade 9	As specified	62	48	15	25	48 - 102	2.5	3.0	3.5	25 HRC	935	Very Good
Titanium Grade 28	Annealed	62	48	15	25	48 - 102	2.5	3.0	3.5	26 HRC	936	Very Good
Titanium Grade 6	Forged Bars ≤ 4"	79	75	10	25	14	4.0	4.5	5.0-6.0	34 HRC	1038	Good
5-2.5Sn ELI	Forgings ≤ 3"	68	62	10	25	20	4.0	4.5	4.0-5.0	33 HRC	1038	Very Good
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	Annealed, Forgings < 3"	89	82	10	25	-	4.5	5.0	-	34 HRC	999	Fair
Ti-8Al-1Mo-1V	Annealed	89	82	10	20	20 - 34	4.0	4.5	6.0-10	36 HRC	1038	Fair
	Heat Treated	118	107	10	20							
	Heat Treated, (800F)	62	48	10	25							
Ti 834	Forgings	103	91	7.5	7.5							
	Forgings tested(1112°F)	58	45	11	20							
Ti5Al1Sn1Zr1V0.8Mo	As specified (plate)	68	58	10	-							
Titanium Grade 5	As specified	89	82	10	25	20 - 27	4.5	5.0	6.0-10	33 HRC	996	Very Good
	STA	110	103	10	20							
	Castings	89	82	6	10							
Titanium Grade 23	Beta-Annealed	82	75	10	25	24- 40	4.5	5.0	6.0-10	32 HRC	982	Very Good
Titanium Grade 29	As specified	82	75	10	25	24- 40	4.5	5.0	6.0-10	32 HRC	982	Very Good
Ti-6Al-7Nb	Bar	90	80	10	25	—	—	—	—	—	1010	Good
Ti-6Al-6V-2Sn	Forging < 1"	120	110	8	20	16 - 19	4.0	4.5	—	38 HRC	946	Limited
	Annealed Forgings	103	96	10	20							
Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	STA	117	110	8-10	15-20	—	—	—	—	39 HRC	946	Limited
Ti-7Al-4Mo	STA Forgings <1"	117	110	8	15							
	Forged, Annealed <1"	100	93	10	20							
Ti–4Al–4Mo–2Sn	Bar/Rod <1"	110	96	9	20	23	Hot formable only		—	37 HRC	975	Limited
	Bar/Rod/Forgings 1-4"	105	92	9	20							
	Bar/Rod/Forgings 4-6"	100	87	9	20							
	Plate 0.2-2.5 in"	103	90	9	20							
	Rod ST 1"	108	93	12	40							
	Rod ST+A 1"	120	107	14	42							
Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.15Si	Sheet Annealed	106	103	5-8	n/a	16	—	—	—	—	960	`
	STA	117	110	12	20							
Ti-5Al-2Zr-2Sn-4Mo-4Cr	As specified	116	111	10	32	—	—	—	—	40 HRC	890	—
Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr	Annealed	79	75	15	n/a	10.8-16.3	3.5	4.0	—	30-45 HRC	730	Fair
	STA	117	110	6	15							
	ST+Cold Work 25%	110	100	15	45							

	ST+Cold Work 25% +Age	1276-134	1207-127	15	30-40								
Ti-13V-11Cr-3Al	ST	8	8	-	-								
	Sprint Temper	124	n/	6	2								
	STA	117	110	4	-								
	ST+ Cold Work	1207-127	1103-117	8	30								
	ST+ Cold Work + Age	1448-151	n/	5-8	n/a								
Ti-15Mo-3Nb-3Al-.2Si	ST	79	75	15	-								
	STA	102	96	6	-								
Ti 10V- 2Fe- 3Al	STA	110	100	6	10	—	—	—	—	32-41 HRC	812	Fair	
	STOA	96		-	-								
15V-3Cr-3Sn-3Al		100	96	7	-								