استفاده از پوشش شیشه سرامیک

برای حفاظت از آلیاژ های تیتانیم

در کارگرم

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید

نگارش :

مهرداد هنرمند

استاد راهنما :

دکتر محمد صدیقی

دانشگاه علم صنعت ایران ، دانشکده مهندسی مکانیک

زمستان ۱۳۸۶

تقدیم به آن انسان هوشیار

بی نشان و گمنام

که دید آن چیزی را

که انسان هائی بی شمار پیش از او ندیده بودند

آن فروغ را به میان خاکستر آتش

فروغ شیشه را

گره به جبین اندیشیدند

بارها تلاش کرد و ناکام شد

تا سرانجام دریافت راز پدیداری شیشه را

این مولد آتش و خاک را

و تقدیم به وارثان آن عشق خلاق

آنان که سینه به سینه

نقل کردند حکایت شیشه را

آنان که بی خستگی

طی کردند راههای نیک و نیکتر را

و گام به گام پیراستند

این ارمغان خود را به انسان

ارمغان زیبائی و سودمندی را

آن را که دیده دانش است

و پیام آور نور

ترجمه از مقدمه کتاب Modern Glass Practice, Samuel R. Scholes

تشکر و قدردانی

این پژوهش با ارتباط نزدیک با دانشکده مکانیک و مواد دانشگاه علم و صنعت ایران و بخش شیشه و سرامیک دانشگاه علم و صنعت ایران در خلال سال ۸۵-۸۶ انجام شده است.

لازم است قبل از هر چیز از استاد گرانقدرم ، جناب آقای دکتر صدیقی که با راهنمایی و رهنمود های لازم، اینجانب را در انجام این پژوهش یاری نمودند قدرانی و سپاس گزاری کنم.

سپاس و قدرانی از جناب آقای مهندس قصایی سرپرست بخش آزمایشگاه شیشه سرامیک دانشگاه علم و صنعت ایران و آقای مهندس خوشبخت مسئول آزمایشگاه که در ساخت شیشه سرامیک و پوشش دهی کمک شایانی نمودند.

تشکر و سپاس از همه کسانی که در این پژوهش مرا یاری نمودند به ویژه دانشجویان دانشکده مواد دانشگاه علم و صنعت ایران ، آزمایشگاه شیشه سرامیک دانشگاه علم و صنعت ایران و دانشکده پلیمر دانشگاه امیر کبیر و بالاخره سپاس و تشکر از تمام اعضای خانواده ام به خصوص مادرم که همیشه مشوق من بودند.

مهرداد هنرمند-بهمن ۸۶

دانشگاه علم و صنعت ایران ، دانشکده مهندسی مکانیک

فصل ۱-مقدمه و شرح موضوع پژوهش

۱-مقدمه

۱-۱-شرح موضوع پایان نامه و زمینه تحقیق ۱

۱-۲-پیشینه پژوهش ۳

۱-۳-ساختار پایان نامه ۴

فصل ۲-تیتانیم و آلیاژ های تیتانیم

مقدمه ۶

۲-۱-تیتانیم ۷

۲-۱-۱-کاربرد های تیتانیم ۷

۲-۱-۲-دیگر ویژگی های جذاب تیتانیم ۸

۲-۲-ساختار کریستالی تیتانیم ۸

۲-۲-۱-فضا های خالی در ساختار کریستالی تیتانیم ۱۰

۲-۳-انواع آلیاژهای تیتانیم بر حسب نوع فاز ۱۰

۲-۳-۱- آلیاژهای α ۱۱

۲-۳-۲-آلیاژهای α+β ۱۲

۲-۳-۳-آلیاژهای β ۱۳

۲-۴-۱-استانداردهای مربوط به Ti-6Al-4V ۱۴

۲-۴-۲-عملیات حرارتی Ti-6Al-4V ۱۴

۲-۴-۳-سختی Ti-6Al-4V ۱۵

۲-۴-۴-قابلیت فورج پذیری Ti-6Al-4V ۱۵

۲-۴-۵-ماشینکاری Ti-6Al-4V ۱۵

۲-۵-بررسی تغییر فاز در عملیات حرارتی آلیاژTi 6Al 4V ۱۵

۲-۵-۱-سرد کردن از فاز β ۱۵

۲-۵-۲-تغییر فازβ←ω ۱۶

۲-۵-۳-تغییر فاز (α+β) ← β ۱۶

۲-۵-۴-تبدیل فاز α به β به روش سرد کردن ایزوترمال ۱۸

۲-۵-۵-تبدیل فاز β به α ۲۰

۲-۵-۶-تبدیل فاز α به β به روش سرد کردن سریع ۲۴

۲-۶-تاثیر اکسیژن،هیدروژن،نیتروژن و کربن در آلیاژهای تیتانیم ۲۵

۲-۶-۱-تاثیر اکسیژن در ایجاد لایه اکسیدی ۲۵

۲-۶-۲-تاثیر اکسیژن در تغییر فاز ۲۶

۲-۶-۳-روابط مربوط به سختی ۲۸

۲-۶-۴-روابط مربوط به استحکام کششی ۲۸

۲-۷-نفوذ هیدروژن در تیتانیم ۲۹

۲-۸-۱-تاثیر نیتروژن و کربن ۲۹

۲-۸-۲-سختی حاصل از تاثیر نیتروژن و کربن ۳۰

۲-۹-جمع بندی ۳۲

فصل ۳-روش های حفاظت از آلیاژ های تیتانیم در کار گرم

مقدمه ۳۳

۳-۱-انواع روش های حفاظت از تیتانیم ۳۴

۳-۱-۱-اتمسفر خنثی ۳۵

۳-۱-۲-پوشش دهی ۳۶

۳-۱-۳-پوشش مس ۳۶
۳-۲-سرامیک ها ۳۷
۳-۲-۱-شیشه سرامیک ۳۸
۳-۲-۲-پوشش های شیشه سرامیک ۳۹
۳-۳-مقایسه پوشش های شیشه سرامیک و مس ۴۰
۳-۴-روانکاری پوشش های شیشه سرامیک ۴۱
۳-۵-جمع بندی ۴۲
فصل ۴-استفاده از پوشش های شیشه سرامیک برای حفاظت از آلیاژهای تیتانیم در کارگرم
مقدمه ۴۳
۴-۱-آماده سازی سطح ۴۴
۴-۱-۱-پاک کردن حرارتی(Thermal degreasing) ۴۴
۴-۱-۲-تمیز کاری مکانیکی(Mechanical cleaning) ۴۴
۴-۱-۳-تمیز کاری و گریس زدایی شیمیایی(Chemical cleaning and degreasing) ۴۴
۴-۱-۴-اسید شویی (Pickling) ۴۵
۴-۱-۵-نیکل شویی(Nickel flushing) ۴۵
۴-۱-۶-خنثی کردن(Neutralizing) ۴۵
۴-۲-ساخت و تهیه پودر شیشه ۴۶
۴-۲-۱-تهیه دوغاب لعاب و نگهداری آن ۵۰
۴-۲-۲-ساخت سوسپانسیون (پوشش شیشه ای) ۵۱

۴-۲-۳-اندازه دانه و مخلوط آنها ۵۴
۴-۲-۴-سرعت حرارت دادن ۵۴
۴-۲-۵-دمای پخت نهایی ۵۴
۴-۲-۶-ویژگی های حالت مذاب ۵۵
۴-۳-۱-علت بروز معایب در پوشش ۵۶
۴-۳-۲-عیبهای پوشش دادن و خشک کردن ۵۸
۴-۳-۳-معایب در حالت مذاب ۶۰
۴-۴-قدرت چسبندگی ۶۵
۴-۵-۱-صافی و براقی سطح خارجی ۶۶
۴-۵-۲-سطح خارجی مات و غیر براق ۶۷
۴-۶-بررسی وضعیت تغییر حالت شیشه سرامیک از دمای ۱۰۰ الی ۹۵۰ درجه ۶۷
۴-۷-چسبندگی پوشش ۷۰
۴-۷-۱-Knife test ۷۰
۴-۷-۲-Tape test ۷۱
۴-۷-۳-Pull off Tests ۷۱
۴-۷-۴-Scrape Test ۷۳
۴-۷-۵-دیگر روش های اندازه گیری چسبندگی ۷۳
۴-۷-۶-اندازه گیری چسبندگی پوشش شیشه سرامیک به روش Pull off ۷۳
۴-۸- متالوگرافی و سختی سنجی ۷۵
۴-۸-۱-نتایج متالوگرافی و سختی سنجی ۷۵
۴-۹-انجام آزمایشات عملی برای نمونه بدون پوشش در کارگرم ۸۰

۴-۹-۱-بررسی نتایج متالوگرافی و سختی سنجی نمونه با بدون پوشش ۸۰
۴-۹-جمع بندی ۸۵
فصل ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات آتی
۵-نتیجه گیری و پیشنهادات آتی ۸۶
۵-۱-دستاورده های پژوهش ۸۶
۵-۲-پیشنهادات آتی ۸۷
منابع ۸۹

۱-مقدمه

۱-۱-شرح موضوع پایان نامه و زمینه تحقیق

در رابطه با استفاده از آلیاژ های سبک در صنایع هوایی ، همچنین بکار گیری روش کارگرم در تولید ،به دلیل همگن بودن ساختار و مقاومت بالای قطعات تولید شده به این روش ، تحقیقات فراوانی در کشور های صنعتی انجام گرفته است.

تیتانیم به عنوان یک آلیاژ سبک که به فلز آینده نیز مشهور شده است به دلیل استحکام به وزن بالا و مقاومت بسیار زیاد در مقابل درجه حرارت و خوردگی ، کاربرد فراوانی در صنایع هوایی پیدا کرده است.

در این پژوهش حفاظت از آلیاژ های تیتانیم در کارگرم به وسیله پوشش های شیشه سرامیک نسبت به حالت بدون پوشش مورد بررسی قرار گرفته است.این روش حفاظت که یکی از جدید ترین روش های حفاظت از تیتانیم است که غالبا فقط به صورت صنعتی مورد بررسی قرار گرفته و کمتر این موضوع به صورت پژوهش و مقاله کار شده است.

آلیاژ تیتانیم Ti-6Al-4V به دلیل استحکام به وزن بالا (۱۱۰۰ مگا پاسگال استحکام نهایی) جزء پر کاربرد ترین آلیاژهای تیتانیم محسوب می شود . این آلیاژ دارای دو فاز $\alpha + \beta$ (آلومینیوم تثبیت کننده فاز α ، وانادیم تثبیت کننده فاز β) تقسیم می شود.

به دلیل سختی و استحکام کششی بالا ، دمای کار گرم این آلیاژ دمای ماکزیمم ۹۵۴ درجه سانتی گراد می باشد.در این دما گاز های موجود در اتمسفر کوره ، اکسیژن ، نیتروژن و ... با نفوذ به داخل شبکه کریستالی و بین نشینی باعث پایداری فاز α و در نتیجه انتقال فازی β به α می شود.این تغییر ساختار کریستالی باعث افزایش سختی (در بعضی موارد تا ۲ برابر) و کاهش چکش خواری و در نتیجه افزایش نیرو های شکل دهی ، ایجاد ترک بروی نمونه های تیتانیمی و قالب و ایجاد ساختار غیر همگن بر روی نمونه و محصول نهایی می شود لذا تولید و شکل دهی آلیاژ های تیتانیم علاوه بر پیچیده بودن مراحل کار ، هزینه بر می باشد.

تیتانیم همچنین دارای لایه غیر فعال اکسیدی می باشد که باعث جلوگیری از خوردگی و اکسیداسیون بقیه تیتانیم می شود ، در دمای بالاتر از ۳۰۰ سانتیگراد خاصیت حفاظتی خود را از دست داده ،ضخیم تر شده ، ترک برداشته و بالاخره متلاشی خواهد شد و اجازه نفوذ اکسیژن به بقیه تیتانیم را می دهد، نیتروژن و کربن نیز تاثیرات مشابه دارند.

نیتروژن بسیار آهسته تر از اکسیژن با تیتانیم واکنش نشان میدهد. فیلم به وجود آمده بر روی سطح تیتانیم در دما های بالاتر از ۵۴۰ درجه سانتی گراد رنگ طلایی دارد و همانند لایه اکسیدی فاقد خاصیت حفاظتی می باشد. نیتروژن و کربن همانند اکسیژن باعث پایداری فاز α نیز می شود.

لذا لازم است به هر طریق ممکن باید از نفوذ اکسیژن و ... به درون جلوگیری کرد که در حال حاضر ۲ روش وجود دارد:

۱-استفاده از اتمسفر خنثی در کل انجام فرآیند

۲-پوشش دهی

که روش پوشش دهی نیز به دو روش پوشش دهی مس و پوشش دهی شیشه سرامیک تقسیم بندی می شود که پوشش های مس کارایی چندانی نداشته و ندارند لذا در پروژه مفصلا در مورد پوشش های شیشه سرامیک بحث شده است و نحوه ساخت و انجام فرایند پوشش دهی و همچنین تاثیر پوشش بر نفوذ اکسیژن و اکسیداسیون سطح پرداخته شده است.

۱-۲-پیشینه پژوهش

شیشه سرامیک ها محصولاتی هستند که از طریق فرایند معمول ساخت شیشه که عبارت است از ذوب مواد اولیه و شکل دادن آن ساخته می شوند هر چند در سال های اخیر از روش دیگر

ساخت شیشه مانند سل-ژل یا سرد کردن از فاز بخار نیز برای ساخت شیشه سرامیک ها استفاده شده است اما این روش ها هنوز تجاری نشده است.

با اینکه مدت نسبتا زیادی از کشف روش ساخت شیشه سرامیک ها به طریق تبلور شیشه توسط رئومور[1] (۱۷۳۹) می گذرد اما استفاده از فرایند شیشه سرامیک به عنوان روشی صنعتی و تجاری به بازار تقریبا به ۵۰ سال قبل باز می گردد.[۱]

شیشه سرامیک ها در سال ۱۹۶۸ برای اولین بار به عنوان پوشش برای حفاظت از فلزات در دما های بالا مورد استفاده واقع شد. در این سال ها نیاز مبرم به پوشش هایی با خواص ویژه مورد نیاز بود که تنها پوشش های شیشه و سرامیک قادر بودند این خواص را دارا باشند به ویژه که حفاظت از آلیاژ های فلزی در دماهای بالا و جلوگیری از خوردگی و اکسیداسیون دغدغه اصلی پژوهشگران بود.[۲]

استفاده از شیشه سرامیک برای حفاظت از آلیاژ های تیتانیم به سال ۱۹۹۱ باز می گردد که با تقلید از روش حفاظتی شیشه سرامیک بر روی فلزات صنعتی دیگر اقدام به ساخت شیشه سرامیک برای تیتانیم نمودند . این شیشه سرامیک ها دارای دمای ذوب بالا (۱۶۰۰ درجه سانتیگراد) بودند و برای پوشش دهی به صورت الکترواستاتیک یا روش PVD استفاده می شد.[۳]

استفاده از این پوشش های به دلایل گران بودن هزینه تولید و پیچیده بودن فرآیند تا سال های اخیر به تاخیر می افتد تا اینکه در سال ۲۰۰۴ شروع دوباره استفاده از این پوشش ها آغاز می شود.(دمای ذوب مواد خام شیشه سرامیک های جدید در حدود ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد می باشد در حالی که تا قبل از این سال ها غالبا از این مواد دارای دمای ذوب بالاتر از ۱۶۰۰ درجه سانتی گراد بود)[۳و۴]

۱-۳-ساختار پایان نامه

[1] Reaumur

در فصل ۲ ابتدا ساختار تیتانیم و کاربرد های آن و سپس انواع آلیاژ های تیتانیم مورد بررسی قرار گرفته است.در ادامه فصل مفصلا به بررسی تغییر ساختار فازی آلیاژ تیتانیم در عملیات حرارتی قرار گرفته تا بتوان از اطلاعات آن در فصل های بعدی استفاده نمود.در ادامه به بررسی نفوذ گاز های اکسیژن و نیتروژن و ... به داخل تیتانیم پرداخته شده است و در آخر فصل مطالعه تغییر ساختار و اکسیداسیون سطح آلیاژ تیتانیم در کارگرم برای قطعه بدون پوشش انجام گرفته است.

در فصل ۳ به بررسی اجمالی انواع روش های حفاظت از آلیاژ های تیتانیم در کارگرم مورد بررسی قرار گرفته است و تفاوت های آن ذکر شده است.

در فصل ۴ به طور کامل روش ساخت پوشش های شیشه سرامیک توضیح داده شده است و جزییات به طور دقیق بیان شده است در ادامه فصل معایب و اشکالات ایجاد شده در پوشش کاملا توضیح داده شده به طوری که خواننده به راحتی می تواند مشکلات ایجاد شده را با دستورات داده شده مرتفع نماید این مشکلات شامل تولید پودر ، سوپانسیون و حتی در مراحل تولید فریت و قبل و در هنگام و حتی پس از پوشش دهی را شامل می شود.

یکی از مهمترین مواردی که در پوشش دهی اهمیت زیاد دارد چسبندگی است که در این فصل مورد بررسی قرار گرفته است و انجام این مهم به روش Pull off صورت گرفته که نتایج قابل توجهی گزارش شده است و به راحتی می توان تفاوت پوشش دهی به روش پاشش و غوطه وری از نظر چسبندگی را مشاهده نمود.

در انتهای فصل پس از آزمایش سختی سنجی و متالوگرافی در کارگرم ، نتایج تغییر ساختار فازی مورد بررسی و نتایج ارائه شده است که نشان می دهد این پوشش ها قابلیت زیادی در حفاظت آز آلیاژهای تیتانیم در کارگرم دارند.

فصل ۵ نیز نتیجه گیری کلی دستاورد های پروژه و پیشنهادات آتی آمده است.

مقدمه

در این فصل در ابتدا تیتانیم و انواع فاز های آن (α وβ ویا α + β) و کاربردهای آن ها بررسی شده است و سپس Ti-6Al-4V کاربردها و ویژگی های آن مورد بررسی قرار گرفته است و در ادامه فصل به اختصار عملیات حرارتی تیتانیم و ساختار های بوجود آمده در اثر عملیات حرارتی تیتانیم توضیح داده شده است.

در بخشهای پایانی تاثیر اکسیژن ، نیتروژن ، کربن و هیدروژن بحث شده است و نیز انجام آزمایش کارگرم برای نمونه بدون پوشش که در دانشگاه علم و صنعت انجام گرفته است نیز در این بخش آمده است.

۲-۱-تیتانیم

تیتانیم حداقل ۲۰۰ سال پیش با علامت اختصاری Ti با عدد اتمی ۲۲ و وزن اتمی ۴۷/۹ شناخته شد .با این وجود تولید تجاری آن تا دهه ۱۹۵۰ شروع نشد، تا اینکه به عنوان یک عنصر استراتژیک به دلیل سبک بودن و تنش نهایی بالا و منحصر به فرد و ساختار موثر در شرایط بحرانی به خصوص در دماهای بالا در هواپیماها به ویژه در موتورهای جت پی برده شد.

امروز آلیاژهای تیتانیم به طور مستقیم در مهندسی با فولاد های آلیـاژی، سـوپر آلیاژهـای پایـه نیکل، کامپوزیت ها و آلیاژ های مس و غیره مقایسه می شوند.

تیتانیم خالص دارای دمای ذوب ۱۶۷۰ سانتیگراد و دانسـیته ۴/۱۵ (تقریبـا ۵۶٪ فـولاد و ۵۰٪ نیکل و آلیاژهای مس) می باشد.[۵]

تیتانیم نهمین عنصر و چهارمین فلز از نظر فراوانی مقدار در پوسته زمین می باشد با این وصـف تولید سالانه تیتانیم بسیار اندک و در حدود هزار و صـد تـن اسـت در حـالی کـه تولیـد فـولاد چیزی در حدود ۷۵۰ میلیون تن می باشد.[۶]

۸۰٪ استفاده تیتانیم در صنایع فضایی (موشک ها و هواپیماها)است .این به معنای عدم توانـایی استفاده از تیتانیم در موارد دیگر صنعتی نیست. برای مثال تعداد بسیار زیادی از قطعات خـودرو از جمله کمک فنر آن را می توان از تیتانیم ساخت در حالی که قیمت بالای آن اجـازه آن را بـه سازندگان نمیدهد برای نیل به این هدف قیمت تیتانیم باید حداقل ۳۰٪ کاهش پیدا کند .(علت گران قیمت بودن تیتانیم به سه علت است :۱-قیمت بـالای اسـتخراج تیتـانیم ۲-هزینـه بـالای شمش ریزی و آلیاژ کردن ۳-هزینه های بالای فرایند های جانبی)[۵]

۲-۱-۱-کاربرد های تیتانیم

تجهیزات دریایی ، صنایع شیمیایی ، خودرو سازی ، صنایع پتروشـیمی و تولیـد هیـدروکربن هـا ژنراتورهای گازوییلی و اتمی، تصفیه خانه هـا ، سـقف هـای اسـتادیوم هـای ورزشـی و مصـارف پزشکی ودندانپزشکی همچون ایمپلنت ها و بیشترین کاربرد خانگی در بازی گلف می باشد.

تیتانیم خالص یکی از مقاوم ترین عناصر در برابر خـوردگی اسـت بـه همـین علـت بـه وفـور در صنایع شیمیایی استفاده می شود زیرا تیتانیم بر روی سطح خود ایجاد اکسید پایـدار نمـوده کـه در برابر خوردگی مقاوم است که البته با اضافه کردن عنصـر پـالادیم بـه آن و در نتیجـه خـروج هیدروژن از تیتانیم و تبدیل شدن تیتـانیم بـه قطـب آنـدیک ایـن خاصـیت افـزایش پیـدا مـی کند.[۵]

۲-۱-۲-دیگر ویژگی های جذاب تیتانیم

۱-تحمل تنش های بالای خستگی در هوا و محیط های کلراید

۲-داشتن چقرمگی شکست بالا در هوا و محیط کلراید

۳-مدول الاستیسته کم

۴-ضریب انبساط حرارتی کم

۵-نقطه ذوب بالا

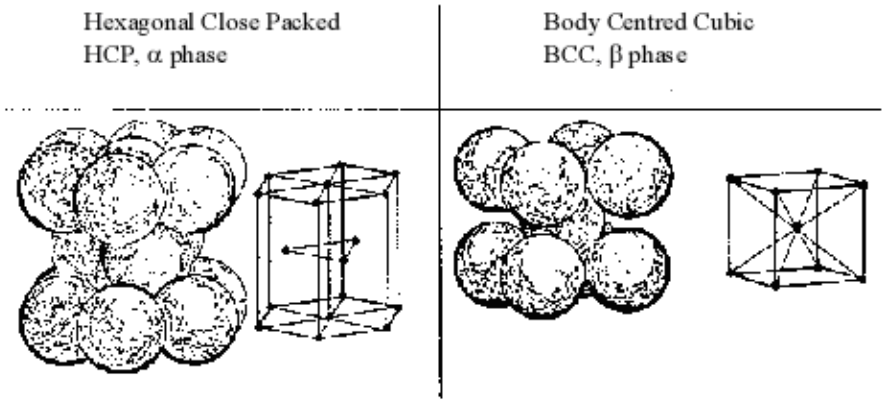
۶-خاصیت غیر مغناطیسی

۷-نیمه عمر رادیو اکتیو پایین

۸-خواص برودتی بسیار خوب

۲-۲-ساختار کریستالی تیتانیم

ساختار کریستالی تیتانیم در دمای و فشار اتاق hcp با نسبت c/a=1.587 می باشد (فاز α) که در دمای حدود $^{\circ}$۸۸۲ سانتیگراد دچار تغییر آلوتروپیک شده و ساختار h.c.p به bcc تبدیل می شود (فاز β) که این ساختار تا دمای ذوب پایدار می ماند.(شکل ۱)



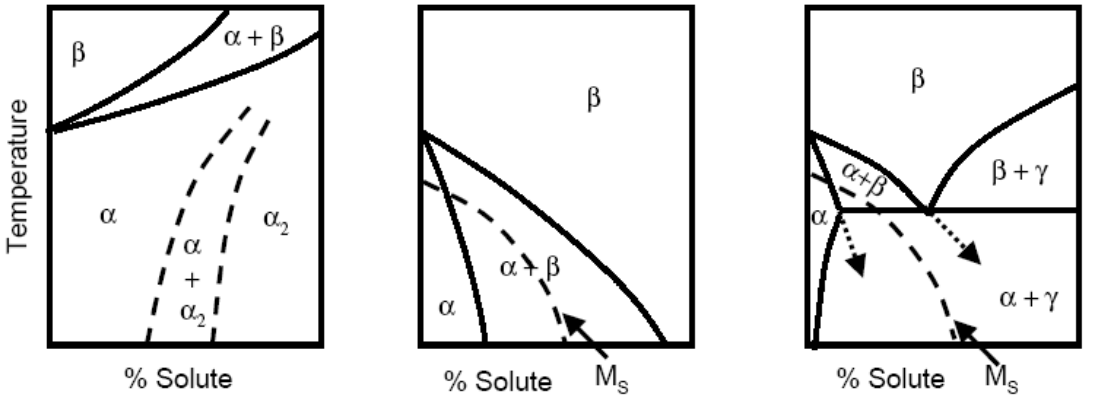
شکل۱-۲-ساختارهای متفاوت کریستالی تیتانیم[۷]

همه عناصری که دارای گستره اتمی ۰/۵۸-۱/۵۱ باشند توانایی جانشینی به جای اتم های تیتانیم را دارا هستند و عناصری که اندازه اتمی آنها کمتر از ۰/۹۵ اتم تیتانیم است می توانند

به صورت بین نشینی در ساختار کریستالی شرکت کنند. (همانند: اکسیژن، هیـدروژن، نیتـروژن و کربن)

بعضی از عناصر می توانند به راحتی در ساختار کریستالی ته نشین شده و ایجاد رسـوب سـختی کنند همانند Boron ،تاثیر این عناصر در نمودار ۱ به خوبی نمایش داده شده است.

عناصز آلیاژی بر حسب تاثیر گـذاری و پایـداری هـر یـک از دو فـاز تیتـانیم دسـته بنـدی مـی شوند.بعضی همچون Al, O, N و Ga باعث پایداری فاز آلفا و بعضی دیگر هم چون Mo, V, W و Ta باعث پایداری فاز بتا می شوند. (لازم به یادآوری است کـه شـش عنصـر Cu, Mn, Fe, Ni, Co و H از نقطه یوتکتوید و به صورت کند و آهسته به پایداری فـاز بتـا کمـک مـی کنند.) مولیبدن و وانادیم بیشترین تاثیر را روی پایداری فاز بتا دارند[۵].



نمودار۱-۲-پایداری انواع فازها[۸]

۲-۲-۱-فضا های خالی در ساختار کریستالی تیتانیم

ساختار b.c.c تیتانیم دارای سه فضای خالی اکتاهدرال می باشد در حالی که تنها فضای خـالی اکتاهدرال c.p.h بزرگتر از فضای b.c.c می باشد به همین دلیل حلالیت اکسـیژن ، نیتـروژن و کربن در ساختار آلفا بیشتر است.

هیدروژن در بین عناصر جانشینی بیشترین اهمیت را داراست.تیتانیم توانایی جذب بیش از ۶۰٪ درصد هیدروژن را دارد که میتوان با عملیات آنیل کردن در خلا آن را خارج کرد.

هیدروژن بیشتر در فصای تتراهدرال شبکه b.c.c که بسـیار بزرگتـر از h.c.p اسـت وارد مـی شود لذا ساختار بتا بیشترین حلالیت هیدروژن را در خود دارد[۵].

۲-۳-انواع آلیاژهای تیتانیم بر حسب نوع فاز

آلیاژ های تیتانیم بر حسب نوع فاز تشکیل شونده به سه دسته تقسیم بندی می شوند:

۱-آلیاژهای آلفا ۲-آلیاژهای بتا ۳-آلیاژ های آلفا + بتا

۲-۳-۱- آلیاژهای α

تیتانیم خالص و آلیاژهـایی از تیتـانیم کـه دارای پایـدار کننـد هـای ایـن فـاز هسـتند هماننـد آلومینیوم و قلع چه به صورت یکتا یا مرکب در دمای اتاق باعث پایداری فاز α مـی شـوند بـرای مثال می توان به آلیاژ صنعتی Ti-5Al-2.5Sn را اشاره کرد.با تغییـر درصـد پایـدار کننـدها دمای تغییر فاز α به α+β نیز دستخوش تغییر خواهد شد.توجه داریم که ایـن عناصـر ، عناصـر انتقالی نیستند (transition metal) بلکه پایدار کننده هسـتند چـرا کـه تیتـانیم خـالص در شرایط اتاق فاز α است این عناصر فقط باعث می شوند تیتانیم تا دماهای بالاتر بتوانند در فاز α باقی بماند.

مهمترین عنصر در بین تمام عناصر پایدار کننده فاز α آلومینیوم می باشد.بـه طـوری کـه تـاثیر عناصر دیگر برروی این فاز را این گونه نمایش می دهند:

$$\text{aluminium equivalent, wt\%} = \text{Al} + \frac{1}{3}\text{Sn} + \frac{1}{6}\text{Zr} + 10(\text{O} + \text{C} + 2\text{N})$$

اگر مقدار آلومینیوم از ۹٪ وزنی تجاوز کند باعث به وجود آمدن فاز سخت وشکننده Ti_3Al مـی شود.[۵]

کاربرد آلیاژهای کاملاً α

۱- ٪۲۰ فروش تیتانیم و استفاده آن به این شکل است .

۲- صنایع هوا فضا ، صنایع عمومی مهندسی مانند پانلهای بدنه و رینگهای موتور هواپیما و غیره

۳- شیرها و مخازن صنایع شیمیایی.

۴- مخازن تحت فشار به جای آلومینوم و فولاد زنگ نزن.

با اضافه کردن مقدار اندکی عنصر Mo و در نتیجه تشکیل اندکی فاز β نرم و داکتیل مـی تـوان آلیاژی تولید کرد که بتوان آن را عملیات حرارتی و فورج نمود این آلیـاژ near α نامیـده مـی شود.

برای مثال می تـوان آلیـاژ Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo را نـام بـرد.near–α alloy را مـی توان تا دماهای کمتر ۵۹۰ سانتیگراد نیز بکار برد.

Ti-6Al-4Sn-3.5Zr-0.5Mo-0.35Si-0.7Nb-0.06Cنمونه دیگری از این آلیـاژ مـی باشد.در این آلیاژ niobium برای افزایش مقاومت به اکسید شـدن اضـافه شـده اسـت و کـربن برای این آلیاژ دمای کاری بیشتری نسبت به آلیاژهای α+β ایجاد می کند.این آلیـاژ بـه صـورت ویژه برای ساخت disc ها در موتور های جت ها استفاده می شود و جـایگزین سـوپر آلیاژهـای پایه نیکل می شود[۵].

۲-۳-۲-آلیاژهای α+β

آلیاژهایی که شامل سیستم α+β ، دارای یک یا چند پایدارکننده فاز α و به همراه یک یا چند پایدارکننده فاز β هستند.که در دمای اتاق تعادل این آلیاژها به صورت مخلوطی از این دو فاز می باشد.که البته درصد پایدار کنندهای فاز β (۴ تا ۶ ٪)، بیشتر از α است .

مهمترین آلیاژ این گروه که می توان آن را مهمترین آلیاژ تیتانیم هم نامید Ti-6Al-4Vمی باشد.عنصر آلومینیم علاوه بر پایداری فاز α باعث کاهش حجم و وانادیم باعث پایداری فاز β و افزایش چکش خواری آلیاژ به خصوص برای فورج گرم می شود.این آلیاژ تقریبا نیمی از آلیاژ های ساخته شده از تیتانیم را شامل می شود چرا که دارای استحکام ۱۱۰۰ مگا پاسگال می باشد و مقاومت به خزش تا ۳۰۰ سانتیگراد و مقاومت به خستگی بالا و همچنین قابلیت ریختگری نیز دارد. تنها مشکل آلیاژهای α+β وجود فاز β می باشد ، زیرا این فاز با ساختار b.c.c همانند فریت در فولاد دارای دمای انتقالی ductile–brittle می باشد. این دما تقریبا در حدود دمای اتاق است که می تواند باعث شکست آلیاژ تحت تنش در دمای اتاق شود. خصوصیت دیگر آلیاژهای α+β ، از دست دادن استحکام خزشی در دماهای بالای $400^{\circ}C$ ، خوب نبودن جوش پذیری است . مصرف اصلی این آلیاژ در قطعات فورج شده مانند پره های توربین موتور جت است[۵].

۲-۳-۳-آلیاژهای β

به پایدار کنندهای فاز β transition metal(TM) و به تمام آلیاژهای فاز β ، β-isomorphous می گویند.[۷]

آلیاژ β دارای ثبات وپایداری کمی هستند ودر اثر کار سختی در دمای اتاق و یا افزایش اندک دما قسمتی از آن تغییر فاز داده و به فاز α تبدیل می شوند.

از این پایداری اندک فاز β برای تبدیل کامل آن به فاز α در دمای ۴۵۰ تا ۶۵۰ سانتیگراد استفاده می شود.فاز α بوجود آمده به صورت پراکنده در β باقی مانده پخش می شود که تاثیر

قابل ملاحظه ای در استحکام آلیاژ دارد.این دو زوج ممتاز می توانند باعث پیـر سـختی و ایجـاد فاز $\alpha+\beta$ شوند.

با اضافه کردن عنصر کروم تا ۱۰٪ کمک به اصلاح مقاومت حرارتی تیتانیم مـی کنـد. آلیـاژ Ti-35V-15Cr نمونه ای از این نوع می باشـد. هنـوز تـاثیر باند Ti-Cr بـر روی سـطح بـرای حفاظت در برابر اکسیژن ناشناخته مانده است.[۵]

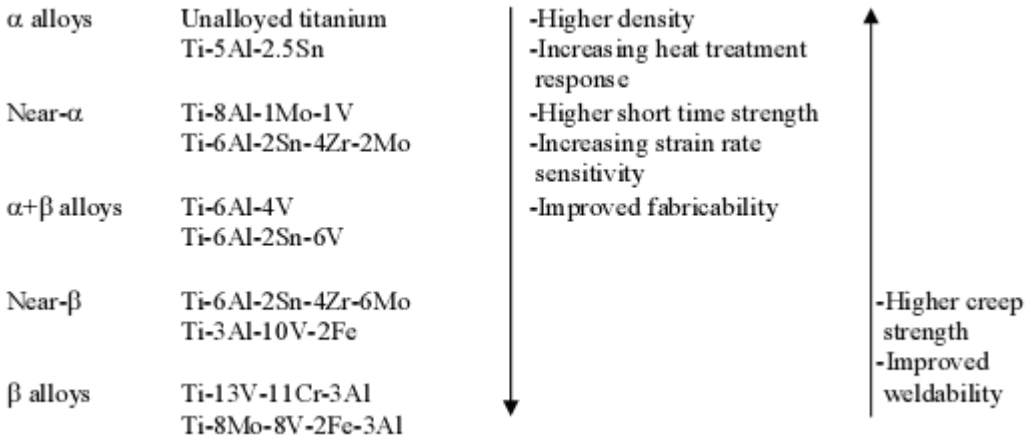
ویژگی های آلیاژهای β

۱_ تغییر شکل در حالت نسبتا نرم و سپس افزایش استحکام از طریق پیرسازی

۲_امکان سخت شدن حجمی قطعات ضخیم در طی عملیات حرارتی

۳_ قابلیت جوشکاری محدود

و در پایان شرح انواع فاز های تیتانیم و آلیاژ های آن ، در نمودار شماره ۲ تفـاوت ویژگـی هـای آن ها نمایش داده شده است.



نمودار۲-۲-مقایسه انواع فازهای تیتانیم بر اساس ویژگی های قابل کاربردی[۴]

۲-۴-۱-استانداردهای مربوط به Ti-6Al-4V

بیشترین فراورده هـای اسـتفاده شـده در صـنعت از آلیـاژ Ti-6Al-4V بـه صـورت زیـر مـی باشد:[۷]