بسم الله الرّحمن الرّحيم

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته مهندسی مواد- خوردگی و حفاظت از مواد است که در سال ۱۳۸۷ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر علیرضا صبور روح اقدم و جناب آقای سید محمد مهدی هادوی و مشاوره جناب آقای دکتر تقی شهرابی فراهانی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب صادق میرزامحمدی دانشجوی رشته مهندسی مواد-خوردگی و حفاظت از مواد مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: صادق میرزامحمدی

تاریخ و امضا:

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی: صادق میرزامحمدی

امضاء

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مواد

ایجاد پوشش نفوذی آلومیناید نیکلی روی آلیاژ γ-TiAl

صادق میرزامحمدی

اساتید راهنما:

دکتر علیرضا صبور روح‌اقدم

دکتر سید محمد مهدی هادوی

استاد مشاور:

دکتر تقی شهرابی فراهانی

اسفند ۱۳۸۷

تقدیم به

پدرو مادرعزیزم که همیشه حامی
و دلسوزمن هستند.

تقدیر و تشکر

از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر علیرضا صبور به سبب راهنمایی‌های علمی و سازنده ایشان که در طول انجام پروژه همواره راهگشا بوده است تشکر و قدردانی می‌نمایم و آرزوی موفقیت هرچه افزون‌تر آن استاد گرامی را دارم.

همچنین از استاد ارجمند جناب آقای دکتر محمد مهدی هادوی به سبب راهنمایی‌های ارزشمندشان در طول انجام پروژه تقدیر و تشکر می‌نمایم.

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر تقی شهرابی نیز به سبب مشاوره‌های علمی ارزشمند ایشان، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده :

در این تحقیق یک پوشش آلومیناید نیکلی به وسیلهٔ آبکاری اولیهٔ یک لایه نیکل بر روی آلیاژ γ-TiAl و به دنبال آن انجام فرایند آلومینایزینگ اکتیویته بالا به روش تک-مرحله‌ای ایجاد شده است. جلوه‌های میکروساختاری مختلف پوشش آلومیناید نیکلی مورد مطالعه قرار گرفته است و تاثیر مقدار نیکل بر میکروساختار پوشش آلومیناید نیکلی تولید شده با فرایند آلومینایزینگ اکتیویته-بالا به روش تک-مرحله‌ای بررسی شده است. پوشش مربوط به لایهٔ نیکلی ۴ میکرومتری ظاهری شبیه به پوشش‌های آلومینایدی ساده روی TiAl را دارا می‌باشد و کسر حجمی فاز NiAl در پوشش بسیار کم می‌باشد. میکروساختار پوشش ایجاد شده روی لایه نیکلی حدوداً ۸ میکرومتری شامل یک لایه بیرونی دوفازی ($NiAl+TiAl_3$) ، یک لایهٔ میانی از $TiAl_3$ و یک لایه بین نفوذی می باشد. زمانیکه ضخامت لایه نیکلی در محدودهٔ ۲۰-۱۶ μm قرار می گیرد، علاوه بر سه لایه ذکر شده در بالا، یک لایهٔ سطحی پیوسته از فاز NiAl مشاهده می شود. آزمایش‌های اکسیداسیون همدما روی پوشش های آلومیناید نیکلی ایجاد شده انجام گرفت. این آزمایش ها نشان می داد، اگرچه حضور نیکل، در کل، باعث افزایش مقاومت به اکسیداسیون پوشش های آلومینایدی ایجاد شده می شود، اما یک مقدار کمینه از Ni (با توجه به آزمایش‌ها، لایهٔ نیکلی ۸ میکرومتری) در جهت رسیدن به کارایی کامل محافظتی پوشش در برابر اکسیداسیون، ضروری می‌باشد. شبیه سازی پوشش های آلومینایدی بر نیکل آبکاری شده روی TiAl انجام گرفته است. مدل های ریاضی بوسیلهٔ استفاده از روش‌های عددی محاسبه شده‌اند. سینتیک های رشد پیش‌بینی شده بوسیلهٔ مدل ها بسیار نزدیک به نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها می‌باشد و از آنها می‌توان برای تعریف کردن پارامترهای بحرانی کنترل کنندهٔ سینتیک های رشد لایه‌های آلومینایدی تشکیل شده حین فرایند آلومینایزینگ استفاده کرد. با توجه به مقدارهای آلومینیوم برداشته شده توسط نمونه‌ها از جعبه در هنگام رشد لایه ای فاز، مشاهده شده است که مقدارهای قابل توجهی از آلومینیوم حتی در مدت زمان های آلومینایزینگ ۱ و ۲ ساعتی از جعبه برداشته می‌شود و برداشته شدن آلومینیوم توسط نمونه ها، صرفاً، به دقایق ابتدایی آلومینایزینگ منحصر نمی شود. سینتیک رشد لایه‌های بین نفوذی زوج نفوذی Ni/TiAl ، در جهت کنترل ترکیب فازی پوشش، معین شده است.

کلمات کلیدی: پوشش آلومیناید نیکلی، آلومیناید تیتانیوم، فرایند آلومینایزینگ اکتیویته بالا، شبیه‌سازی نفوذی، ریزساختار.

فهرست مطالب

فصل اوّل: مقدمه ۱

۱- مقدمه ۲

فصل دوم: مروری بر منابع ۴

۲-۱- ترکیبات بین‌فلزی ۵

۲-۲- آلومینایدها ۵

۲-۳- آلومینایدهای تیتانیوم ۷

۲-۳-۱- انواع ریزساختارها در آلیاژهای γ-TiAl و خواص آنها ۹

۲-۳-۲- کاربرد آلیاژهای پایه γ-TiAl ۱۰

۲-۳-۳- موانع کاربرد صنعتی آلیاژهای بر پایه γ-TiAl ۱۲

۲-۴- اکسیداسیون و حفاظت از آلومیناید تیتانیوم ۱۳

۲-۴-۱- اصول اکسیداسیون فلزات ۱۳

۲-۴-۲- ترمودینامیک اکسیداسیون ۱۵

۲-۴-۳- سینتیک اکسیداسیون ۱۶

۲-۴-۳-۱- رشد لایهٔ اکسیدی ۱۸

۲-۵- رفتار اکسیداسیونی آلومینایدهای تیتانیوم ۲۰

۲-۵-۱- تشکیل پوسته اکسیدی ۲۱

۲-۵-۱-۱- نمودار فازی Ti-Al-O ۲۱

۲-۵-۱-۲- رشد پوسته اکسیدی ۲۳

۲-۵-۲- حل شدن نافلزات در منطقه زیر سطحی آلیاژها ۲۵

۲-۶- گسترش پوسته اکسیدی روی TiAl ۲۶

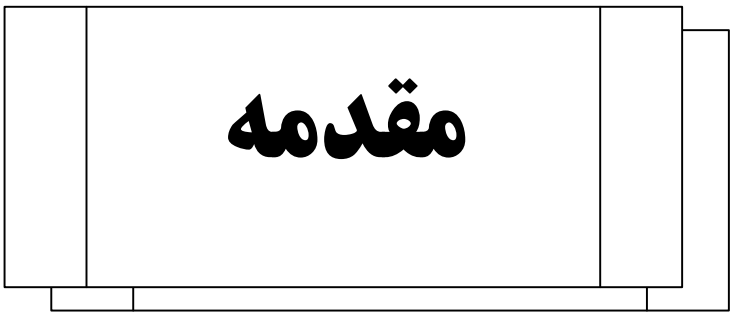
۲-۷- اقدامات در جهت بهبود مقاومت به اکسیداسیون ۲۷

۲-۷-۱- عناصر آلیاژی ۲۸
۲-۷-۲- اکسیداسیون اولیه ۳۰
۲-۷-۳-پوشش دادن ۳۱
۲-۸- پوشش های پره‌های توربین ۳۳
۲-۸-۱-تخریب پوشش‌ها ۳۳
۲-۸-۲- اجزای پوشش ۳۴
۲-۸-۲-۱- پوشش های اتصالی ۳۵
۲-۸-۳- پوشش های آلومینایدی ۳۶
۲-۹- پوشش‌های نفوذی ۳۷
۲-۹-۱- روش‌های ایجاد پوشش‌های نفوذی ۳۸
۲-۹-۲- پوشش‌دهی از طریق مخلوط پودری فشرده ۳۹
۲-۹-۳- اصول حاکم بر پوششهای نفوذی آلومینایزشده ۴۷
۲-۹-۳-۱- تاثیر نوع فعال‌کننده بر فرایند آلومینایزینگ جعبه‌ای ۴۸
۲-۹-۳-۲- تاثیر غلظت آلومینیوم بر فرایند آلومینایزینگ جعبه‌ای ۴۹
۲-۱۰- روش‌های آلومینایزینگ جعبه‌ای ۵۰
۲-۱۱- ایجاد پوشش‌های آلومیناید نیکلی روی آلیاژ γ-TiAl ۵۱
فصل سوم : مواد و روش تحقیق ۵۴
۳-۱- آماده سازی آلیاژ ۵۵
۳-۲- آماده سازی نمونه ها ۵۵
۳-۳- ایجاد پوشش های آلومیناید نیکلی ۵۶
۳-۳-۱ - رسوب دادن یک لایه نیکل ۵۶
۳-۳-۲-آلومینایزینگ جعبه ای ۵۸
۳-۴- روش های آماده سازی و بررسی ریز ساختاری نمونه‌ها ۶۱

۳-۴-۱- توزین ۶۱
۳-۴-۲- مانت کردن ۶۱
۳-۴-۳- سنباده زنی ۶۲
۳-۴-۴- پولیش و اچ شیمیایی ۶۲
۳-۴-۵- بررسی با میکروسکوپ نوری ۶۲
۳-۴-۶- بررسی با میکروسکوپ الکترونی روبشی ۶۳
۳-۴-۷- پراش اشعه x ۶۴
۳-۵- آزمایش اکسیداسیون تک‌دما ۶۴
فصل چهارم : نتایج و بحث ۶۵
۴-۱- ریزساختار پوشش‌های آلومیناید نیکلی برآلیاژ γ-TiAl ۶۶
۴-۱-۱- ترکیب شیمیایی و ریزساختار پوشش‌های آلومیناید نیکلی ۶۶
۴-۱-۲- بررسی تأثیر ضخامت لایه نیکل بر میکروساختار پوشش ۷۳
۴-۱-۳- تاثیر مقدار نیکل بر رفتار و مقاومت به اکسیداسیون پوشش‌های آلومینایدی نیکل ۷۶
۴-۲- تشکیل و شبیه سازی پوشش نفوذی آلومیناید نیکلی بر آلیاژ γ-TiAl ۷۹
۴-۲-۱- ملاحظات ترمودینامیکی ۸۰
۴-۲-۲- سینتیک رشد لایه‌ای فاز NiAl در حین پوشش‌دادن آلومینایدنیکل بر آلیاژ γ-TiAl. ۸۰
۴-۲-۳- آنالیزهای ریاضی و مدلینگ رشد پوشش نفوذی آلومیناید نیکلی ۸۸
۴-۲-۴- مکانیزم تشکیل پوشش در فرآیند آلومینایزینگ اکتیویته-بالا به روش تک-مرحله ای ۹۸
۴-۲-۴-۱- تشکیل پوشش در حین مرحله اوّلیه ۹۸
۴-۲-۴-۲- رشد پوشش بعد از افزایش سرعت نفوذ به سمت بیرون نیکل ۹۹
۴-۲-۵- بررسی مقدار آلومینیوم برداشته شده از جعبه سمانتاسیون توسط نمونه‌ها ۱۰۰
۴-۲-۶- گسترش لایه های بین نفوذی بین پوشش اوّلیه نیکلی و آلیاژپایه γ-TiAl ۱۰۳
۴-۲-۶-۱- مشاهدات ریزساختاری ۱۰۸

۴-۲-۶-۲- سینتیک رشد لایه‌های بین نفوذی ۱۰۹
۴-۲-۷- محاسبه ضخامت مصرف شده از لایه نیکلی در اثر تشکیل پوشش آلومیناید نیکلی (NiAl) ۱۱۰
۴-۳- ایجاد پوشش‌های آلومیناید نیکلی با ضخامت های کنترل شده روی γ-TiAl ۱۱۲
فصل پنجم : نتیجه گیری ۱۱۴
فصل ششم : فهرست منابع و مراجع ۱۱۹

فصل اول



۱- مقدمه:

ترکیبات بین فلزی بر پایه γ-TiAl جهت کاربرد در صنایع هواپیماسازی و اتومبیل‌سازی مورد توجه قرار گرفته‌اند. دلیل این امر دانسیتهٔ پایین، استحکام ویژه بالا، مقاومت به خزش مناسب و پایداری استحکام آنها در دمای بالا می باشد. اما بعضی از خواص آنها هنوز به اصلاح نیاز دارد، مثل انعطاف پذیری ناکافی در دمای محیط و مقاومت به اکسیداسیون کم در دماهای بالا (بالاتر از $750^{\circ}C$).

این آلیاژها در طی دو دههٔ اخیر، به صورت آلیاژهای دو فازی بر پایه γ-TiAl تولید می شوند و ترکیب شیمیایی آنها تقریباً Ti-48 at.%Al به همراه بعضی از عناصر آلیاژی Cr، Nb، Mn، V و غیره است. برخی از مطالعات نشان داده است که انعطاف پذیری در دمای محیط بین فلزی‌های TiAl می تواند تا حد مطلوبی، حدود ۳ تا ۴ درصد تغییر طول کششی، بوسیله آلیاژ کردن و/یا کنترل میکروساختاری، افزایش یابد، اما آنها با توجه به محتوای آلومینیوم بالا، بطور کلی قادر به تولید یک پوسته آلومینایی با عمر حفاظتی بالا روی سطح خود نیستند.

لایهٔ اکسیدی آلیاژهای دوتایی TiAl اکسید شده در هوا، بویژه در بازهٔ دمایی $750-800^{\circ}C$ شامل یک لایه بیرونی TiO_2، یک لایه غنی از Al_2O_3 و یک لایه درونی مخلوط از Al_2O_3/TiO_2 است. علاوه بر آن اکسیداسیون در آلیاژهای TiAl شدیداً باعث کاهش خواص مکانیکی در آنها می‌شود. بنابراین تلاش‌های بسیار زیادی به منظور اصلاح مقاومت به اکسیداسیون این آلیاژها از طریق اضافه کردن عناصر آلیاژی و اصلاح سطح صورت گرفته است.

تاثیر مطلوب چندین عنصر آلیاژی از قبیل Nb، Si، Mo، W، C، B و غیره اثبات شده است، با این وجود درصد این عناصر آلیاژی بایستی درحدود کنترل شده نگه داشته شود. اصلاح سطح شامل روش‌های متنوّعی مثل اکسیداسیون قبلی، کاشت یونی، آلومینایز کردن و رسوب شیمیایی عناصر، سیلیکونیزه کردن و غیره می شود.

تابحال پوشش های آلومیناید نیکلی بر روی سوپر آلیاژهای پایه نیکل، به کار گرفته شده اند. آنها می‌توانند یک پوسته محافظ آلومینایی روی سطح خود تولید کنند. بنابراین، این پوشش ها از قبیل β-

γ'-$(Ni,Pt)_3Al$ و Ni_2Al_3 ، NiAl می توانند پوشش های مناسبی برای آلیاژهای بر پایه γ-TiAl محسوب شوند. مطالعات محدودی در ارتباط با تشکیل آلومیناید نیکل بر روی آلیاژهای γ-TiAl وجود دارد و تا به حال هیچ تحقیق جامعی بر روی میکروساختار پوشش‌های آلومیناید نیکلی تشکیل شده روی γ-TiAl انجام نگرفته است.

در این تحقیق، یک روش نو برای تشکیل پوشش آلومینایدنیکلی بر روی γ-TiAl به کار گرفته می‌شود. جلوه‌های میکروساختاری مختلف پوشش آلومیناید نیکلی مورد مطالعه قرار می‌گیرد و تاثیر مقدار نیکل بر میکروساختار پوشش آلومیناید نیکلی تولید شده با فرایند آلومینایزینگ اکتیویته-بالا به روش تک-مرحله‌ای بررسی می‌شود. آزمایش‌های اکسیداسیون همدما روی پوشش‌های آلومیناید نیکلی ایجاد شده انجام می‌گیرد. شبیه سازی پوشش های آلومینایدی بر نیکل آبکاری شده روی TiAl انجام گرفته خواهد شد. مدل‌های ریاضی بوسیلهٔ استفاده از روش های عددی محاسبه می‌شود. تغییرات مقدارهای آلومینیوم برداشته شده از جعبه ها مورد توجه قرار می‌گیرد. سینتیک رشد لایه‌های بین نفوذی زوج نفوذی Ni/TiAl ، در جهت کنترل ترکیب فازی پوشش، معین می‌شود.

فصل دوم

مروری بر منابع

۲-۱- ترکیبات بین‌فلزی

در حدود ۱۵۰ سال پیش ترکیبات بین فلزی به عنوان ترکیب شیمیایی شناخته شدند. اولین ترکیب بین فلزی که مورد استفاده قرار گرفت، ترکیب سه تایی (Ag-Sn-Hg) بود که به عنوان ترکیب پرکننده دندان مورد استفاده قرار گرفت .

این ترکیبات در مقطعی از زمان بدلیل خواص هدایت الکتریکی و مغناطیسی عالی نقش هادی‌های مرغوب را ایفا می کردند. تا قبل از سال ۱۹۸۵ آنها به عنوان ترکیبات کاملا شکننده، طبقه بندی می‌شده اند و تصور استفاده از این ترکیبات به عنوان مواد ساختمانی دور از دسترس بود. اما در ۲۰ سال اخیر پیشرفت های قابل ملاحظه ای درکاهش تردی و شکنندگی این مواد در درجه حرارت محیط بوجود آمده است، بطوریکه به عنوان مواد جدید مهندسی توجه محققین را به خود جلب نمودند [۱].

۲-۲- آلومینایدها

آلومینایدها از جدیدترین ترکیب‌های بین فلزی به عنوان مواد مهندسی هستند که بدلیل خواص منحصر به فردی که بویژه در دماهای بالا از خود نشان می دهند به طور وسیعی مورد توجه قرار گرفته‌اند. مواد نو از راهکارهای اساسی در پیشرفت تکنولوژی هستند مهندسین متالورژی با کمک علم مواد و روش هایی نظیر مرکب سازی، می توانند مواد جدید با کارایی ویژه در شرایط کاربردی پدید آورند. بزرگترین انگیزه در توسعه تحقیقات پیرامون مواد نو نیاز به موادی مستحکم و سبک و در عین حال مقاومتر در درجه حرارت های بالا بویژه در عرصه صنایع هوایی، فضایی و تولید انرژی است.

مهمترین اهداف تحقیقات جاری، افزایش دمای مجاز کارکرد و افزایش شاخص استحکام به وزن مخصوص این دسته از ترکیبات بین فلزی است[۱].

محدوده حرارتی در موتورهای جدید هوایی بالاتر از ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد است. با افزایش این محدوده، سوپرآلیاژهای پایه نیکل به صورت تک کریستال هم نمی توانند مورد استفاده قرار گیرند زیرا درجه حرارت ذوب آلیاژها به وسیله درجه حرارت ذوب نیکل که ۱۴۳۰ درجه سانتیگراد است کنترل می‌گردد. از نظر تئوری آلیاژسازی هم نمی توان شرایط را بهبود داد چون فاز اصلی تقویت کننده در

سوپر آلیاژهای پایه‌نیکل Ni_3Al است و دارای درجه حرارت ذوب کمتری نسبت به نیکل است. مواد جایگزینی که برای سوپر آلیاژها می توان در نظر گرفت عبارتند از :

- آلیاژها و مواد دیرگداز
- سرامیک ها
- ترکیبات بین فلزی

آلیاژها و مواد دیرگداز مقاومت به اکسیداسیون پایینی دارند از طرف دیگر در سرامیک ها توازن خوبی بین خواص مکانیکی در درجه حرارت محیط و خواص مکانیکی در درجه حرارت بالا وجود ندارد و بویژه شکل پذیری محدودی دارند. در این میان ترکیبات بین فلزی می‌توانند انتخاب مناسبی باشند.

از مهمترین خصوصیات آلومینایدها که باعث می شود جدی ترین جایگزین برای سوپر آلیاژهای پایه نیکل محسوب شوند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد[۱]:

۱- در بین ۳۰۰ نوع ترکیب بین فلزی شناخته شده آلومیناید مهمترین ترکیب بین فلزی است که به عنوان مواد ساختمانی مورد توجه قرار گرفته است..

۲- به دلیل وجود درصد زیاد آلومینیوم در ترکیب، امکان تشکیل لایه محافظ آلومینا با مقاومت به اکسیداسیون خوب، وجود دارد.

۳- عناصر آلیاژی به کار رفته در آنها از عناصر آلیاژی سوپرآلیاژها و فولادهای زنگ نزن ارزان‌تر است.

۴- بالا بودن انرژی اکتیواسیون در آلومینایدها باعث می شود که مقاومت به خزش و خستگی مطلوبی نسبت به سایر مواد از خود نشان دهند.

۵- وزن مخصوص کم

منشاء بسیاری از خواص برتر آلومینایدها تا حدودی به استحکام پیوندهای اتمی در اثر نظم پر دامنه مربوط است[۱].

تعدادی از آلومینایدهای مهم که امروزه جنبه کاربردی یافته‌اند عبارت هستند از $FeAl$، Fe_3Al، $NiAl$، Ni_3Al، $TiAl$ و Ti_3Al.

آلومینایدهای آهن، FeAl و Fe_3Al، دارای مقاومت به اکسیداسیون و خوردگی عالی در محیط‌های خورنده می‌باشند. مهم‌ترین محدودیت استفاده از آنها ناشی از مقاومت به شکست پایین آنها بخصوص در هوای محصور و در محیط حاوی بخار آب است، که سبب تردی این آلیاژها می‌گردد. در هرصورت انعطاف‌پذیری این آلیاژها در محیط اکسیژن قابل قبول است. هزینه تولید پایین، از دیگر ویژگیهای این دسته از آلیاژها است[۲].

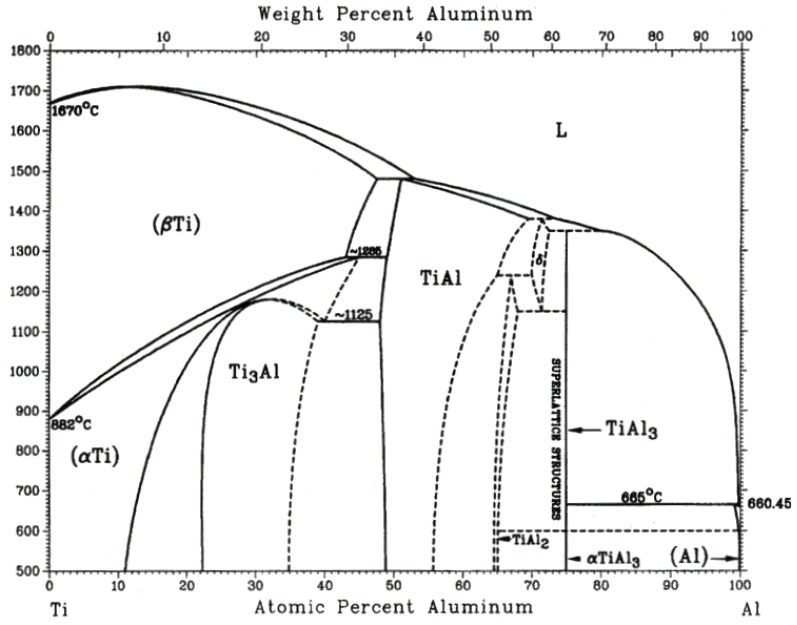
آلومینایدنیکل، Ni_3Al، دارای مقاومت به اکسیداسیون خوب و استحکام عالی می‌باشد و درحقیقت همان عامل افزایش‌دهندهٔ استحکام در سوپرآلیاژهای پایه نیکل است. آلیاژهای Ni_3Al مقاومت به شکست بسیار پایین دارند؛ که ناشی از تردی حاصل از بخار آب است. آلومینایدنیکل، NiAl، دارای مقاومت به اکسیداسیون بسیار عالی در دماهای بالا است و بعنوان یک پوشش مطلوب در دماهای بالا مطرح است[۲].

۲-۳- آلومینایدهای تیتانیوم

این آلیاژها در طی دو دههٔ اخیر، به صورت آلیاژهای دو فازی بر پایه γ-TiAl تولید می شوند و ترکیب شیمیایی آنها تقریباً Ti-48 at.%Al به همراه بعضی از عناصر آلیاژی Cr، Nb، Mn، V و غیره است[۴-۲]. نمودار فازی سیستم Ti-Al در شکل ۲-۱ نشان داده شده است. آلومینایدهای تیتانیوم شامل TiAl ، Ti_3Al و $TiAl_3$ هستند؛ این مواد در حالیکه جرم مخصوص بسیار کمی دارند، دارای این قابلیت می‌باشند که استحکام خود را در دمای بالا تا حد زیادی حفظ کنند. ساختمان کریستالی آلیاژهای Ti_3Al باعث شده است که این مواد مقاومت به شکست پایینی داشته باشند و همچنین دارای ساختار ناپایدار بوده و در محیط‌های خورنده تحت بار با مشکلات ترک‌برداری روبرو هستند. آلیاژهای TiAl استحکام بهتری از خود در دماهای بالا نشان می‌دهند و همچنین مقاومت به اکسیداسیون بهتر و جرم مخصوص کمتری نسبت به آلیاژهای Ti_3Al دارند[۵]. خصوصیات ترکیب‌های بین‌فلزی در سیستم Ti-Al در جدول ۲-۱ بطور خلاصه نشان داده شده است.

جدول ۲-۱- خصوصیات ترکیب های بین فلزی در سیستم Ti-Al [۱].

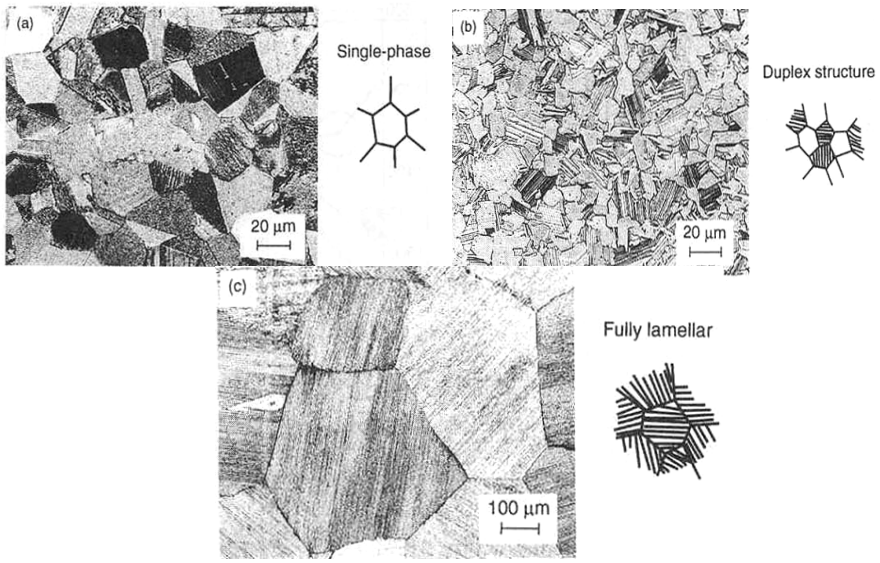
خصوصیات ترکیبات بین فلزی در سیستم Ti-Al				
ترکیب استوکیومتری	درجه حرارت استحاله نظم پر دامنه به کم دامنه (◦C)	دمای ذوب (◦C)	وزن مخصوص (gr/cm^3)	محدوده پایداری در دمای محیط(درصد اتمی)
Ti_3Al	1100	1600	4.2	22-39
TiAl	1460	1460	3.91	49-66
$TiAl_3$	1305	1350	3.4	75



شکل ۲-۱- نمودار فازی سیستم Ti-Al [۶]

۲-۳-۱- انواع ریزساختارها در آلیاژهای γ-TiAl و خواص آنها

یکی از پارامترهای اساسی جهت طراحی آلیاژ و بدست آوردن خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوب، کنترل ریزساختار می‌باشد. به طور کلی در حالت تعادل سه نوع ریز ساختار را در آلیاژهای TiAl می‌توان بدست آورد[۷]. در آلیاژهای دارای مقدار آلومینیوم بیشتر از ۵۲٪at آلومینیوم، ریزساختار عموماً در طی عملیات حرارتی در منطقه تک‌فازی γ به همان صورت باقی می‌ماند و در دمای اتاق نیز به صورت ساختار تک‌فاز γ است. در این حالت دانه‌ها به صورت هم محور است (شکل۲-a۲)[۷]. آلیاژهایی که دارای ۴۶ تا ۵۰ درصد اتمی آلومینیم بوده، و در محدوده دو فازی α + γ عملیات حرارتی می‌شوند، پس از سرد شدن ساختاری دو فازی در آنها تشکیل می‌شود که به عنوان ساختار دوپلکس شناخته می‌شوند (شکل۲-b۲). این ساختار شامل دانه‌های γ و نیزدانه‌هایی با ساختار لایه‌ای است. ساختار لایه‌ای مذکور شامل لایه‌های متناوب γ و α_2 می‌باشد[۷]. اما آلیاژهایی که کمتر از ۴۸ درصد اتمی آلومینیم دارند، اگر در محدوده تک‌فاز α عملیات حرارتی شوند، پس از سرد شدن دارای یک ساختار کاملا لایه‌ای خواهند بود (شکل۲-c۲). از آنجاییکه نرخ رشد دانه‌های فاز α به دلیل نامنظم بودن این فاز زیاد است، منجر به بزرگ شدن دانه‌های α می‌شود، و طی سرد شدن بعدی نیز دانه‌های لایه‌ای که اندازه آنها چند برابر اندازه دانه‌های ساختارهای تک فاز یا دوپلکس است، تشکیل می‌شود[۷].



شکل ۲-۲- ریزساختارشماتیکی a) تک‌فاز گاما b) دوپلکس c)کاملا لایه‌ای[۷].