



معاونت پژوهشی

کد سند: RO-S-F-27-02

تاریخ صدور: ۱۳۹۹/۴/۲۲

تاریخ ویرایش: ۱۳۹۹/۵/۱۵

فرم خلاصه فارسی طرح / پروژه

عنوان طرح/پروژه: پوشش دهی آلیاژ γ -TiAl مورد استفاده در پره های توربین گازی از طریق فرآیند دو مرحله ای آلومینایزینگ فاز گازی و عملیات فلوتوردار کردن

واحد مجری:	مرکز توسعه فناوری توربین های گازی	کارفرما:	پژوهشگاه نیرو
مدیر طرح/پروژه:	سعید سهمانی	مجری:	مسعود آسایش
کد مالی پروژه:	۱۳۳۰۱۹	کد کیفی پروژه:	UGTPN01
نوع طرح/پروژه:	امانی	معاونت:	معاونت فناوری

همکاران: سعید نوری حسین آبادی

کلمات کلیدی: (۶ تا ۱۰ مورد)

سوپرآلیاژها، پوشش های سدحرارتی، پوشش TiN، مقابمت در برابر سایش، آلیاژهای پایه تیتانیوم

ضرورت انجام پروژه/طرح:

با توجه به اسناد راهبردی توسعه فناوری های صنعت برق و انرژی در بخش های مرتبط با توسعه فناوری توربین های گازی و توسعه دانش فنی ساخت مواد و قطعات داغ نیروگاهی، یکی از نیازهای اساسی در این دو بخش، توسعه پوشش های مقاوم در برابر اکسیداسیون دمای بالا و خوردگی داغ همراه با دارا بودن خواص مکانیکی برتر و دارای عمر مفید مطلوب می باشد. امروزه اعمال پوشش های نوین با خواص مقاومت به اکسیداسیون دمای بالا، خوردگی داغ و خواص مکانیکی چشمگیر، یکی از نیازهای اساسی در توسعه راندمان عملکردی قطعات مورد استفاده در بخش داغ توربین های گازی بخصوص پره های توربین های گازی می باشد. بر این اساس در طرح پیشنهادی با عنوان " پوشش دهی آلیاژ γ -TiAl مورد استفاده در پره های توربین گازی از طریق فرآیند دو مرحله ای آلومینایزینگ فاز گازی و عملیات فلوتوردار کردن " ، هدف اصلی توسعه فرآیندهای پوشش دهی نفوذی دمای بالای آلیاژهای نوین γ -TiAl می باشد که آلیاژهای فوق الذکر به دلیل دارا بودن دانسیته بسیار کمتر و خواص مکانیکی بسیار مطلوبتر نسبت به سوپرآلیاژهای پایه نیکل، طی دو دهه اخیر کاربرد بسیار زیادی در بخش پره های توربین های گازی پیدا کرده اند. یکی از مسائل اساسی در ارتباط با این آلیاژ، ارتقاء مقاومت در برابر اکسیداسیون دمای بالا جهت کاربرد پره های فوق در دماهای بالاتر از 800°C می باشد. در این پژوهش هدف اصلی اعمال پوشش های نوین دو مرحله ای آلومینایزینگ فاز گازی و عملیات فلوتوردار کردن روی آلیاژ γ -TiAl جهت ارتقاء مقاومت در برابر اکسیداسیون دمای بالا و خوردگی داغ برای کاربرد در بخش داغ توربین های گازی می باشد.

اهداف پروژه/طرح:

امروزه ترکیبات بین فلزی بر پایه γ -TiAl، به عنوان مواد پدید شرفته جهت کاربردهای دمای بالا در صنایع تولید نیرو، خودرو و هوافضا مورد توجه قرار گرفته اند. دلیل این امر دانسیته پایین ($3/9-3/7 \text{ g/cm}^3$)، استحکام ویژه بالا، مقاومت به خزش مناسب و پایداری استحکام آنها در دماهای بالا می باشد. آلیاژهای γ -TiAl، بوا سطح

خواص جالب و بی نظیری که بخصوص در کاربردهای دمای بالا از خود نشان داده اند و همچنین قابلیت کاهش وزن ساختاری با توانایی عملکرد مطلوب تر در دماهای بالاتر، توجه قابل چشمگیری را به خود جلب کرده اند و طی سال های اخیر، به عنوان اولین گزینه جهت استفاده در کاربردهای دمای بالا و پیشرو در جایگزینی با سوپرآلیاژهای پایه نیکل در موتورهای توربینی گازی، مطرح شده اند. باید توجه داشت که جایگزینی قابل انجام قطعات سوپرآلیاژ پایه نیکل با قطعات γ -TiAl در موتورهای توربینی گازی، می تواند باعث کاهش وزن ساختاری ۲۰ تا ۳۰ درصدی و در نتیجه افزایش قابل توجه راندمان عملکردی در موتورهای فوق گردد. اما باید توجه نمود که این آلیاژها علیرغم محتوای نسبتاً بالای آلومینیم، قادر به تشکیل یک پوسته محافظ آلومینایی با عمر حفاظتی مطلوب در دمای بالا روی سطح خود نیستند. لذا این آلیاژها مقاومت مطلوب در برابر اکسیداسیون در دماهای بالا (بالاتر از 750°C) را براحتی از دست می دهند و این مطلب نقطه ضعف اصلی این آلیاژها در کاربردهای دمای بالا بحساب می آید. بنابراین طی سال های اخیر، تلاش های بسیار زیادی به منظور اصلاح مقاومت در برابر اکسیداسیون دمای بالای این آلیاژها از طریق اصلاح سطح صورت گرفته و همچنان پروژه های متعددی در دنیا در حال انجام است.

بدلیل نوین بودن کاربرد آلیاژ γ -TiAl در توربین های گازی طی دو دهه اخیر، عملاً طی سالیان گذشته کارهای تحقیقاتی فراوانی در حوزه پوشش دهی دمای بالای آلیاژ فوق در دنیا انجام شده است. در ایران نیز پروژه های متعددی بیشتر در حوزه ریخته گری و تولید آلیاژ γ -TiAl و مسائل مرتبط با ماشینکاری آنها طی ده سال گذشته انجام شده است. در حوزه پوشش دهی دمای بالای آلیاژ فوق در ایران تحقیقات محدود تری انجام شده است. عمده کارهای تحقیقاتی در حوزه اعمال پوشش های نفوذی گازی و دوغابی در ایران طی دهه اخیر توسط اینجانب و در قالب پروژه های تعریف شده از سوی صنعت ساخت موتورهای توربینی انجام گرفته است. با توجه به مطالعات صورت گرفته، در اسناد بالادستی وزارت نیرو نیز پروژه های متعددی در حوزه دانش فنی پوشش های دمای بالا روی آلیاژهای مرسوم پایه نیکل تعریف و اجرا شده و در سند خوردگی نیز مطرح شده است. منتهی در حوزه پوشش های دمای بالای آلیاژهای نوین γ -TiAl تاکنون پروژه ای در وزارت نیرو مطرح نشده است.

چکیده پروژه/طرح:

در بین فرآیندهای پوشش دهی جهت بهبود مقاومت در برابر اکسیداسیون دمای بالا، روش های پوشش دهی نفوذی بخصوص روش گازی سمانتاسیون پودری، فرآیند بسیار ساده ای بوده و قادر به تشکیل پوشش های محافظ روی سطح آلیاژ می باشد. همچنین این روش، بطور وسیع جهت پوشش دهی قطعات دمای بالای توربین های گازی استفاده می شود. اما هرچند تحقیقات انجام شده جهت بهبود مقاومت در برابر اکسیداسیون دمای بالای آلیاژ γ -TiAl از طریق فرآیند گازی سمانتاسیون پودری همراه با نتایج مطلوبی بوده است، لیکن هم اکنون تحقیقات وسیعی جهت ارتقاء این نتایج با بکارگیری روش های تکمیلی در دنیا در حال انجام است.

یکی از روش های نو جهت ارتقاء بیش از حد مقاومت در برابر اکسیداسیون دمای بالای پره های توربین γ -TiAl، تلفیق فرآیند پوشش دهی آلومینازینگ با روش گازی سمانتاسیون پودری و سپس اعمال عملیات سطحی فلوتوردار کردن (fluorine treatment) می باشد. لازم به ذکر است در این تحقیق، پودرهای آمیزانی نانوذره جهت اعمال پوشش آلومینایدی نیز استفاده می گردد.

اهداف کلی که در اجرای پروژه فوق دنبال شده است، عبارتند از:

➤ تشکیل پوشش های آلومینایدی ساده و اصلاح شده با عملیات فلوتوردار کردن روی آلیاژ γ -TiAl با استفاده از فرآیند نفوذی سمانتاسیون پودری و کاشت یونی

پلاسمایی، بررسی اثر ترکیب شیمیایی مخلوط پودر و پارامترهای اثر فلوتور بر میکروساختار پوشش های بدست آمده و شناسایی مکانیزم های محتمل در شکل

گیری میکروساختارهای مختلف پوشش ها

➤ بررسی مقاومت در برابر اکسیداسیون دمای بالای آلیاژ γ -TiAl پوشش داده شده از طریق انجام آزمون اکسیداسیون همدمای 1000°C .

➤ بررسی دقیق میکروساختاری پوشش های بدست آمده با استفاده از میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM)

➤ بررسی خواص مکانیکی میکروسختی و چسبندگی پوشش های بدست آمده

مراحل و روش های انجام پروژه/طرح:

- تشکیل پوشش های آلومینایدی ساده و اصلاح شده با عملیات فلوتوردار کردن روی آلیاژ γ -TiAl با استفاده از فرآیند نفوذی سمانتاسیون پودری و کاشت یونی پلاسمایی، بررسی اثر ترکیب شیمیایی مخلوط پودر و پارامترهای اثر فلوتور بر میکروساختار پوشش های بدست آمده و شناسایی مکانیزم های محتمل در شکل گیری میکروساختارهای مختلف پوشش ها
- بررسی مقاومت در برابر اکسیداسیون دمای بالای آلیاژ γ -TiAl پوشش داده شده از طریق انجام آزمون اکسیداسیون همدمای و سیکلی در دمای 1000°C .
- بررسی دقیق میکروساختاری پوشش های بدست آمده با استفاده از میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM)
- بررسی خواص مکانیکی میکروسختی و چسبندگی پوشش های بدست آمده
- بررسی تاثیر بکارگیری آمیژان های نانو ذره در اعمال پوشش ها

اهم نتایج به دست آمده از انجام پروژه/طرح (خروجی های فنی، ثبت اختراع، مقالات، کتب، گزارش های فنی و ...):

با استفاده از روش PVD، فاز غالب TiN که مقاومت بالایی در برابر سایش زیرلایه ایجاد می نماید، با موفقیت روی سطح زیرلایه γ -TiAl[Ti-48Al-2Nb-2Cr(at.%)] توانسته تشکیل شود. حضور پیک های غالب قرمز رنگ در نتیجه XRD بدست آمده نشانگر تشکیل و حضور فاز TiN در پوشش تشکیل شده روی سطح زیرلایه می باشد. یقیناً ارتقاء مقاومت در برابر سایش زیرلایه γ -TiAl استفاده شده در این پروژه که در نتایج مربوط به شکل ۵ مشاهده شد نیز بدلیل تشکیل موفقیت آمیز ترکیب فازی TiN بوده است. همچنین، با توجه به نتایج حاصله می توان ملاحظه نمود که طی فرآیند پوشش دهی با روش PVD، پوشش TiN با ضخامت حدودا $4\mu\text{m}$ با موفقیت روی سطح زیرلایه γ -TiAl تشکیل شده است. جهت بررسی مورفولوژی سطحی دقیق از پوشش بدست آمده، آنالیز تصویری FESEM از روی سطح پوشش TiN بدست آمده نیز تهیه شد.

بر اساس نتایج مستخرج از انجام این پژوهش، ۳ مقاله ISI در مجلات معتبر بین المللی بشرح زیر بچاپ رسیدند:

- S. Nouri, S. Sahmani, M. Asayesh, M.M. Aghdam. Microstructural characterization of YSZ-CoNiCrAlY two-layered thermal barrier coating formed on γ -TiAl intermetallic alloy via APS process. *Intermetallics* 118 (2020) 106704.
- S. Nouri, S. Sahmani, M. Asayesh, M.M. Aghdam. Improvement of high-temperature oxidation resistance of γ -TiAl intermetallic alloy by YSZ-NiCoCrAlY coating using APS process. *Materials Research Express* 6 (2019) 126541.
- S. Nouri, S. Sahmani, M. Asayesh, M.M. Aghdam. Study on the oxidation resistance of γ -TiAl intermetallic alloy coated via different diffusion coating processes. *Materials Research Express* 6 (2020) 106522.