



## 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: سنتز و مشخصه یابی سوپرآلیاژ ODS پایه نیکل

واحد مجری:	اداره برنامه ریزی پژوهشی	کارفرما:	پژوهشگاه نیرو
مدیر طرح/پروژه:	مصطفی امیرجان	مجری:	حمید عبدلی
کد مالی پروژه:	۳۸۰۱۱۴	کد کیفی پروژه:	PRPPN03
نوع طرح/پروژه:	پژوهشی (خودتعریف)	معاونت:	پژوهشی

همکاران: مصطفی امیرجان

**کلمات کلیدی:** سوپرآلیاژ؛ آلیاژ استحکام یافته با ذرات پراکنده اکسیدی ODS؛ آلیاژسازی مکانیکی؛ نیکل؛ متالورژی پودر؛ استحکام؛ ریزساختار

### ضرورت انجام پروژه/طرح:

آلیاژهای ODS (Oxide Dispersion Strengthened) در واقع کامپوزیت هایی با زمینه فلزی، حاوی ذرات ریز اکسیدی توزیع شده در آن هستند. آلیاژهای نیکل معمول ترین آلیاژهای ODS به شمار می روند؛ با این وجود آلیاژهای حاوی آهن-آلومینیوم و آهن-کروم نیز استفاده بسیار بالایی، خصوصاً در کاربردهای هسته ای، دارند. ذرات اکسیدی مورد استفاده در آلیاژهای ODS، ذرات کوچکی در بازه ۵ تا ۵۰ نانومتری می باشند و معمولاً از جنس  $Al_2O_3$  و یا  $Y_2O_3$  هستند. استحکام آلیاژهای ODS، بر پایه ناهمگونی ذرات اکسیدی با زمینه فلزی مهیا می شود. به نحوی که این ذرات اکسیدی، از حرکت نابجایی ها جلوگیری کرده و تنها مکانیسم فعال برای حرکت آنها، صعود می باشد که در دماهای پایین امکان پذیر نیست؛ با این حال در دماهای بالا و کسب انرژی، امکان صعود و در نتیجه حرکت نابجایی ها وجود دارد. این مکانیسم، یکی از مکانیسم های اصلی استحکام دهی کامپوزیت ها نیز می باشد، که ذرات تقویت کننده باعث می شوند تا از حرکت نابجایی ها و اشاعه ترک جلوگیری شود. علاوه بر این، استحکام فاز گاما پرآییم زمینه از جنس سوپرآلیاژ پایه نیکل نیز، مکانیسم دیگر استحکام بخشی می باشد که در تمام سوپرآلیاژها یکسان بوده و نقش مهمی را در این راستا ایفا می کنند. به همین دلیل سوپرآلیاژهای ODS پایه نیکل، نقش عمده ای در صنایع هوایی و موتورهای توربینهای گازی پیشرفته دارند.

### اهداف پروژه/طرح:

هدف از این پروژه، مطالعه و بررسی و سنتز سوپرآلیاژهای ODS پایه نیکل با استفاده از افزودنی YSZ مشابه ترکیب های تجاری MA600 و MA754 می باشد که با توجه به خصوصیات مکانیکی و فیزیکی، به ویژه خصوصیات خزشی مطلوبی که دارند، جایگزینی مناسب برای سوپرآلیاژهای مرسوم نظیر GTD-111 و IN738 در پره توربین های گازی هستند.

### چکیده پروژه/طرح:

در تحقیق حاضر، در این تحقیق، آلیاژهای ODS پایه نیکل به روش مبتنی بر متالورژی پودرآلیاژسازی مکانیکی و SPS تهیه شد. بدین منظور، پودر آلیاژی با بکارگیری مواد اولیه عنصری به روش آلیاژسازی مکانیکی تهیه و نمونه های جهت آزمون ها به روش SPS تهیه شدند. بررسی ها و نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد؛ افزایش زمان آلیاژسازی، ابتدا منجر به افزایش اندازه ذرات و سپس کاهش اندازه آنها می شود. تکرار مکانیزم جوش سرد و شکست در مرحله آلیاژسازی مکانیکی و با افزایش زمان آلیاژسازی، مکانیزم اصلی در ایجاد ساختار لایه ای و تغییر مورفولوژی و اندازه ذرات است. مورفولوژی ذرات از حالت کاملاً بی شکل و گوشه دار به مورفولوژی منظم تر تغییر می یابند. با افزایش زمان آلیاژسازی، اندازه کریستالیت ها کاهش می یابد که نشان دهنده اثرات ریزشدن است و پس از آن تغییر محسوسی مشاهده نمی شود. در ضمن، کرنش شبکه تا حدود ۰،۴۶۱ درصد افزایش می یابد که نشان دهنده این است که چگالی نابجایی در ذرات به واسطه آلیاژسازی مکانیکی به شدت افزایش یافته است. نتایج XRD نشان داد در شرایطی که نمونه های به صورت مخلوط اولیه هستند (as-mixed)، پیک عناصر به صورت مجزا و تیز مشاهده می شود. با افزایش زمان آلیاژسازی به ۵ و ۱۰ ساعت

پهن شدگی پیک مشاهده شد. چگالی نسبی اندازه‌گیری شده قطعات در محدوده ۹۶ تا ۹۸ درصد بوده و مقادیری تخلخل در نمونه‌ها وجود دارد. مورفولوژی ذرات و مساحت سطح پودر، دما، فشار و زمان تفجوشی از جمله عوامل مهم و تاثیرگذار در دستیابی به چگالش کامل قطعات می‌باشد ریزساختار در هر دو حالت قبل و بعد از عملیات حرارتی مشتمل بر زمینه، تخلخل و فاز ثانویه است که فاز ثانویه موجود در ریزساختار، فاز کاربید کروم بوده و از نوع M7C3 می‌باشد. اندازه متوسط کاربیدهای مذکور در ریزساختار عمدتاً زیر ۵ میکرومتر است. بررسی ریزساختار نمونه‌های ODS-1 و ODS-2 پس از عملیات حرارتی تغییر محسوسی را در ریزساختار و فاز ثانویه نشان نداد. به نظر می‌رسد ایجاد فازهای کاربیدی و مداخله آنها مانع تشکیل فاز استحکام‌دهنده  $\gamma$  شده است. بنابراین، مشابه نمونه ODS-2 (مشابه نمونه MA6000) به جای فعال شدن هر دو مکانیزم استحکام‌دهی رسوب‌سختی و ذرات پراکنده اکسیدی، تنها مکانیزم ذرات پراکنده فعال خواهد بود. بیشترین میزان استحکام کششی در نمونه‌های مورد بررسی مربوط به آلیاژ ODS-2 است. مقدار خواص کششی این آلیاژ به مراتب بیشتر از آلیاژهای متداول از جمله IN738 و IN939 است. مقایسه این آلیاژ با آلیاژهای پایه نیکل متالورژی پودر و حاصل از عملیات آلیاژسازی مکانیکی، نشان می‌دهد که مقادیر استحکام تسلیم و کششی این آلیاژ در سطوح بالای خواص این آلیاژها قرار داشته و نسبت به آلیاژ MA 6000 با ترکیب نسبتاً مشابه خواص کششی بالاتری را نشان می‌دهد. بررسی نمونه‌های ODS-3 و ODS-4 با ترکیب Ni-Cr نسبتاً مشابه، نشان می‌دهد که نمونه ODS-4 بدون حضور افزودنی اکسیدی، خواص کششی تقریباً مشابه را نشان می‌دهد. این امر در خصوص نمونه ODS-3 با افزودنی نانوذرات YSZ مقادیر بالایی (بیش از دو برابر) نمونه ODS-4 نشان می‌دهد. میزان اکسیداسیون، نمونه ODS-2 به مراتب کمتر از نمونه ODS-1 می‌باشد. تشکیل لایه محافظ اکسیدی  $Al_2O_3$  و نیز لایه اکسیدی کروم  $Cr_2O_3$  در مراحل اولیه اکسیداسیون می‌تواند دلیل اصلی این تفاوت باشد. همچنین، میزان تخلخل‌های کمتر و عدم وجود تخلخل‌های راه‌بدر عامل موثر دیگری در کاهش میزان اکسیداسیون است.

## مراحل و روش‌های انجام پروژه/طرح:

عنوان / توضیحات
<b>(مطالعات و مرور بر منابع)</b> (جستجوی منابع به روز در زمینه آلیاژهای ODS، روش تولید، تحقیقات انجام شده)
<b>(انتخاب آلیاژ و طراحی آزمایشات)</b> (انتخاب آلیاژ بر اساس مطالعات و کاربرد و طراحی آزمایشات)
<b>(تدارک مواد و تجهیزات)</b> (خرید مواد اولیه مورد نیاز، بررسی تجهیزات مورد نظر جهت نمونه سازی و انجام آزمون ها)
<b>(نمونه سازی و انجام آزمون‌ها)</b> (آماده سازی مواد و ساخت نمونه ها، انجام آزمون های مختلف ریزساختاری، فیزیکی و مکانیکی)
<b>(تحلیل نتایج و جمع بندی)</b> (بررسی نتایج حاصل، تحلیل نتایج و مقایسه)

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

- گزارش فنی پروژه
- مشخصه‌یابی و امکان‌سنجی فنی جهت پیگیری پروژه در مقیاس بالاتر

