

پیوست الف) مشخصات فنی پوشش‌ها

توضیحات			مشخصات	
قطر اینگات اولیه ۷۰ میلی‌متر	۲۳۰-۷۰ میکرومتر	MeCrAlY (NiCoCrAlY)	Bond coat	ضخامت و ترکیب شیمیایی پوشش
	۲۳۰-۷۰ میکرومتر	8YSZ/ ZrO ₂ -7% Y ₂ O ₃	Top coat	
صفر درصد	پوشش بدون هیچگونه کندگی، ترک یا پوسته شدن در سطح و لبه‌های پره در تمام لایه‌ها.		شرایط سطحی پوشش	
کمتر از ۵ درصد	لکه‌هایی که با چشم غیرمسلح در قسمت بالایی سطح پوشش قابل مشاهده هستند.			
بین ۱ تا ۵ میکرومتر	زبری متوسط سطح خارجی پوشش اصلی اعمال شده (Ra)		زبری سطح پوشش	
بیش‌تر از ۷۰ مگاپاسکال	استحکام چسبندگی پوشش‌های اعمال شده با استفاده از استاندارد ASTM C633		استحکام چسبندگی	
با استفاده از SEM	ضخامت، فصل مشترک و مورفولوژی ستونی با ساختار پرشکلی		مشخصه میکروساختاری	
بین ۱۰ تا ۲۰ درصد	درصد تخلخل مجاز در فضای میان ستون‌ها		تخلخل	

پیوست ب) معیار پذیرش پوشش

ب-۱) بررسی ریزساختاری

ب-۱-۱) پوشش MCrAlY

لازم است پره‌ها قبل از اعمال YSZ، با ترکیب تأیید شده MCrAlY پوشش داده شوند. ضخامت پوشش و ترکیب شیمیایی لایه رسوب شده MCrAlY باید توسط میکروسکوپ‌های نوری و الکترونی روبشی ارزیابی شود. یکنواختی ترکیب شیمیایی باید در سه ارتفاع مختلف ضخامت پوشش (نزدیک زیرلایه - وسط پوشش و سطح بیرونی) بررسی شود. این پوشش باید عاری از تخلخل، اکسید، آلودگی سطح مشترک و ترک باشد.

ب-۱-۲) لایه TGO

ضخامت و یکنواختی ترکیب شیمیایی باید با میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شود. آلفا Al_2O_3 -نازک و یکنواخت با ضخامت بهینه برای رسیدن به ریزساختار و خواص YSZ مورد نیاز باید روی تمام سطوح پوشش داده شده، تشکیل شود.

ب-۱-۳) پوشش YSZ

پوشش YSZ باید مورفولوژی ستونی داشته باشد که مطابق نقشه‌ها، لازم است صرفاً مناطقی از پره‌ها پوشش‌دهی شوند. محدوده قطر (d) مورد نیاز ستون‌ها بین ۱ تا ۵ میکرومتر است.

ب-۲) بررسی و آماده‌سازی مواد اولیه فرایند پوشش

لازم است مواد اولیه (شمش‌های) تجاری و معمولی MCrAlY بر پایه نیکل با ترکیب NiCrAlY یا NiCoCrAlY روی پره‌ها استفاده گردد.

ماده خام پوشش اصلی باید YSZ (زیرکونیای تثبیت شده با ایتریا) به شکل شمش (استوانه‌ای با قطر ۶۸,۵ میلی‌متر) باشد. ترکیب شیمیایی شمش YSZ مورد استفاده در فرآیند EB-PVD باید مطابق با جدول ۱ باشد.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی شمش YSZ

	ZrO ₂ *	Y ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Other Oxides	Monoclinic Phase
Min (Wt. %)	Bal.	7	0	0	0	0	-	-
Max (Wt.%)		8	0.05	0.05	0.05	0.05	0.5	10

*Maximum 2.5% HfO₂ included in this value

ب-۳) ارزیابی پوشش

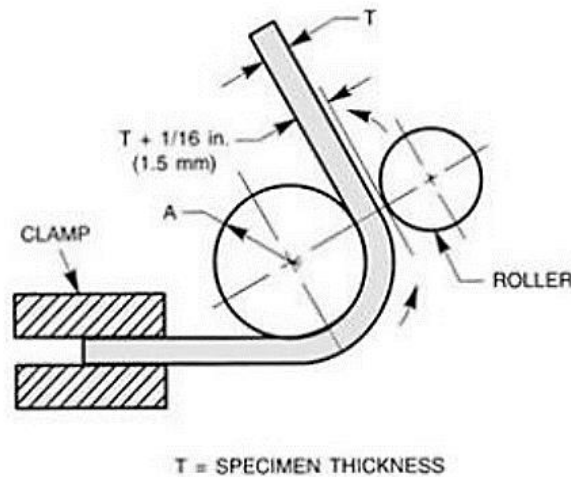
ب-۳-۱) ارزیابی ظاهری و رنگ پوشش

پوشش نهایی بدست آمده باید فاقد هرگونه ترک، پوسته شدگی، کندگی، حفره و عیوب ظاهری باشد. همچنین رنگ سفید یکنواخت TBC باید پس از اتمام فرآیند به دست آید. سوراخ های خنک کننده و حفره داخلی پره باید فاقد پوشش باشد.

ب-۳-۲) ارزیابی چسبندگی با روش خمش

آزمایش خمش باید روی صفحه آزمایش انجام شود، همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است. در خم شدن قطعه پوشش دار تا زاویه ۹۰ درجه، پوسته شدن لایه سرامیکی، برآمدگی و فرو ریختن آن ممنوع است.

انجام آزمون خمشی نمونه با پوشش NiCoCrAlY/YSZ بر نمونه استاندارد انجام می شود که صرفاً یک طرف آن پوشش دهی شده باشد. سپس نمونه با زاویه ۹۰ درجه حول استوانه ماندل (با قطر ۳ میلی متری) در طرف بدون پوشش خم می شود. در بررسی بصری قطعه آزمون خمش، ترک های جزئی در جهت عمود بر خمش مجاز است اما پوسته شدن، برآمدگی، فرو ریختن مورد پذیرش نمی باشد.



شکل ۱. آزمون خمش

ب-۳-۳) مورفولوژی پوشش YSZ

لازم است سطح مقطع پوشش اعمال شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد ارزیابی قرار بگیرد. ساختار ستونی پر شکل با ضخامت کل پوشش بین ۷۰ تا ۲۳۰ میکرومتر و با قطر ستون‌های کمتر از ۵ میکرومتر باشد.

یکنواختی پوشش در طول منطقه پوشش (بر نمونه مسطح) در محدود $> \pm 0.15\%$ از میانگین ضخامت پوشش رسوب شده باشد. همچنین لازم است یکنواختی ضخامت پوشش YSZ جداگانه با روش غیرمخرب با دستگاه Eddy current ارزیابی شود.

ب-۳-۴) آزمون شوک حرارتی

نمونه پوشش داده شده بر قطعات دیسکی شکل استاندارد با استفاده از آزمون شوک حرارتی (با تجهیزات کارفرما) به عنوان بخشی از تضمین کیفیت پوشش مورد نیاز است.

پیوست ج) دانش فنی فرایند اعمال پوشش

ج-۱) پیش از فرایند پوشش دهی

- ج-۱-۱) آماده‌سازی سطح مانند پولیش کاری و شات بلاست برای دستیابی به زبری کمتر از ۰,۸ میکرومتر
- ج-۱-۲) فرایند شستشو و حذف آلودگی‌ها با حمام التراسونیک، چربی‌گیر قلیایی، استون، الکل، آب مقطر
- ج-۱-۳) طراحی برخی وسایل مانند فیکسچر و ماسک‌های مکانیکی مخصوص برای هندسه‌های مختلف پره‌ها

ج-۲) فرایند پوشش دهی

کنترل چک لیست برای فرآیند پوشش دهی از جمله کنترل دمای فرایند، فشار پایه، فشار کاری، تزریق گاز اکسیژن و نسبت آن با آرگون، پیش تمیز کردن، سرعت چرخش قطعات، کنترل ارتفاع قطعات تا ماده هدف، مدل حرکت باریکه الکترونی و غیره

ج-۲-۱) اعمال پوشش MCrAlY با ضخامت مدنظر

ج-۲-۲) روش تشکیل لایه TGO

ج-۲-۳) اعمال روش پوشش سد حرارتی YSZ با ضخامت و مورفولوژی ستونی مدنظر

ج-۳) فرایندهای پس از پوشش دهی

ج-۳-۱) کاهش زبری سطح (در صورت لزوم)

ج-۳-۲) عملیات حرارتی پس از پوشش

ج-۳-۳) فرایند لایه برداری پس از پوشش MCrAlY

پیوست د) جدول زمان بندی کسب دانش فنی پوشش دهی پره ها و تولید اینکات

دوره زمانی (ماه)												خروجی	فعالیت	فاز	
۱۳	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱				
													گزارش مکتوب	مطالعات اولیه در خصوص پارامترهای دستگاهی و جزئیات اولیه فرایند	۱-۱
													نمونه پوشش داده شده	انجام پوشش دهی بر اساس منابع مطالعاتی و طراحی آزمایش فرایند	۲-۱
													گزارش مکتوب کنترل کیفی	انجام آزمون های استاندارد و ارزیابی خصوصیات پوشش های تولید شده	۳-۱
													تثبیت فناوری	بهینه سازی فرایند و انجام پوشش دهی و آنالیزهای احتمالی مدنظر	۴-۱