Archive of SID

شانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح

بهمن‌ماه ۱۳۹۴

بررسی خواص مکانیکی قطعات گردنده وسیله پرنده با آلیاژ 7075-T6 در اثر جایگزینی پوشش با روش پاشش حرارتی

عمران کرمی زرندی[۱]،حمیدرضا تفرشی، رضا فتاحی

تهران، شرکت پشتیبانی و نوسازی بالگردهای ایران

چکیده:

با توجه به استفاده از آلیاژهای‌آلومینیومی‌در قطعات وسایل پرنده و نیاز مبرم آنها به مقاومت در برابر عوامل مستهلک کننده مانند پدیده ی سایش مطالعات بسیاری برای استفاده از پوشش های نوین به منظور افزایش مقاومت و ضریب ایمنی استفاده از این قطعات شده است. در این مقاله سعی بر حصول اطمینان از جایگزینی پوشش آندایز سخت با پوشش کاربید تنگستن کبالت به روش پاشش حرارتی شده است. پیش از جایگزینی پوشش شروع به تحلیل نرم افزاری شده است. بعد از آن، با استفاده از تست های هدایت الکتریکی و سختی‌سنجی سعی در اطمینان از عدم تغییر ماهیت فلز پایه قطعه شده است. با انجام تست های پروازی و زمینی طبق استاندارد های هوایی صحت و سلامت قطعه مورد تایید قرار گرفته است.

کلید واژه:سایش، نرم افزار،کاربید تنگستن، پاشش حرارتی، آندایز سخت، هدایت الکتریکی.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه:

آلیاژ AL 7075-T6 بدلیل خواص مکانیکی خوب و چگالی کم از آلیاژهای پرکاربرد در صنعت ساخت وسایل پرنده می باشد. استفاده از این آلیاژ در قطعات گردنده وسایل پرنده نیاز به مقاومت به سایش بالایی را میطلبد[۱]. بدین منظور اعمال پوشش آندایز سخت بعنوان راهکاری از دیر باز مورد استفاده قرار می گیرد. وجود بارهای زیاد و شرایط بحرانی و عدم توانایی پوشش آندایز سخت برای تحمل این شرایط، استفاده از پوشش های سخت با روش پاشش حرارتی را به عنوان جایگزین مد نظر قرار می دهد. فرآیند پاشش حرارتی به عنوان فرآیندی نوین توسط شرکت های هوایی مورد استفاده قرار میگیرد. فرآیند HVOF فرآیندی است که در آن از ترکیب اکسیژن و یک سوخت مایع یا گاز به همراه یک گاز حامل مانند نیتروژن یا هیدروژن استفاده میشود. این مخلوط توسط یک جرقه منفجر شده و گاز حامل، پودر تغذیه شده به داخل محفظه را با سرعتی بیش از سرعت صوت به سطح قطعه پرتاب میکند[۲]. مزایای دیگر این روش عبارتند از: انتقال حرارت کم به قطعه، تخلخل بسیار پایین و مقاومت به خوردگی بالا، صافی سطح و استحکام چسبندگی بالا(۶۰مگاپاسکال<). این روش کاربردهای بسیار بالایی در صنایع مختلف دارد مانند قطعات موتور هواپیما، انواع محورها، قطعات در معرض خوردگی و فرسایش در دمای بالا مانند بویلرها و کمپرسورها[۳].فرآیند پاشش حرارتی به عنوان فرآیندی نوین توسط شرکت های هوایی مورد استفاده قرار میگیرد. به منظور تعمیر و نگهداری و بازسازی قطعات وسیله پرنده با استفاده از این روش نیازمند بررسی عدم تغییر ماهیت قطعات هستیم. بدلیل الزامات استحکامی خاص برای قطعات هوایی، عدم تاثیرگذاری فرآیند بر روی خواص مکانیکی قطعه مذکور بسیار حایز اهمیت می باشد. بدین منظور تست های گوناگونی برای کنترل عدم تغییر ماهیت قطعه بعد از پوشش برداری و پوشش دهی انجام گرفت که در ادامه به آن اشاره خواهد شد.

مواد و روش تحقیق:

در این تحقیق سعی شد که از قطعه اصلی وسیله پرنده استفاده شود. قطعه اصلی از جنس آلومینیوم 7075-T6 و فورج شده با پوشش آندایز سخت بود. ترکیب شیمیایی و خواص آلیاژ این قطعه از جنس AL 7075-T6در جدول های۱ و ۲ آمده است[۴].

جدول ۱: ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیوم 7075-T6.

ترکیب شیمیایی	AL	Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Cr	Zn	Ti	other
درصد وزنی	bal	1.2 to 2.0	2.1 to 2.9	0.3max	0.40max	0.50max	0.18 to 0.28	5.1 to 6.1	0.20	bal

جدول۲) خواص مکانیکی آلومینیوم 7075-T6

خاصیت مکانیکی	مقدار
مدول یانگ	1.015e7(Psi)
ضریب پواسون	0.33

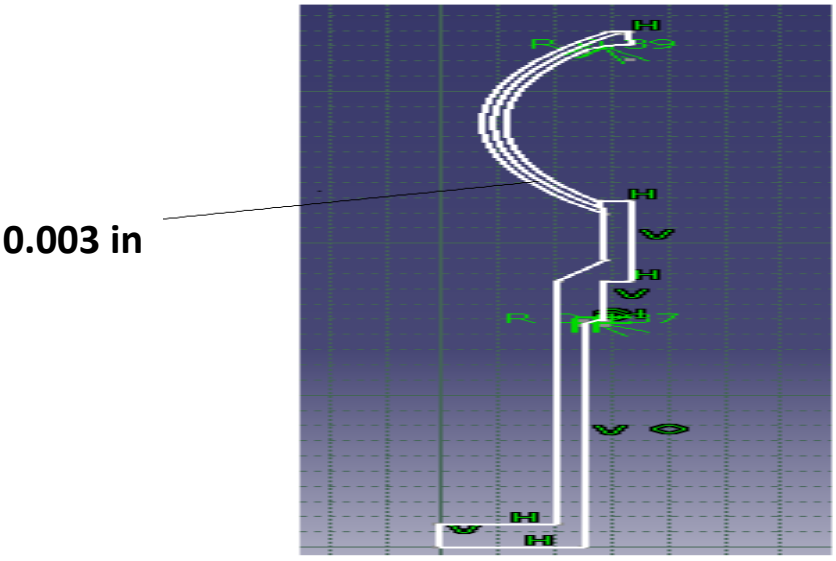
www.SID.ir

Archive of SID

ابتدا ابعاد و اندازه های قطعه اندازه گیری شد و بعد با استفاده از محلول الکتروشیمیایی با ترکیب دی کرومات سدیم و اسید سولفوریک و مابقی آب در دمای ۱۵۰°F پوشش آندایز سخت آن برداشته شد. بعد از پوشش برداری ابعاد اصلی قطعه اندازه گیری شد. با استفاده از روش پاشش حرارتی و پودرسرمت قطعه پوشش دهی شد. برای پوشش دهی از دستگاه Tafa JP 5000استفاده شد.برای رسیدن به ابعاد اصلی خواسته شده در نقشه، قطعه تحت عملیات سنگ زنی قرار گرفت. علاوه بر تست های میدانی و صنعتی که در ادامه خواهد آمد برای بررسی قطعه از تست هدایت الکتریکی استفاده شد. همچنین تست سختی سنجی بر روی زیر لایه پوشش انجام گرفت. برای مشاهده ی پوشش و زیر لایه از میکروسکوپ نوری استفاده شد. قطعه مورد نظر بعد از پوشش برداری و پوشش دهی با استفاده از نرم افزار CATIAمدل شد و با استفاده از نرم افزار آنالیز تنش مورد ارزیابی تحلیل تنش قرار گرفت.

نتایج و بحث:

انجام عملیات پوشش دهی و جلوگیری از آسیب رسیدن به قطعات اصلی تعمیری وسایل پرنده که پوشش های آندایز سخت آن تحت شرایط بحرانی کاری دچار سایش شده بود، نیازمند به حصول اطمینان از حفظ خواص مکانیکی و انجام آزمایشات کنترلی می باشد. دلیل عدم استفاده از پوشش مجدد آندایز سخت، ضعف آن در برابر سایش های شدید، ایجاد تنش کششی بر روی قطعه و عدم توانایی آن برای بازیابی ابعاد اصلی قطعه طبق نقشه های مهندسی می باشد.پیش از هرکاری برای درک درست از تاثیر پوشش، اقدام به تحلیل نرم افزاری کردیم. به منظور بررسی تاثیر پوشش برداری و پوشش دهی بر روی قطعه اصلی بعد از مدل کردن قطعه با نرم افزار Catia، با نرم افزارNastranقطعه تحت بارگذاری شبیه سازی شده، قرار گرفت. همانطور که در منابع ذکر شده است، با پوشش برداری آندایز سخت، قسمتی از ضخامت پوشش که درون قطعه نفوذ کرده است از بین می رود و از ضخامت قطعه کاسته میشود. هدف از شبیه سازی توسط نرم افزار، بررسی میزان اعوجاج قطعه در اثر کاسته شدن ضخامت و پوشش دهی با روش جدید می باشد برای بررسی تاثیر پوشش جدید بر روی خواص استحکامی قطعه منتخب، ابتدا نیازمند به دانستن نیروهای وارده بر قطعه بودیم. قطعه گردنده بدلیل نوع بارهای کششی و پیچشی که بر روی آن وارد میشود قطعه بسیار بحرانی می باشد. با انجام تست های زمینی مخصوص قطعات گردنده وسیله پرنده و اعمال گشتاور ذکر شده در استاندارد، با استفاده از دستگاه مخصوص اعمال نیرو بر روی این قطعات، نوع بارها برای ارائه به نرم افزار را بدست آوردیم. در ادامه قطعه طوری با نرم افزار Catiaطراحی شد که در راستای شعاع به اندازه ۰/۰۰۳in باربرداری شده است (شکل ۱). این مقدار همان میزان پوشش برداری برای اعمال پوشش جدید می باشد.



شکل ۱) مدل هندسی تغییر ضخامت پوشش

www.SID.ir

Archive of SID

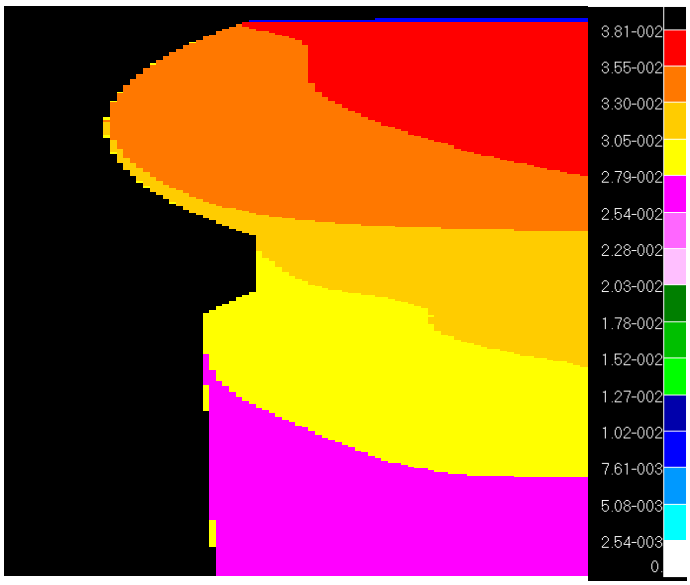
خواص مکانیکی پوشش سرمت استفاده شده برای ارائه به نرم افزار برای انجام محاسبات در جدول ۳ آماده است.

جدول۳) خواص مکانیکی پوشش سرمت

مقدار	خاصیت مکانیکی
5.8e7(Psi)	**مدول یانگ**
0.27	**ضریب پواسون**

آنالیز جابجایی قطعه

آنالیز قطعه ساپورت سواش پلیت به روش استاتیکی و به منظور تعیین استحکام قطعه توسط نرم افزار انجام گردید. در شکل ۲ کانتور displacement قطعه نشان داده شده است. همانطور که از شکل مشخص است ماکزیمم مقدار displacementبرابر in3.81e-2 است که از نظر مقدار، عدد قابل قبولی جهت اطمینان از میزان deflectionساپورت است.

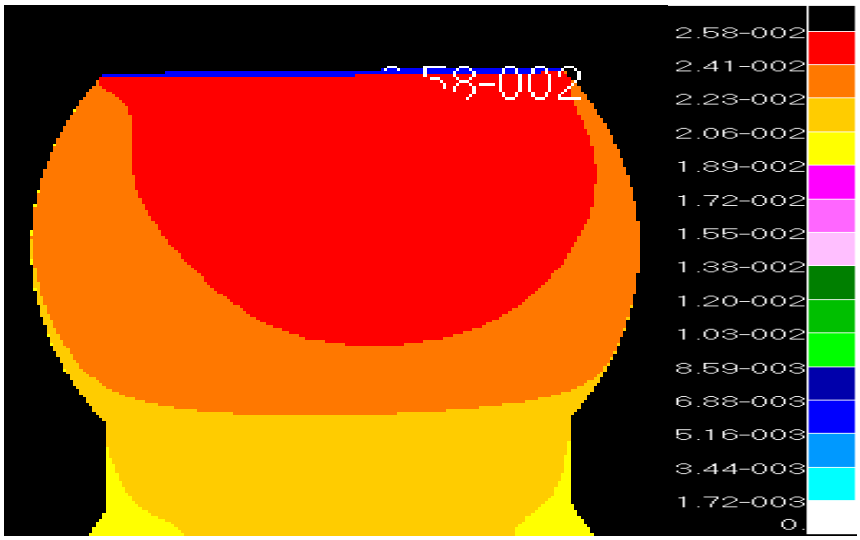


شکل۲) کانتور deflection ساپورت سواش پلیت

بعد از آن آنالیز قطعه ساپورت سواش پلیت با پوشش، به روش استاتیکی و به منظور تعیین استحکام قطعه توسط نرم افزار انجام گردید. در شکل ۳ کانتور displacement قطعه نشان داده شده است. همانطور که از شکل مشخص است ماکزیمم مقدار displacement برابر in2.58e-2 است که از نظر مقدار عدد قابل قبولی جهت اطمینان از میزان deflection ساپورت است.

www.SID.ir

Archive of SID

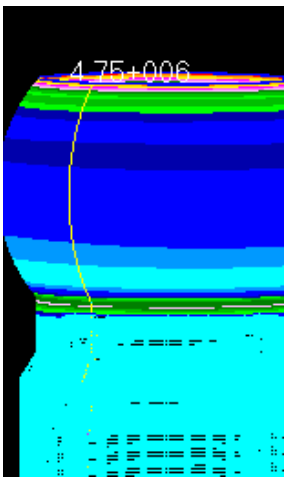


شکل۳) کانتور deflection ساپورت سواش پلیت با پوشش

آنالیز استحکام ساپورت سواش پلیت:

جهت بررسی استحکام قطعه ساپورت بررسی کانتور تنش ون مایز ضروری است. در شکل ۴ کانتور تنشون مایز قطعه اصلی نشان داده شده است. همانطور که از شکل پیداست، ماکزیمم مقدار تنش در نواحی دور از محلهای تمرکز تنش در حدود 4.75e 6(Psi) است. با توجه به اینکه تنش مجاز متریال آلومینیوم ساپورت در حدود10.3e6(Psi) است لذا از نظر استحکام می توان گفت که قطعه با اطمینان کافی، بارهای وارده را تحمل خواهد کرد.

M.S=S(ult.)/ S(appl.)-1=(10.3e6/4.75e6)-1=1.16⟶ok



شکل۴) کانتور تنش ون مایز ساپورت

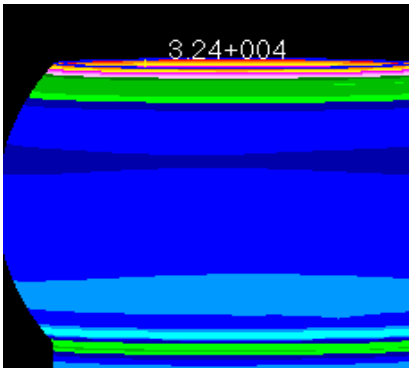
www.SID.ir

Archive of SID

آنالیز استحکام ساپورت سواش پلیت با پوشش wc-17co:

در اینجا نیز جهت بررسی استحکام قطعه ساپورت پوشش داده شده بررسی کانتور تنش ون مایز ضروری است. در شکل ۵ کانتور تنش ون مایز قطعه نشان داده شده است. همانطور که از شکل پیداست، ماکزیمم مقدار تنش در نواحی دور از محلهای تمرکز تنش در حدود3.24e6(Psi) است. با توجه به اینکه تنش مجاز متریال پوشش در حدود10.6e4(Psi) است لذا از نظر استحکام می توان گفت که قطعه با اطمینان کافی، بارهای وارده را تحمل خواهد کرد

M.S=S(ult.)/ S(appl.)-1=(106E4/3.24E4)-1=2.27⟶ok



شکل۵) کانتور تنش ون مایز ساپورت با پوشش WC-17CO

نتیجه ی حاصله از این محاسبات:

مطابق با جدول ۴ نتایج مربوط به آنالیز استحکام قطعه ساپورت سواش پلیت در حالتهای اصلی و پوشش دار آورده شده است. همانطور که درجدول آمده نتایج مربوط به حالت ساپورت پوشش دار از نظر استحکام و همچنین میزان DEFLECTION قطعه وضعیت بهتری پیدا کرده است:

جدول۴) مقایسه نتایج آنالیزهای استحکامی.

	ساپورت بدون پوشش Wc-17co	ساپورت با پوشش Wc-17co
Margine of saftey	1.16e6(Psi)	2.27e6(Psi)
Deflection	3.81e-2(in)	2.25e-2(in)

بررسی های دستگاهی:

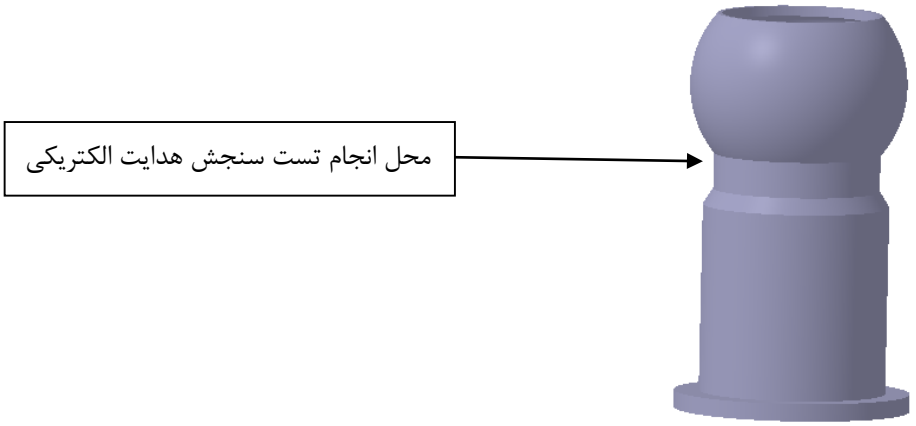
هدایت الکتریکی:

بعد از انجام آنالیزهای نرم افزاری، نمونه اصلی با پوشش آندایز سخت مورد آزمایش هدایت الکتریکی قرار گرفت. میزان هدایت الکتریکی برای این قطعه که دارای پوشش آندایز سخت می باشد حدود ۳۸٪IACS بود. بعد از پوشش برداری، پوشش دهی با فرآیند HVOFو انجام عملیات سنگ زنی قطعه جدید نیز تحت انجام تست هدایت الکتریکی قرار گرفت، میزان هدایت الکتریکی برای این قطعه نیز همان مقدار ۳۸٪IACS بود. آزمون سنجش هدایت

www.SID.ir

Archive of SID

الکتریکی بر روی منطقه ایی نزدیک به محل پوشش داده شده(شکل ۶) انجام شد تا تاثیر دمای فرآیند پوشش دهی بر روی آن دیده شود.



شکل۶) کانتور تنش ون مایز ساپورت با پوشش WC-17CO

همانطور که در استانداردها آورده شده و در جدول ۵ مشاهده میشود، تغییر عملیات حرارتی و به تبع آن تغییر ساختار قطعه میزان هدایت الکتریکی تغییر می کند، ولی با توجه به تست هدایت الکتریکی عدم تغییر خاصیت الکتریکی نشان از عدم تغییر ماهیت قطعه دارد.

جدول۵) خواص الکتریکی آلومینیوم با عملیات حرارتی مختلف.

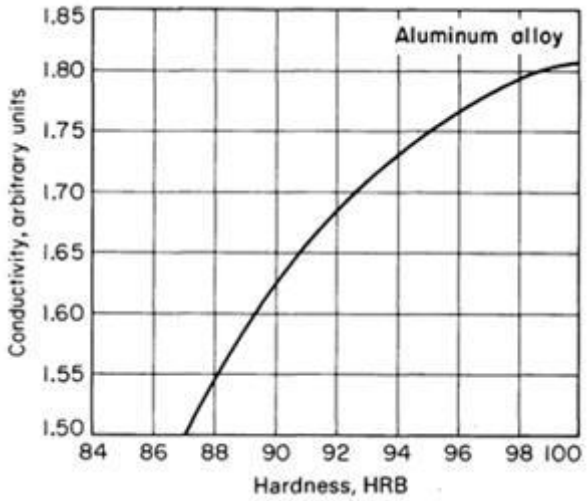
	هدایت الکتریکی %IACS	مقاومت الکتریکی nΩ.m
T6,T62,T651,T652	33%	52.2
T76,T7651	38.5%	44.8
T73,T7351,T7352	40%	43.1

سختی سنجی:

یک نمونه کوپن تست نیز در کنار قطعه اصلی، از همان جنس و با همان ضخامت و خواص، تحت عملیات پوشش دهی و سنگ زنی تا رسیدن به ضخامت پوشش مورد نظر قرار گرفت. این نمونه مانت سرد شد. بعد از انجام مانت سرد تمام زیر لایه آلومینیومی زیر پوشش جدید از محلی درست زیر پوشش به طرف عمق زیرلایه سختی سنجی شد. با فاصله گرفتن از پوشش هیچگونه تغییرات سختی مشاهده نشد.به منظور اطمینان، یک نمونه قطعه اصلی که عمر کارکردی آن تمام شده است نیز تحت عملیات پوشش برداری و پوشش دهی و سنگ زنی مانند نمونه های دیگر قرار گرفت. قسمتی از نمونه با استفاده از تیغه الماسه برش داده شد و به مانند کوپن تست مورد ارزیابی سختی سنجی قرار گرفت. نتایج حاصله موید عدم تغییر خواص سختی زیرلایه بر روی قطعه اصلی نیز می باشد.
همانطور که در استاندارد ها آورده شده است، فاکتورهای بسیاری میزان هدایت فلز را تحت تاثیر قرار می دهند که بطور برجسته شامل دما، ترکیب شیمیایی، عملیات حرارتی و میکرو ساختار،اندازه دانه، سختی و تنش های باقیمانده می باشد. به طور مثال شکل۷ رابطه سختی به هدایت الکتریکی را نشان می دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۷) رابطه سختی و هدایت الکتریکی در آلیاژ آلومینیوم که میتوان برای پایش عملیات حرارتی آلیاژ بوسیله eddy current از آن استفاده کرد.

همانطور که در بالا ذکر شد، میزان دمای اعمال شده در حین فرآیند پوشش دهی هیچگونه تغییری در ساختار ایجاد نکرده است. میزان سختی نیز موید این مطلب، در صورتیکه با توجه به منابع، ساختارهای بدست آمده از عملیات حرارتی های مختلف بر روی آلومینیوم باعث تغییر در خواص هدایتی فلز پایه میشود.
انجام تست های پروازی با قطعه فوق با پوشش پاشش حرارتی و انجام تست های زمینی مخصوص قطعات گردنده بعد از پرواز و اعمال گشتاورها و محاسبه ی نیرو ها، نشان از عدم تغییر خاصیت پوشش بعد از پرواز و بهتر شدن عملکرد قطعه دارد.

نتیجه گیری:

باتوجه به تحلیل های نرم افزاری و تست های دستگاهی و انجام تست های پروازی و زمینی قطعه ایی از وسیله پرنده دیده میشود که با بکار بردن روش پاشش حرارتی و تغییر پوشش قطعه هیچگونه تغییری در خاصیت ذاتی قطعه ایجاد نمیشود و خود پوشش نیز توانایی قابل قبولی برای تحمل شرایط بحرانی بارگذاری دارد. درنتیجه با جایگزینی پوشش های قدیمی مانند کرم سخت و آندایز سخت با پوشش های سخت نوین میتوان عمرکارکردی و کیفیت محصول را ارتقاء بخشید.

منابع:

۱- سند آنالیز قطعه سواش پلیت ساپورت با پوشش و بدون پوشش، رضا فتاحی.

2- J.Stocks,the theory and application of the Sulzer metco Diamond HVOF thermal spray process, Sulzer metco,2003.

3- T.Sahra oui, N.Fenineche, G. Montavon“ Alternative to chromium: characteristics and wear behaivior of HVOF coating for gas turbine shaft repair (heavy duty)”, Journal of Materials Processing Technology, 152, 2004, 43-55.

4- ASM Metals HandBook Volume 02 - Properties and Selection Nonferrous Alloys and Special Purpose Mat

www.SID.ir