





# دانشگاه تهران

دانشکده فنی

## بررسی عوامل مؤثر بر پوشش دهی سرامیک اکسید روی با آلومینیوم به روش فلزپاشی

نگارش: حمیدرضا سلیمانپور

موسسه تخصصی فناوری اطلاعات  
دانشگاه تهران

استاد راهنما

دکتر احمد علی آماده

اساتید مشاور

دکتر علی محمد هادیان

مهندس سید محمدرضا یوسف ثانی

۱۳۸۲ / ۱۰ / ۳۰

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در

مهندسی مواد و متالورژی

بهمین ۸۱

۵۸۴۰۸

موضوع:

بررسی عوامل موثر بر پوشش دهی سرامیک اکسید روی  
با آلومینیم به روش فلز پاشی

نگارش:

حمیدرضا سلیمانپور

از این پایان نامه در تاریخ ۱۳۸۱/۱۱/۶ در مقابل هیئت داوران دفاع به عمل آمد  
و مورد تصویب قرار گرفت.



سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده فنی: دکتر جواد فیض

مدیر گروه آموزشی: دکتر سید فرشاد اخلاقی

سرپرست تحصیلات تکمیلی گروه: دکتر حمیدرضا قاسمی منفرد راد

استاد راهنما: دکتر احمدعلی آماده

استاد مشاور: دکتر علی محمد هادیان

عضو هیئت داوران: دکتر محسن صارمی

عضو هیئت داوران: دکتر سید فرشید کاشانی بزرگ

عضو هیئت داوران: دکتر فرزاد محبوبی

## چکیده

سرامیک اکسید روی زینتر شده یک سرامیک الکترونیک نیمه‌رسانا است که به دلیل ویژگی مقاومت الکتریکی غیر خطی به عنوان برق‌گیر و تنظیم‌کننده ولتاژ کاربرد فراوانی در صنعت برق و الکترونیک دارد. برای اتصال این سرامیک به مدارهای الکتریکی و الکترونیکی، یک پوشش رسانای فلزی بر روی دو وجه متقابل سرامیک اعمال می‌شود که نقش الکتروود را ایفا می‌کند. الکتروودگذاری سرامیک اکسید روی یک مرحله حساس و مهم در تولید این قطعات می‌باشد. الکتروودگذاری و یا پوشش‌دهی سرامیک اکسید روی به روشهای مختلفی صورت می‌گیرد که کاربرد هر روش بستگی به حداکثر ولتاژی دارد که سرامیک باید تحمل کند. پوشش‌دهی سرامیکهای اکسید روی اغلب به روش پاشش آلومینیوم مذاب صورت می‌گیرد. در این پایان‌نامه، عوامل مؤثر بر پوشش‌دهی سرامیک اکسید روی با روش پاشش آلومینیوم مذاب بررسی گردیده است.

با تشکر فراوان از اساتید ارجمند

آقای دکتر آهاده و آقای مهندس یوسف ثانی

که راهنمایی اینجانب را در به ثمر رساندن این پایان

نامه به عهده گرفتند.

تقدیم و تشکر از

جناب آقای دکتر معین

که این پایان نامه بدون توجهات ایشان به ثمر

نمی‌رسید.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم  
که همیشه دوستشان دارم.

تقدیم به همسر عزیزم



تقدیم به

حامد، حسام و ساسان عزیز

با تشکر از همکاری دوستان گرامی

آقای محمد صفرلو، سرکار خانم فرزانه فرجامی،

آقای مهندس رضوانی، آقای مهندس مؤذن احمدی،

آقای مهندس بصیری پور

و سایر کسانی که به هر نحو مرا در تکمیل این

مجموعه یاری کردند.

## فهرست مطالب

مقدمه	فصل اول
۱	مقدمه
مروری بر منابع	فصل دوم
۳	۲-۱- پوششهای پاشش حرارتی
۴	۲-۱-۱- روشهای پاشش حرارتی
۴	۲-۱-۱-۱- پاشش با قوس الکتریکی
۶	۲-۱-۱-۲- پاشش با شعله احتراقی
۸	۲-۱-۲- دینامیک تشکیل پوششهای پاشش حرارتی
۹	۲-۱-۲-۱- تغییر شکل ذرات
۹	۲-۱-۲-۲- دمای ذرات در هنگام برخورد به سطح
۱۰	۲-۱-۲-۳- جوانه‌زنی، انجماد و رشد بلورها
۱۰	۲-۱-۲-۴- مکانیسمهای چسبندگی پوشش به سطح
۱۲	۲-۱-۲-۴-۱- اثر زبری سطح بر روی چسبندگی پوششهای پاشش حرارتی
۱۳	۲-۱-۲-۵- رشد پوششهای پاشش حرارتی
۱۴	۲-۱-۳- بررسی ویژگیهای پوششهای پاشش حرارتی
۱۴	۲-۱-۳-۱- خواص مکانیکی
۱۵	۲-۱-۳-۲- ریزساختار
۱۷	۲-۱-۳-۳- خواص الکتریکی
۱۷	۲-۱-۴- آماده‌سازی سطوح پیش از پاشش حرارتی
۱۸	۲-۱-۴-۱- بازرسی مقدماتی
۱۸	۲-۱-۴-۲- چربی‌زدایی و تمیزکاری

- ۱۸ ..... ۲-۱-۴-۳- ماسک گذاری پیش از آماده سازی سطح
- ۱۹ ..... ۲-۱-۴-۴- آماده سازی سطح
- ۲۱ ..... ۲-۱-۴-۵- ماسک گذاری قبل از پاشش حرارتی
- ۲۲ ..... ۲-۲- وریستورهای اکسیدروی
- ۲۲ ..... ۲-۲-۱- ویژگیهای وریستورها
- ۲۲ ..... ۲-۲-۱-۱- خواص الکتریکی وریستورها
- ۲۴ ..... ۲-۲-۱-۲- شیمی وریستورها
- ۲۴ ..... ۲-۲-۱-۳- ریزساختار وریستورها
- ۲۵ ..... ۲-۲-۱-۴- فیزیک وریستورها
- ۲۵ ..... ۲-۲-۱-۴-۱- مکانیسمهای هدایت در وریستورها
- ۲۶ ..... ۲-۲-۱-۴-۲- مدار معادل وریستورها
- ۲۷ ..... ۲-۲-۲- فرآیند تولید وریستورها
- ۲۷ ..... ۲-۲-۲-۱- تهیه بلوک سرامیکی
- ۲۷ ..... ۲-۲-۲-۲- عملیات حرارتی
- ۲۸ ..... ۲-۲-۲-۳- الکترو دگنداری
- ۲۸ ..... ۲-۲-۲-۳-۱- ویژگی الکترودها
- ۲۹ ..... ۲-۲-۲-۳-۲- روشهای الکترو دگنداری
- ۳۱ ..... ۲-۲-۲-۳- مکانیسمهای تخریب وریستورها
- ۳۱ ..... ۲-۲-۳-۱- ولتاژهای اضافی ناشی از رعد و برق و قطع و وصل مدار
- ۳۱ ..... ۲-۲-۳-۲- ولتاژهای اضافی انتقالی در حین سرویس دهی
- ۳۱ ..... ۲-۲-۳-۳- تجمع آلودگیها در محفظه خارجی وریستور
- ۳۲ ..... ۲-۲-۳-۴- تغییرات در فعالیت الکتریکی زمین

## روش پژوهش

## فصل سوم

- ۳۳ ..... ۳-۱- تهیه نمونه های پوشش داده شده
- ۳۳ ..... ۳-۱-۱- تهیه نمونه های سرامیکی پایه
- ۳۴ ..... ۳-۱-۲- پرداخت سطح نمونه ها
- ۳۴ ..... ۳-۱-۳- آماده سازی سطح نمونه ها

۳۴	..... ۳-۱-۳-۱-حکاکی شیمیایی سطح
۳۵	..... ۳-۱-۳-۲-دمش ذرات کاربید سیلیسیم
۳۵	..... ۳-۱-۳-۳-بدون آماده‌سازی
۳۶	..... ۳-۱-۴-تمیزکاری سطوح پیش از پوشش دهی
۳۶	..... ۳-۱-۴-۱-تمیزکاری سطح با محلول ترانتین
۳۶	..... ۳-۱-۴-۲-تمیزکاری سطح با امواج فراصوتی
۳۶	..... ۳-۱-۵-پوشش دهی نمونه‌ها
۳۷	..... ۳-۲-آزمایشهای صورت گرفته بر روی نمونه‌های پوشش داده شده
۳۷	..... ۳-۲-۱-بررسی با میکروسکوپ نوری
۳۷	..... ۳-۲-۱-۱-آماده‌سازی نمونه‌ها
۳۸	..... ۳-۲-۱-۲-بررسیهای میکروسکوپی
۳۸	..... ۳-۲-۲-بررسی با میکروسکوپ الکترونی
۳۹	..... ۳-۲-۳-بررسی تخلخلها با استفاده از آنالیز تصاویر میکروسکوپی
۳۹	..... ۳-۲-۴-تعیین زبری سطوح آماده‌سازی شده
۴۰	..... ۳-۲-۵-اندازه‌گیری استحکام چسبندگی پوشش به سطح
۴۰	..... ۳-۲-۶-اندازه‌گیری ریزسختی پوشش

## نتایج و بحث

## فصل چهارم

۴۲	..... ۴-۱-بررسیهای میکروسکوپ نوری
۴۳	..... ۴-۲-توپوگرافی سطحی
۴۴	..... ۴-۳-فصل مشترک پوشش/سرامیک
۴۶	..... ۴-۴-مکانیسم تشکیل پوشش
۴۷	..... ۴-۵-مورفولوژی پوشش
۴۸	..... ۴-۶-سطح زیر پوششهای جدا شده
۴۹	..... ۴-۷-شکل نوک الکترودهای مصرفی
۵۰	..... ۴-۸-تخلخل پوشش
۵۱	..... ۴-۹-زبری سطح
۵۲	..... ۴-۱۰-استحکام چسبندگی پوشش به سرامیک

۴-۱۱- سختی پوشش..... ۵۴

## نتیجه‌گیری و پیشنهادات

## فصل پنجم

۵-۱- نتیجه‌گیری..... ۵۶

۵-۲- پیشنهادات..... ۵۹

جدولها..... ۶۳

شکلها..... ۶۵

مراجع..... ۸۲

## فهرست جدولها

- جدول (۳-۱): پارامترهای فرآیند پاشش حرارتی که در تهیه نمونه‌ها بکار گرفته شده است..... ۶۳
- جدول (۴-۱): نتایج اندازه‌گیری تخلخل پوشش نمونه‌های مختلف..... ۶۳
- جدول (۴-۲): نتایج آزمون تعیین زبری سطح نمونه‌های مختلف..... ۶۳
- جدول (۴-۳): نتایج آزمون استحکام چسبندگی پوشش در نمونه‌های مختلف..... ۶۴
- جدول (۴-۴): نتایج آزمون اندازه‌گیری ریزسختی پوشش نمونه‌های مختلف..... ۶۴