

فصل اول: مقدمه

روش آبکاری فلزات برای اهداف تزئینی و محافظتی از دیر باز مورد توجه بوده است. بدون شک این صنعت متحول شده و روشهای نوین جایگزین روشهای متداول گشته است. آنودایزینگ نیز یکی از روش های آبکاری می باشد که در نتیجه آن یک پوسته اکسیدی بر روی سطح مورد نظر بوجود آمده و مقاومت به خوردگی وسایش را افزایش می دهد. عملیات آنودایزینگ رنگی همچنین می تواند باعث ایجاد ظاهری زیبا بر روی سطح مورد نظر شود. خصوصیات ویژه فولاد گالوانیک به واسطه مقاومت به خوردگی خوب آن باعث ایجاد طیف وسیعی از کاربردهای آن همچون لوله های آب، ورقه های کابینت سازی و هرجائی که نیاز به مقاومت به خوردگی واستحکام بالا باشد شده است که داشتن ظاهری زیبا می تواند کاربرد بهتری را به آنها بدهد. با انجام پروسه آنودایزینگ رنگی بر روی فولاد گالوانیک هم بواسطه ایجاد پوسته اکسیدی مقاومت به خوردگی وسایش افزایش یافته وهم اینکه این پوسته اکسیدی می تواند بصورت رنگی ظاهر شده ونیاز به رنگ کاری بعدی بر روی فولاد را رفع کند. بنابراین آنودایزینگ رنگی فولاد گالوانیک می تواند اهمیت خاصی در صنعت امروزی داشته باشد. در این پروژه به بررسی پارامترهای موثر بر آنودایزینگ رنگی فولاد گالوانیک پرداخته شده است به طوری

که در ابتدا این بررسی ها برای روی خالص صورت گرفته و سپس شرایط به سمت فولاد گالوانیک هدایت شده است. شرایط ایجاد این پوسته رنگی در مورد روی و فولاد گالوانیک طبق آنچه که در عمل صورت گرفته است بصورت مکتوب آورده شده است.

فصل دوم: مروری بر منابع

آنودایزینگ

آنودایزینگ شاخه ای از آبکاری الکتریکی فلزات می باشد که در طی آن پوسته ای اکسیدی بر روی سطح فلز تشکیل می گردد که می توان ظاهری رنگی رانیز در ضمن تشکیل این پوسته اکسیدی ایجاد نمود. برای تعیین نمودن پارامترهای موثر در فرآیند آنودایزینگ در یک دید کلی تری می توان پارامترهای موثر در فرآیند آبکاری را بررسی نمود که مهمترین این پارامترها به صورت زیر دسته بندی میشود:

۹- گردش محلول

۱- پلاریزاسیون

۱۰- تلاطم

۲- ولتاژ

۱۱- توان پرتاب

۳- چگالی جریان

- ۴- درجه تفکیک الکترولیت
- ۱۲- توان پوشاندن
- ۵- سرعت حرکت یون ها
- ۱۳- آند
- ۶- هدایت الکتریکی ویژه
- ۱۴- عوامل متالورژیکی
- ۷- غلظت یون فلزی
- ۱۵- قوانین فاراده
- ۸- PH محلول
- ۱۶- سطح اولیه از نظر

تمیز بودن

۱- پلاریزاسیون

اختلاف پتانسیل یک الکتروود را بین حالت مدار باز و حالتی که جریان می گذرد پلاریزاسیون گویند. پلاریزاسیون با عبور جریان مخالفت می کند و نقش کنترل کننده خوردگی را دارد. پتانسیل لازم برای نشست یک یون فلزی از محلول نمکی آن به شدت تحت تاثیر پلاریزاسیون قرار می گیرد. عوامل موثر بر واکنشهایی که در الکتروها رخ می دهد موجب پلاریزاسیون می شوند. انواع مختلف پلاریزاسیون ناشی از طبیعت این عوامل است این پدیده مهم ترین عامل در آبرکاری است. بطور کلی سه نوع پلاریزاسیون فعال سازی، غلظتی و مقاومتی وجود دارد.

۲- ولتاژ

ولتاژ رابین دو ترمینال اندازه می گیرند که عبارتست از نیروی لازم برای عبور جریان
و شامل سه قسمت است:

الف- ولتاژ لازم برای عبور جریان از آند به الكترولیت، از الكترولیت به الكترولیت نزدیک
کاتد و عبور از الكترولیت به کاتد.

ب- خشی کردن مقاومت خود الكترودها برای عبور جریان.

ج- ولتاژ لازم برای غلبه بر مقاومت سل. از آنجا که تغییرات مقاومت با ترکیب شیمیایی
محلول و دما و چگالی جریان که از سل عبور می کند مربوط است، جریان را نمی توان
از روی قانون اهم بدست آورد مگر آنکه شرایط سل را بطور دقیق بدانیم. افزایش ولتاژ
الزاما منجر به افزایش جریان نمی شود اگر چه اکثرا چنین است. در اکثر روش ها ولتاژ
را در سل ثابت نگه می دارند تا نتیجه رضایت بخش حاصل شود جریانی که از سل می
گذرد به ابعاد الكترودها و کار انجام شده در سل نیز بستگی دارد.

۳- چگالی جریان

افزایش چگالی جریان سل که به ازای آن مقدار جریان بر واحد سطح اضافه می شود موجب افزایش ظرفیت تولید و کاهش سرمایه و نیز کاهش سطح کارخانه نسبت به واحد محصول می شود ولی همواره با افزایش چگالی جریان بازده انرژی الکتریکی کاهش میابد. در بیشتر آبرکاری ها تغییرات چگالی جریان عامل کنترل کننده ای در خواص پوشش است. مناسبترین حالت را در عمل عواملی نظیر قیمت انرژی، مخارج تولید، ارزش مواد مصرفی و ذخیره شده در انبار و نیز انرژی مصرفی نسبت به واحد محصول تعیین می کند. برای فلزات قیمتی حتی اگر بازده کم باشد چگالی جریان زیاد به کار می رود زیرا در آنجا کیفیت سطح اهمیت بیشتری دارد و در برخی سیستم ها به طور خودکار چگالی جریان را تنظیم می کنند مثلاً با تغییر ولتاژ.

۴- درجه تفکیک الکترولیت

هرچه درجه یونیزاسیون بیشتر باشد در صورت ثابت بودن سایر عوامل قابلیت هدایت الکتریکی بیشتر میشود. درجه تفکیک الکترولیت های مختلف در محلول های ۱/۱۰ نرمال آنهادر جدول ۱-۲ آورده شده است.

جدول ۱-۲ درجه تفکیک الکترولیت های مختلف در محلول های ۱/۱۰ نرمال آنها

درجه تفکیک (%)	محلول های ۱/۱۰ N
۵۹	H ₂ SO ₄
۹۱	HNO ₃
۹۲	HCl
۰/۱۷	H ₂ CO ₃
۰/۰۱	H ₃ BO ₃
۱۲	H ₃ PO ₄
۲۴	NaOH
۸۰	Ba(OH) ₂
۱۳	NH ₄ OH

۵- سرعت حرکت یون ها

سرعت حرکت یون ها تحت تاثیر ملکول ها و یون های مجاور و ملکول های آب قرار می گیرد و به اختلاف پتانسیل بین الکترودها بستگی دارد و برای دو الکتروود با فاصله یک سانتی متر و اختلاف پتانسیل یک ولت بر حسب سانتی متر بر ثانیه بیان می شود. این سرعت برای هر یون مقدار ثابتی است ولی تحت تاثیر عوامل بسیاری از قبیل فشار، نوع حلال، غلظت و دما قرار می گیرد. دو یون مختلف علامه با سرعت های مختلفی حرکت می کنند. توجه شود که در هر الکتروود ممکن است یون های واکنش کننده بیش از تعداد یون های مهاجرت کرده باشند. در هر صورت تعداد کاتیونها و آنیونهای واکنش کرده مساوی است. در نتیجه ممکن است اطراف یک الکتروود سریعتر از الکتروود

دیگر تهی شود مگر آنکه با هم زدن محلول تعادل را برقرار کنیم. این اختلاف غلظت ناشی از مهاجرت یونها را پدیده انتقال گوئیم. اختلاف در عدد انتقال باعث می شود تا یونهای مساوی در آند و کاتد باردار شوند یا بار خود را از دست بدهند. عدد انتقال کاتیون را به Tk و عدد انتقال آنیون را به Ta نمایش میدهیم و مجموع این دو برابر یک است. در محلول ۱۰ نرمال سولفات نیکل $Ta=0,634$ و $Tk=0,366$ است و سولفات سریع تر از نیکل جابجا می شود. عدد انتقال برای الکترولیت های نمکی حدود نیم است و فقط در مورد اسیدها و بازها اعداد خیلی متفاوتی ایجاد می شود مثلاً در مورد اسید سولفوریک ۰/۰۲ نرمال $Tk = 0,823$ و $Ta=0,177$ است. ولتاژ یون های هیدروژن به طور قابل ملاحظه ای سریع تر از یون های سولفات مهاجرت می کنند.

۶- هدایت الکتریکی ویژه

مقاومت یک الکترولیت R به مقاومت ویژه آن ρ و فاصله بین صفحات آندی و کاتدی l و سطح مقطع آن A بستگی دارد که R, A, l به ترتیب بر حسب اهم، سانتی متر و سانتی متر مربع می باشند.

$$R = \rho l / A$$

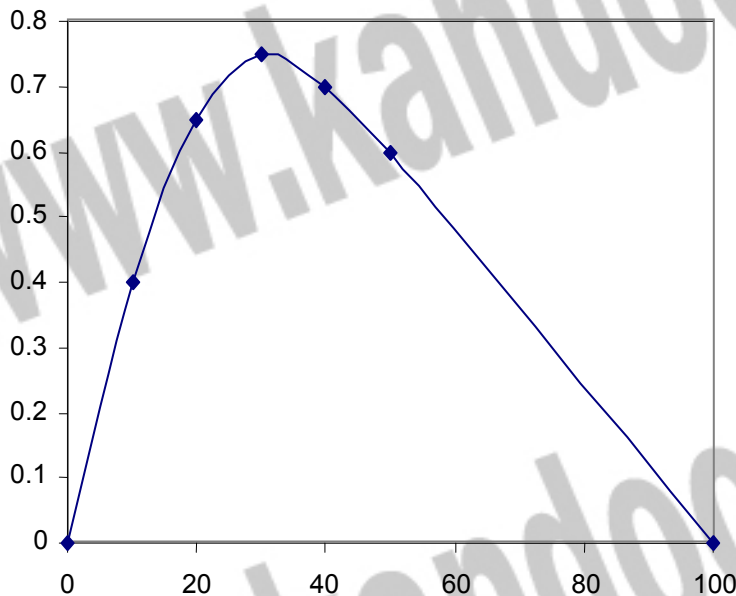
$$\rho = AR/l$$

ویا بهتر است هدایت الکتریکی ویژه را که عکس مقاومت ویژه است در محاسبات به کار ببریم.

$$K = l/\rho$$

هدایت ویژه با افزایش غلظت محلول زیاد میشود زیرا تعداد یون های محلول افزایش میابد ولی از آنجا که درجه تجزیه پس از غلظت معینی کاهش می یابد لذا تعداد یونها در محلول و در نتیجه هدایت ویژه پس از عبور از یک ماکزیمم کاهش می یابد.

این موضوع در شکل ۱-۲ برای اسید سولفوریک آمده است. الکترولیت های دیگر نیز منحنی های مشابهی دارند و ماکزیمم منحنی به ماده ی حل شده بستگی دارد.



هدایت الکتریکی ویژه

غلظت

شکل ۱-۲ هدایت الکتریکی ویژه اسید سولفوریک بر حسب غلظت آن

به منظور مقایسه هدایت الکتریکی الکترولیت های مختلف باید استاندارد را

انتخاب کنیم. در عمل قابلیت هدایت الکتریکی مولار یعنی هدایت مولی را در نظر می

گیرند. هدایت مولی (A) عبارتست از نسبت هدایت ویژه یک الکترولیت (K) به غلظت

مولی آن (CM):

$$A=K/CM$$

اگرچه هدایت ویژه با کاهش غلظت کم می شود ولی هدایت مولی کم نمی شود بلکه مرتبا افزایش می یابد و به مقدار ثابتی می رسد. این مقدار ثابت را هدایت مولی در حالت حدی، هدایت حدی می گوئیم. معمولا به جای هدایت مولی از هدایت اکی والان (Aeq) هم استفاده می شود و عبارتست از:

$$A_{eq} = k / C_{eq}$$

$$C_{eq} = \text{غلظت اکی والان}$$

مقادیر A_{eq} و A_m برای تعیین درجه یونیزاسیون بسیار مهم اند و اگر A_c هدایت مولی در غلظت C و A_0 مقدار پائینی آن باشد (در محلول بسیار رقیق $C=0$) آنگاه درجه یونیزاسیون الکترولیت عبارت است از:

$$\alpha = A_c / A$$

مقادیر قابلیت هدایت اکی والان برخی از الکترولیت ها در جدول ۲-۲ آمده است.

جدول ۲-۲ هدایت اکی والان چند الکترولیت در ۱۸ درجه سانتی گراد

الکترولیت	A۰/۱	A۱	A۱۰	A۱۰۰ (محاسبه شده)
اسید کلریدریک	۶۴	۳۰۱	۳۵۱	۳۸۰
کلور سدیم	-	۷۴	۹۲	۱۰۹
استات سدیم	-	۴۱	۶۱	۷۸

توجه شود که A۰/۱ یعنی یک اکی والان گرم در ۰/۱ لیتر آب و A۱ یعنی یک اکی والان گرم در یک لیتر آب. افزایش دما قابلیت هدایت را زیاد می کند زیرا قابلیت تحرک یون ها، اتم ها و ملکول ها را افزایش می دهد. اسیدهایی که بیشتر تجزیه می شوند دارای بیشترین قابلیت هدایت اند زیرا یون های متحرک هیدروژن بیشتری ایجاد می کنند پس از آنها بازهایی نظیر هیدروکسید سدیم و هیدروکسید پتاسیم هستند. نمک هایی که هدایت زیادی دارند بعد از مواد فوق قرار دارند. برخی از نمک ها به اندازه

کافی قوی هستند و به خوبی تجزیه می شوند لیکن تحرک یون های آنها کمتر از تحرک یون هیدروژن و یون هیدروکسیل است. قابلیت هدایت الکترولیت ها کمتر از فلزات است. قابلیت هدایت محلول اسید سولفوریک ۳۰٪ در ۱۸ درجه سانتی گراد به میزان ۸۰۰۰۰۰ برابر کمتر از قابلیت هدایت مس است. طبق جدول ۲-۲ سرعت مطلق مهاجرت یون ها بسیار کوچک است و لذا اطراف الکترودی که در آن رسوب رخ می دهد تهی می شود. گرم کردن محلول و یا بهم زدن آن باعث می شود تا این اشکال از بین برود و یا کمتر شود. در تعداد زیادی از حمام های آبکاری مقاومت حمام را با افزایش نمک و یا اسید و یا باز کم می کنند در نتیجه افت پتانسیل به ازای چگالی جریان معین کاهش می یابد. معمولاً برای تغییر هدایت یک حمام لازم است که بعضی از خواص آن مثلاً غلظت یون فلزی را تغییر داد. افزودن H_2SO_4 به حمام $CuSO_4$ موجب افزایش هدایت آن می شود ولی از طرفی اثر یون مشترک غلظت Cu^{2+} را کم می کند. لازم به تذکر است که افزایش هدایت در نتیجه افزودن اسید سولفوریک چندین مرتبه بیشتر از تاثیر یون مشترک در کم کردن غلظت یون فلزی است. به هر حال فرض می شود که فرآیند در هدایت بیشتر یا مقاومت کمتر بهتر انجام می شود.

۷- غلظت یون فلزی

غلظت یون به غلظت نمک، درجه یونیزاسیون، دما و وجود یونهای مشترک بستگی دارد. افزودن یون مشترک موجب کاهش نسبی غلظت یون فلزی می شود. تشکیل یون های کمپلکس پایدار غلظت یون فلزی را کاهش می دهند. در غلظت های کم فلزی حتی در چگالی جریان کم محصول پودری شکل است. از بین یون های کمپلکس یون هایی که عامل سیانور دارند در ترکیب با فلزاتی نظیر مس، نقره، کادمیم، روی و برنج الکترولیت مناسبی برای پوشش دادن هستند. در ترکیبات کمپلکس غلظت یون فلزی به علت تجزیه ثانویه کم است در حالی که در ترکیبات ساده یون فلزی مخزنی از یون هاست که به مقدار کم ولی مداوم برای رشد و نمو بلور در دسترس است.

۸- PH محلول

PH الکترولیت به طور موثری هم روی مشخصات و ظاهر پوشش و هم روی بازده جریان موثر است. در برخی از فرآیندهای صنعتی نظیر آبکاری نیکل مواد بافر به محلول اضافه میکنند نظیر اسید بوریک تا PH را در حد دلخواهی نگه دارند. اسید بوریک طبق رابطه زیر تجزیه میشود:



ویون H^+ ایجاد می کند و لذا کاهش یون هیدروژن در محلول که به طور همزمان در کاتد متصاعد می شود جبران می گردد و تغییرات ناخواسته که منجر به افزایش PH می شد از بین می رود. در هر حال اگر PH افزایش یابد باید به طور جزئی آن را خنثی کرد و به حد مطلوب رساند. از سدیم استات برای خنثی کردن جزئی اسیدها و از آمونیم کلرید برای خنثی کردن بازها می توان استفاده نمود. اگر مقدار اسید یا باز زیاد باشد باید آن را با عملیات ابتدائی به نزدیک منطقه خنثی رساند و گرنه مصرف سدیم استات و یا آمونیم کلرید زیاد می شود. PH حمام روی پتانسیل تخلیه هیدروژن، رسوب ناخالصی های بازی، ترکیب شیمیایی کمپلکس یا هیدرات که از آن فلز رسوب می کند و میزان جذب مواد اضافی در کاتد اثر می گذارد. از آنجا که نمی توان این آثار را پیش بینی کرد بهتر است PH را به طور تجربی تعیین کنیم. اثر PH روی تنش و سختی نیز مربوط به چگونگی توزیع آخال هاست. در حمام های مختلف حاوی یون های کمپلکس روی تعادل بین کمپلکس های مختلف اثر میگذارد و باید آنرا در رابطه با غلظت مد نظر داشت.

۹- گردش محلول

لازم است که ترکیب محلول را ثابت نگه داریم و تغییراتی را که در اطراف الکترودها بوجود می آید کم کنیم. لذا باید محلول را به هم زد و این کار با تلمبه و یا وسایل مخصوص انجام می شود.

۱۰- تلاطم

تلاطم با گردش محلول فرق می کند و عبارتست از حرکت آرام محلول در اطراف قطعه و یا حرکت دادن قطعه در محلول. هدف این کاراز بین بردن سریع لایه تشکیل شده در مجاور کاتد می باشد که از این فلزی تهی شده است. علت این کار این است که وقتی اطراف کاتد تهی شود سرعت نشست کم می شود و لذا برای بدست آوردن حد اکثر سرعت نشست ایجاد تلاطم لازم است و نیز باید محلول سنگین اطراف آنرا از بین برد تا آنرا بتواند حل شود و تلاطم برای این منظور مفید است. باید توجه داشت که گردش محلول که در آن حرکت بیشتر است هدف آن برای کل محلول است و لایه نازک با تلاطم فرق می کند. همچنین گردش محلول برای یکنواخت کردن دما و ترکیب

شیمیایی آن است. با ایجاد تلاطم با استفاده از هوا یا تلمبه میتوان از چگالی جریان بیشتری استفاده کرد زیرا تلاطم به توزیع یونها کمک می کند.

۱۱- توان پرتاب

این عبارت قابلیت محلول را برای نشانیدن فلز روی نقاط دور افتاده قطعه بیان می کند. اگر در یک پیل آند را در یک طرف و یک کاتد نزدیک به آن و یکی در فاصله دورتری از آن قرار دهیم و دو کاتد را به هم وصل کنیم انتظار نداریم روی کاتدی که در فاصله دورتر است فلز بیشتر رسوب کند. اگر کاتد دوم درست در فاصله دوبرابر از آند نسبت به کاتد اول قرار داشته باشد آنگاه انتظار داریم که روی کاتد دوم فلز رسوب کرده نصف کاتد اول باشد در حالی که اگر این آزمایش را به طور واقعی انجام دهیم و با یک محلول مشخص کار کنیم می بینیم که روی کاتد دوم فلز بیشتری از آنچه که انتظار داریم رسوب کرده است. در این صورت می گوئیم محلول دارای توان پرتاب مثبت است. در حالت ایده آل که با وجود فاصله متفاوت بین کاتدها مقادیر رسوب روی هر دو کاتد مساوی باشد می گوئیم توان پرتاب محلول صد در صد است. این حالت در هیچ روش آبرکاری الکتریکی رخ نمی دهد. لیکن در نشست شیمیایی که بدون جریان برق انجام می شود این حالت رخ می دهد و نیز در آنودایزینگ آلومینیم در اسید کرومیک که در آن

لایه ای عایق تا پوشاندن کامل سطح تشکیل می شود این حالت وجود دارد. از طرف دیگر اگر بینیم که مقدار فلز به طور معکوس با فاصله متناسب است آنگاه توان پرتاب صفر است. گاهی حتی فلز بیشتری روی الکتروود نزدیک و فلز کمتری از آنچه انتظار می رود روی الکتروود دورتر می نشیند در این حالت می گوئیم توان پرتاب منفی است. توان پرتاب یک محلول به شرایط کار بستگی دارد. به هر حال آن را می توان برای هر شرایطی تعیین کرد. اگر L نسبت فواصل دو کاتد از آند و M نسبت وزن فلز رسوب کرده روی آن دو باشد:

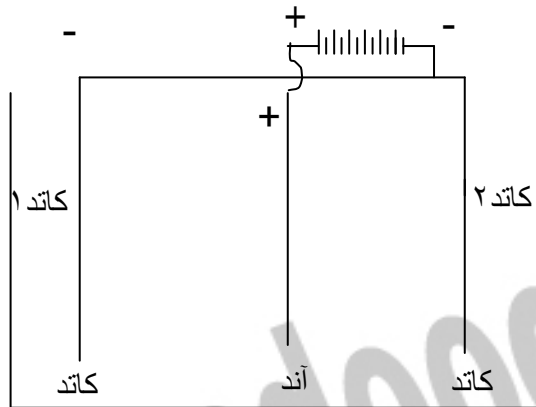
$$T.P = (L - M) * 100 / L + M - 2 \quad \text{or} \quad T.P = 100(L - M) / M$$

در این حالت وقتی فواصل کاتدها از آند ۱ و ۲ باشد در آن صورت $L = 2$ خواهد بود و M عبارت است از وزن فلز رسوب کرده روی کاتد دور بر وزن فلز رسوب کرده روی کاتد نزدیک که اگر $M = 1$ "در حالت ایده آل" باشد آنگاه $T.P = 0\%$ خواهد بود. اگر $M = L$ باشد $T.P = 0$ است و اگر $M = 1$ باشد $T.P = +100\%$ و اگر فلزی روی کاتد ۲ نشیند آنگاه $T.P = -100\%$ است. این توان به شرایط تعیین آن و سل استاندارد می باشد که به کار می رود بستگی دارد که توسط موسسه استاندارد انگلیس مشخص شده است. معمولاً توان پرتاب را به طور کمی اندازه گیری نمی کنند لیکن لازم است بدانیم که

خوب است یا بد برای مثال محلول های سیانور نقره یا کادمیم توان پرتاب نسبتا خوبی دارند. برای نیکل توان پرتابی کمتر است و برای کروم این توان خیلی بد است لذا در عمل آبکاری کروم برای قطعاتی که شکل غیر متعارفی دارند مشکل است. معمولا از سل هارینگ برای اندازه گیری این توان استفاده می شود. این سل به طور شماتیک در شکل ۲-۲ آمده است.

۱۲- توان پوشاندن

مشابه توان پرتاب است با این تفاوت که منظور از توان پوشاندن قابلیت محلول برای نشاندن یک فلز بر روی فلز غیر مشابه است. توان پوشاندن برای فلزات مختلف فرق می کند در حالی که توان پرتاب ویژگی محلول برای تولید پوشش روی سطحی است که لایه ای از پوشش دارد.



شکل ۲-۲ سل هارینگ برای اندازه گیری توان پرتاب

۱۳- آند

برای آبکاری از آندهایی به شکل ورق یا میله استفاده می شود. فلز آند باید از هرگونه آلودگی پاک باشد تا آلودگی ها به داخل حمام سرایت نکرده و یا در کاتد رسوب نکنند. این مواد به صورت لجن های غیر محلول روی سطح آند را می پوشانند. آندها ممکن است به شکل های مختلفی باشند و از قلاب آویزان باشند و یا به صورت قطعات کوچک در کیسه های مخصوص قرار گیرند. نوع آند و شکل و اندازه و چگونگی آند در هر آبکاری مشخص شده است. در برخی از محلول ها مانند نیکل کاری آندها را در کیسه های بافته شده می گذارند تا از نفوذ ذرات فلز و یا لجن های ناشی از تجزیه آندی به داخل محلول آبکاری جلوگیری کنند. اغلب آند های حل شونده در عملیات آبکاری

الکتریکی ارجحیت دارند رفتار آند نقش عمده ای در فرآیند آبکاری از نظر بازده جریان

توان پرتاب و ثابت نگه داشتن ترکیب شیمیایی حمام دارد. آندهای حل شونده ایده آل

باید دارای خواص زیر باشند:

الف- اگر فقط جریان به آنها اثر کند باید به صورت یکنواخت و صاف حل شوند.

ب- کمترین لجن را تولید کنند.

ج- بازده جریان آند در هنگام حل شدن بالا باشد.

د- حد جریان آنها بالا باشد میتوان با بزرگ انتخاب کردن سطح آند برای مواد بحرانی به این حد دست یافت.

ر- متناسب با قیمتشان دارای ماکزیمم درجه خلوص باشند.

روش ساخت آندها نیز بسیار مهم است آندهای ریخته شده ممکن است باعث انتقال

ذرات ناشی از سایش قالب به حمام شوند و ساختارهای درشت دانه نیز باعث حل شدن

غیر یکنواخت آند می شوند. معمولا آندهای نورد شده بهترین آندها هستند. در این

آندها خلل و فرج نیز وجود ندارد. البته برخی از فلزات را به این طریق نمی توان تهیه

کرد. خصوصا کروم را نمی توان به عنوان آند حل شونده به کار برد زیرا کروم با درجه

خلوص تجارتي شکننده است. وقتی فلز نشست کننده را نتوان به صورت ساخته شده

تهیه کرد از آندهای غیر محلول استفاده می شود. همچنین وقتی بازده جریان کاتدی در آندهای غیر محلول به مقدار قابل ملاحظه ای کمتر از بازده جریان در آند حل شونده باشد این آندها را همراه با آندهای حل شونده به کار می برند. درحالت اخیر سطح آند طوری انتخاب می شود که حل شدن آند حل شونده کاهش کاتدی فلز نشست را در محلول جبران کند. غالباً سرب با درجه خلوص ۹۹,۹٪ به کار می رود و معمولاً آن رادریک محلول الکترولیز اولیه قرار می دهند تا پراکسید پایدار و قهوه ای رنگ PbO_2 تشکیل شود. آماده سازی آند های سربی شامل عملیات آندی در محلول اسید سولفوریک رقیق به مدت چند دقیقه و با چگالی جریان ۱۰ تا ۵۰ آمپر بر دسی متر مربع است به طوری که یک لایه پر اکسید کامل روی آند تشکیل شود. عناصر آلیاژی نظیر قلع، آنتیموان یا نقره به میزان ۶ تا ۷ درصد به آند اضافه می شوند که باعث پایداری لایه پراکسید سرب می شوند و آند را سخت تر می کنند. در بیشتر فرآیندها تشکیل PbO_2 قهوه ای معیاری برای مطمئن بودن کار محسوب می شود. آندها باید در مقابل اکسیژن نیز مقاوم باشند. سایر مواد مناسب برای آندهای غیر محلول عبارت اند از آلیاز آهن با ۳٪ سیلیسیم، تیتانیم پلاتینه شده و گرافیت که ماده اخیر بر اثر اکسیداسیون به مواد گازی تبدیل می شود. فولاد زنگ نزن و طلا نیز کاربردهای محدودی در آبکاری دارند. فولاد

زنگ نزن به طور وسیعی در عملیات پوشش های تبدیلی شیمیایی و یا در آنودایزینگ آلومینیم به کار می رود البته شاید استفاده از لغت غیر محلول برای این آندها صحیح نباشد زیرا تجربه نشان داده است که این فلزات هم به آرامی در الکترولیت حل می شوند.

۱۴- عوامل متالورژیکی

در سال های اخیر به خواص متالورژیکی و رفتار پوشش های الکترولیزی توجه زیادی شده است. اکثر خواص متالورژیکی این پوشش ها مشخص شده است ولی هنوز اطلاعات زیادی درباره رابطه خواص این پوشش ها نظیر مقاومت در برابر خوردگی، براقی و غیره با ساختار آن ها ناشناخته مانده است. ساختار پوشش ها معمولا همان ساختار شبکه ای آن هاست و شکل و اندازه دانه ها معمولا به رفتار بلوری فلز بستگی ندارد ولی بر روی خواص پوشش اثر دارد. بر خلاف شبکه F.C.C که قابلیت انعطاف خوبی دارد شبکه H.C.P کمترین قابلیت انعطاف را دارد قابلیت انعطاف در شبکه B.C.C متوسط است. این خاصیت به آسانی یا سختی لغزش در صفحات اتمی بلورها مربوط است. معمولا دانه ها خواصی نظیر بلورها دارند ولی میزان ریزی و درشتی آنها روی این خواص اثر می گذارد. نسبت مرز دانه ها به حجم آنها عامل مهمی است و

چون در آبکاری رسوبات حاصل معمولاً ظریف اند لذا انتظار نمی رود که خواص این رسوبات با خواص ناشی از رفتار بلوری فلزات کاملاً تطابق داشته باشد. در ضمن عواملی چون مقدار رسوب همزمان مواد خارجی، تنشهای داخلی و جهت دار شدن اندازه دانه ها روی خواص پوششها اثر می گذارد. در پوشش ها نیز عیوب مختلف نظیر نابجائی ها، مرزدانه ها و دوقلوها وجود دارد. تعداد نابجائی ها که چگالی آنها در پوشش ها به میزان آنها در قطعات کار شده می رسد نقش موثری در خواص مکانیکی پوشش دارند. عیوب مختلف روی خواص الکتریکی و مغناطیسی و مقاومت در برابر خوردگی پوشش ها نیز اثر می گذارند. علاوه بر موارد فوق ذرات مختلفی که در حمام ها هستند مثلاً انواع افزودنی ها بر روی خواص پوشش اثر می گذارند. پوشش ها معمولاً همان خواصی را که در دمای اتاق از رفتار بلوری فلزات انتظار می رود دارند ولی گاهی چند شکلی های عجیبی در آنها دیده می شود. مثلاً منگنز وقتی که در دمای اتاق رسوب کند ساختار گاما را دارد و شبکه آن مکعبی ساده و قابل انعطاف است لیکن متاسفانه بعد از چند ساعت به تدریج به شکل پایدار در دمای اتاق تبدیل می شود که دارای ساختاری پیچیده با قابلیت انعطاف کم و یا بدون انعطاف است. اغلب مطالعه متالورژیست ها روی نمودار های تعادلی فازهاست و رسوبات الکترولیزی نیز معمولاً فازهای پیش بینی

شده از نمودارهای تعادلی هستند لیکن استثناهای زیادی وجود دارد مثلا در سیستم تنگستن و کبالت وقتی که آلیاژی با ۲۵٪ تنگستن و ۷۵٪ کبالت رسوب داده شود از نظر شرایط تعادلی باید در کمتر از دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد دو فاز مختلف را داشته باشد. اما رسوب الکترولیزی محلول جامد است و در حقیقت یک فاز ناپایدار می باشد. همچنین همانطور که انتظار می رود رسوب حاصل سختی و استحکام زیادی دارد. تمایل این آلیاژ به نشست به صورت محلول جامد پایدار و یا ناپایدار بسیار زیاد است. در اکثر سیستم هایی که فازهای میانی و یا بین فلزی در نمودار تعادلی شان وجود دارد ممکن است همین فازها در نشست حاصل شوند. اطلاعات محدودی که در این زمینه وجود دارد معرف این است که پوشش حاصل یک فاز و در محدوده بسته یک ترکیب شیمیایی خاصی نیست و معمولا پوشش های الکترولیزی از فازهای مختلفی که روی هم قرار گرفته اند تشکیل شده است. سیستم مس- قلع مثال بسیار خوبی است. در سیستم نیکل- قلع فاز بین فلزی NiSn در نشست دیده می شود ولی در آلیاژهای گرم تهیه شده این فاز دید نمی شود. برای مطالعه پوشش ها باید از میکروسکوپ های الکترونی نظیر SEM استفاده کرد. میکروسکوپ الکترونی درباره ساختار نابجایی ها ، محل مواد خارجی که رسوب کرده اند و اندازه و شکل خارجی دانه ها و مرزهای فرعی اطلاعات

خوبی می دهد. ضخامت نمونه انتخابی برای این میکروسکوپ ها به عدد اتمی فلز بستگی دارد و هرچه عدد اتمی بیشتر باشد نمونه باید نازکتر باشد. عملیات حرارتی نمونه ها نیز از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست و به استثنای سیالیت مجدد حلب ورق عملیات حرارتی نشست های دیگر به ندرت انجام می شود. اطلاعات زیادی درباره تبلور مجدد و ارتباط آن با خواص پوشش ها وجود دارد و غالباً خلوص رسوبات الکترولیزی به دمای تبلور مجدد پائین آنها مربوط است. عملیات حرارتی در دمای پائین معمول است و برای برطرف کردن تردی هیدروژنی به کار می رود و باید در انتخاب زمان و دما به اندازه کافی دقت کرد تا خواص فلز اصلی تحت تاثیر قرار نگیرد. تنش های داخلی را هم با عملیات حرارتی می توان کاهش داد. همچنین مواد افزودنی نیز به میزان قابل توجهی روی خواص بعد از عملیات حرارتی اثر می گذارند. مثلاً برخی مواد افزودنی به حمام نیکل سبب رسوب همزمان گوگرد می شوند که اگر این رسوبات را حتی در دماهای پایین گرم کنیم بر اثر تشکیل سولفور نیکل و رسوب آن در مرزخانه ها ترد می شوند.

۱۵- قوانین فاراده

قانون اول فاراده:

مقدار ماده رسوب کرده و یا حل شده در یک الکتروود با مقدار الکتریسیته ای که از محلول عبور می کند متناسب است. ضریب تناسب را اکی والان الکترو شیمیایی گویند و برابر با مقدار ماده رسوب کرده به ازای ۱ کولمب (A.Sec) می باشد. در عمل مقدار رسوب به ازای یک آمپر ساعت را به کار می برند.

قانون دوم فاراده:

مقدار مواد رسوب کرده از الکترولیت های مختلف به ازای مقدار معینی الکتریسیته با اکی والان گرم آنها متناسب است.

مثال ۱. مقدار مسی که روی کاتد در محلول سولفات می نشیند متناسب با مقدار الکتریسیته ای است که از الکترولیت عبور کرده است. مقدار الکتریسیته را با حاصل ضرب جریان در زمان بیان می کنند (یعنی $i \times t$) و چون یک آمپر ساعت $1/186$ گرم مس را به لحاظ نظری روی کاتد رسوب می دهد بر طبق اصل اول یک آمپر در دو ساعت مقدار $2/372$ گرم مس رسوب خواهد بود.

مثال ۲. با در نظر گرفتن اصل دوم فاراده اگر مقدار معینی الکتریسیته از محلول های

نمکی فلزات مختلف مثل سولفات مس، سولفات روی و یا نیترات نقره عبور کند مقدار

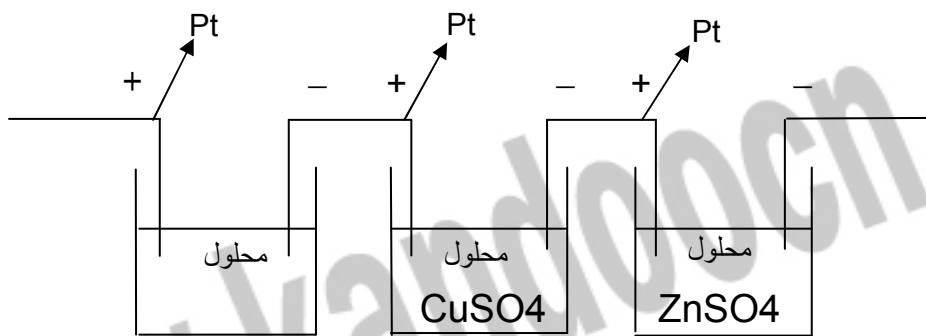
مس یا روی یا نیکل رسوب داده شده در کاتد با مقدار والانس گرم آنها به ترتیب

متناسب می باشد. یعنی به لحاظ نظری با عبور یک آمپر ساعت از الکترولیت

های سولفات مس، سولفات روی و نیترات نقره به ترتیب مقدار ۱/۱۸۶ گرم مس،

۱/۲۱۹ گرم روی و ۴/۰۲۵ گرم نقره در کاتد رسوب می کند که در شکل ۲-۳ زیر آن را

می بینیم:



شکل ۲-۳ نمایش قانون دوم فاراده

۱۶- تمیز بودن سطح اولیه

مهمترین عامل در پوشش دادن میزان تمیزی سطح است. طبیعت فیزیکی و شیمیایی سطح فلز در کیفیت پوشش فلزی آلی و یا معدنی اعمال شونده بر فلز اصلی بسیار موثر است. وجود گریس، روغن، مواد ناشی از خوردگی، گرد و غبار، شن، گرافیت و یا سایر مواد خارجی در میزان چسبندگی و مقاومت پوشش موثراند. معمولاً گفته می شود که پوشش برتر از سطح فلز پایه که به آن اعمال می شود نمی باشد. اعمال پوششی با کیفیت بالا به نحوه آماده سازی سطح فلز اصلی بستگی دارد. کیفیت سطحی که آبکاری الکتریکی می شود باید بهتر از سطحی باشد که رنگ شده است. برای آماده سازی سطح فلزات دو مرحله وجود دارد: مرحله اول زدودن مواد آلی نظیر روغن و یا گریس است و مرحله دوم زدودن پوسته مواد ناشی از خوردگی و مواد معدنی است. این کارها در مراحل گریس زدایی و پوسته زدایی صورت می گیرند و سطحی مناسب برای اعمال پوشش ایجاد می شود. همچنین می توان سطح فلزات را بعد از این دو مرحله حک کاری و یا صیقل کاری کرد. می توان قبل از رنگ زدن سطوح را فسفات و یا کرومات کرده تا لایه ای مقاوم در برابر خوردگی روی آن ها تشکیل شود و ضمناً

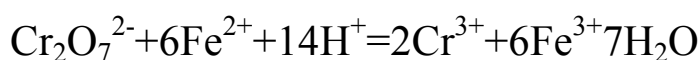
چسبندگی پوشش هم افزایش یابد. روش های مختلفی برای آماده سازی سطح آهن و فولاد وجود دارد که انتخاب آن ها به

میزان تولید، نوع روغن، مواد ناشی از خوردگی، خاک و غیره بستگی دارد. به جنبه اقتصادی نیز باید توجه کرد. با استفاده از حمام های قلیایی و اسیدی می توان اکسیدها، سولفیدها و سایر مواد ناشی از خوردگی را از سطح فلزات غیر آهنی نظیر تیتانیم، آلومینیم، مس، روی و آلیاژهای آن ها برطرف کرد. در این صورت سطوح تمیز ایجاد شده ممکن است زبر بوده باشند و یا حک کاری شده باشند ولی اغلب این سطوح نرم اند و به طریق شیمیایی صیقل کاری شده اند. صیقل کاری الکتریکی نیز برای ایجاد سطوح آینه ای روی اکثر فلزات به کار می رود که سطح مناسبی برای آبکاری الکتریکی براق ایجاد می کند برای ایجاد سطحی نرم و آماده لاک زدن از این روش استفاده می شود.

ویژگی های بیکرومات پتاسیم

ماده اصلی در انجام عملیات آنودایزینگ در این پروژه بیکرومات پتاسیم می باشد که نقش رنگی نمودن سطح را بازی می کند که به بررسی ویژگی های آن می پردازیم. این

ماده را می توان بطور خالص تهیه کرد که تا دمای نقطه ذوب پایدار می ماند. در صورتی که محلول های آبی از آن در مقابل تجزیه به قدر کافی محافظت شوند به طور نامشخصی پایدار می مانند. بیکرومات پتاسیم را فقط در محلول های اسیدی به کار می برند و در دمای معمولی سریعاً به نمک کروم سبز کاهیده می شود این محلول ها پایداری خوبی در مقابل نور دارند. بیکرومات پتاسیم در تعیین آهن موجود در کانه های آهن ارزش خاصی دارد. کانه را معمولاً در هیدروکلریک اسید حل می کنند، Fe^{3+} به Fe^{2+} کاهیده می شود و سپس محلول با محلول بیکرومات استاندارد تیترو می شود:



کاهش بیکرومات پتاسیم را در محلول اسیدی به صورت زیر می توان نشان داد:



چنین استنباط میشود که هم ارز آن یک ششم ملکول گرم آن است یعنی $294/18$ بر ۶ یا $49/03$ گرم. بنابراین محلول $0/1$ نرمال بیکرومات حاوی $4/903$ گرم بر لیتر بیکرومات است. رنگ سبز یون های Cr^{3+} از کاهش بیکرومات پتاسیم حاصل می شود. درجه خلوص بیکرومات پتاسیم از نوع تجزیه ای در حدود $99/9$ درصد است و برای بیشتر

کارها مناسب خواهد بود همچنین نوع خالص نمک تجارتي بصورت A.R. مشخص می شود.

اهمیت آنودایزینگ

آنودایزینگ به عنوان روشی که با ایجاد لایه ای اکسیدی در سطح باعث افزایش مقاومت به خوردگی و اکسیداسیون و سایش می شود می تواند با داشتن ظاهری رنگی کاربرد بیشتری پیدا کند که نمونه آن در مورد فولاد گالوانیک می باشد. در این نوع فولادها بواسطه مقاومت به خوردگی و کاربردهای گسترده آنها مبحث رنگی نمودن آنها اهمیت ویژه ای دارد و در صورت اعمال عملیات آنودایزینگ رنگی بر روی آنها علاوه بر اینکه پارامترهای مکانیکی و خوردگی آن را تقویت نموده ایم جنبه زیبایی^۱ آن نیز تقویت شده و از لحاظ اقتصادی نیز می تواند مفید باشد. با بررسی های انجام شده در حال حاضر در کشور ما مرکز صنعتی برای این کار وجود نداشته و در صنعت تحول خاصی در این زمینه مشاهده نشده است و رنگی نمودن فولاد گالوانیک تنها در مجتمع فولاد مبارکه اصفهان در حال انجام می باشد که نوع رنگ ایجاد شده بصورت معدنی بوده و استفاده ای از

تکنولوژی آنودایزینگ رنگی نشده است. با این تفاسیر اهمیت آنودایزینگ رنگی فولاد گالوانیک بیشتر شده و جا دارد که تلاش های گسترده تری در این رابطه انجام شود.

فصل سوم: روش انجام آزمایش ها

ماده اصلی جهت آنودایزینگ فولاد گالوانیک بیکرومات پتاسیم می باشد که در طی واکنش با روی موجود در سطح فولاد یک لایه رنگی که بصورت پوسته ای اکسیدی در سطح پیوند خورده است به وجود می آید. برای این منظور در ابتدا آزمایشات آنودایزینگ را بر روی خالص انجام داده و با بدست آوردن پوسته اکسیدی رنگی بر روی خالص این شرایط را برای فولاد گالوانیک بررسی کرده و شرایط ایجاد پوسته اکسیدی رنگی را بر روی فولاد گالوانیک بدست می آوریم. منبع تغذیه ای جهت تشکیل پیل الکترولیز استفاده می شود که جریان متناوب را به جریان مستقیم تبدیل می کند. برای آزمایشات روی خالص یک منبع سه فاز که در دانشکده مواد طراحی و ساخته شده است مورد استفاده قرار گرفته است. بدلیل مشکلات برق و ترمینال های برق و غیره در هنگام شروع اتصال جریان با مشکل قطع و وصل شدن پیل مواجه می شدیم همچنین آمپر خروجی نوساناتی داشت که با تغییر دادن ولتاژ دستگاه تا حد امکان آمپر یکنواختی را به پیل می رساندیم ولی امکان این که بتوان به طور یکنواخت آمپر ثابتی را منتقل کرد

وجود نداشت و باعث شد تا نتیجه کار بصورت خطا دار اعلام شود. هنگام کار بر روی فولاد گالوانیک این منبع تغذیه عوض شد و یک منبع تغذیه ساخت شرکت داخلی با نام stare electronic که مجهز به ولت متر و آمپر متر می باشد مورد استفاده قرار گرفت. به طور کلی مواد آزمایشگاهی که در انجام این پروژه مورد استفاده قرار گرفته و تماما از همین آزمایشگاه تهیه شده است به قرار زیر میباشند:

بیکرومات پتاسیم، اسید بوریک، اسید سولفوریک، اسید فلئوئوریدریک، آب مقطر.

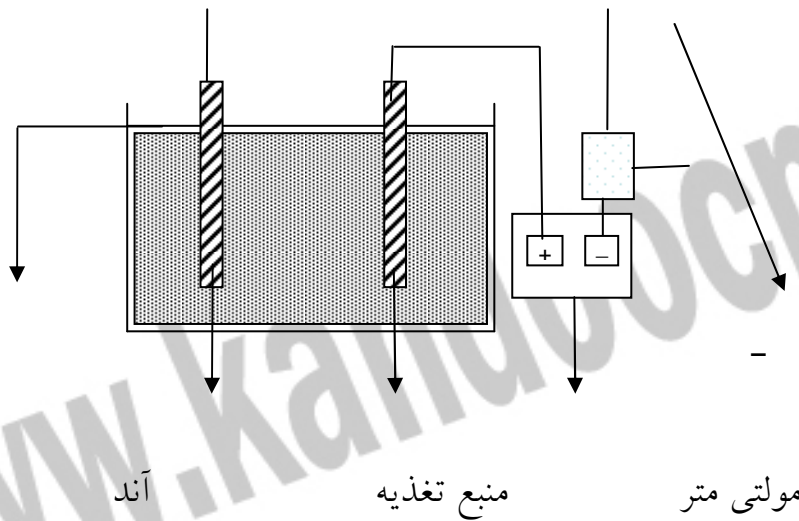
آماده سازی بیکرومات پتاسیم:

محلول بیکرومات پتاسیم نقش اصلی را در رنگی شدن پوسته اکسیدی دارد. نکته ای که در رابطه با آن وجود دارد این است که این محلول از نظر زمانی پایدار بوده و بعد از ساخت محلول در زمان های بعد از آن نیز میتوان به راحتی از آن استفاده نمود که این خصوصیت از پارامترهای مثبت آن می باشد. در هنگام کار با روی خالص پوسته های اکسیدی روی باعث آلودگی محلول می شوند که با گذشت زمان این پوسته ها ته نشین شده و محلول قابل استفاده می باشد اما در هنگام کار با فولاد گالوانیک پوسته های اکسیدی در محلول حل شده و با گذشت زمان رسوب نمی کنند به طوری که یک

محلول را فقط چهار بار می توان مورد استفاده قرار داد و بعد از آن در صورت استفاده، رسوبات پایدار قهوه ای رنگی در سطح فولاد بوجود می آید که باید به صورت مکانیکی آن را از بین برد که در نهایت باعث خراش دار شدن سطح ورق می شود. البته بعد از گذشت چند ساعت دوباره می توان آن را مورد استفاده قرار داد ولی هرچه یک محلول را بیشتر مورد استفاده قرار دهیم رسوبات زودتر بر روی سطح فولاد تشکیل می شوند.

آنودایزینگ روی خالص

محلول مورد استفاده بیکرومات پتاسیم با غلظت ۶۰ گرم بر لیتر می باشد. برای تهیه آن مقدار ۶۰ گرم بیکرومات پتاسیم را در بشر ریخته و تا خط ۱۰۰۰ سی سی بر روی آن آب مقطر اضافه می کنیم، محلول را خوب به هم می زنیم تا تمامی بیکرومات پتاسیم در آن حل شود. ورقه ای از روی با ابعاد یک در دو سانتی متر را به عنوان آند و ورقه ای از فولاد ضد زنگ با ابعاد دو در دو سانتی متر را به عنوان کاتد انتخاب می کنیم. محلول اسید فلئوئوریدریک با غلظت ۰/۶٪ را در یک ظرف پلاستیکی تهیه نموده و ورقه روی را به مدت ۵ ثانیه در آن اسید شوئی می نمائیم. پیل الکترولیز را مطابق شکل ۱-۳ تشکیل می دهیم.



شکل ۱-۳ پیل الکترولیز مورد استفاده در آنودایزینگ روی

طبق مرجعی که جهت این آزمایش مورد استفاده قرار گرفته است می بایست دانسیته

جریان ۵ آمپر بر دسی مترمربع را اعمال کرد ولی در شرایط موجود این دانسیته

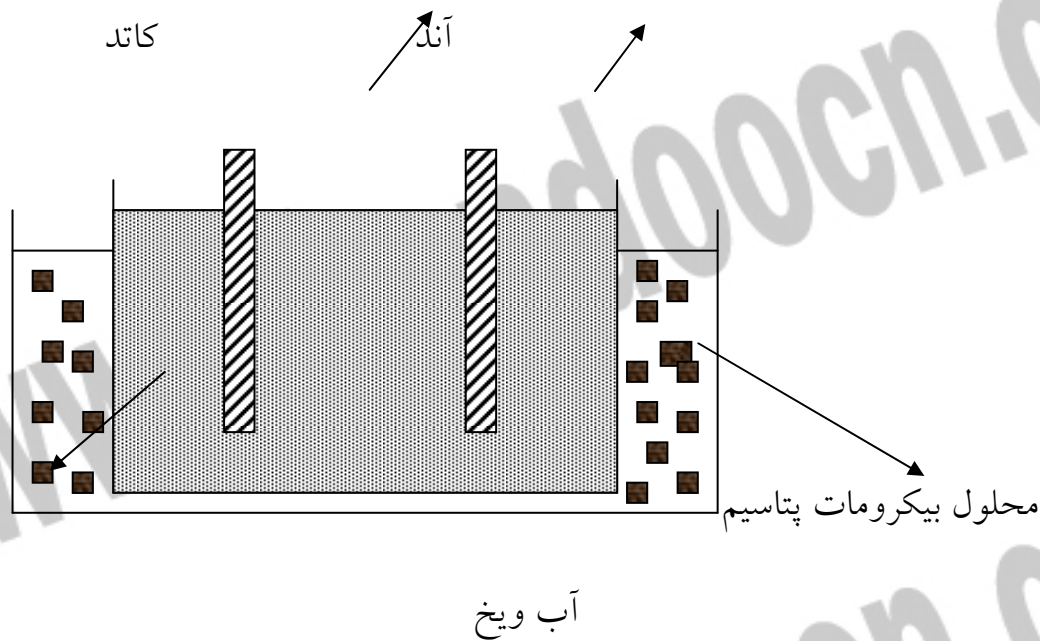
جریان باعث خوردگی کامل ورقه روی می شود به طوری که در نصف زمان لازم

جهت واکنش ورقه روی به طور کامل در محلول حل می شود بنابراین جریان یک

آمپر (معادل دانسیته جریان ۰/۵ آمپر بر دسی متر مربع) را اعمال می کنیم. دمای محلول

باید در محدوده ۱۰ درجه سانتی گراد باشد که برای این منظور مطابق با شکل ۲-۳ از

یک ظرف آب و یخ در اطراف بشر حاوی محلول استفاده می نمائیم. همانگونه که در شکل ۲-۳ مشاهده می شود مخلوط آب و یخ به طور کامل اطراف ظرف حاوی محلول بیکرومات را احاطه کرده و با توجه به مقدار یخ موجود می توان دمای محلول را تنظیم نمود. بعد از گذشت ۲۰ دقیقه جریان را قطع کرده و ورقه روی را از محلول خارج می کنیم و با آب معمولی شستشو می دهیم. می بینیم که یک رسوب سبز رنگی بر روی آن تشکیل شده است.

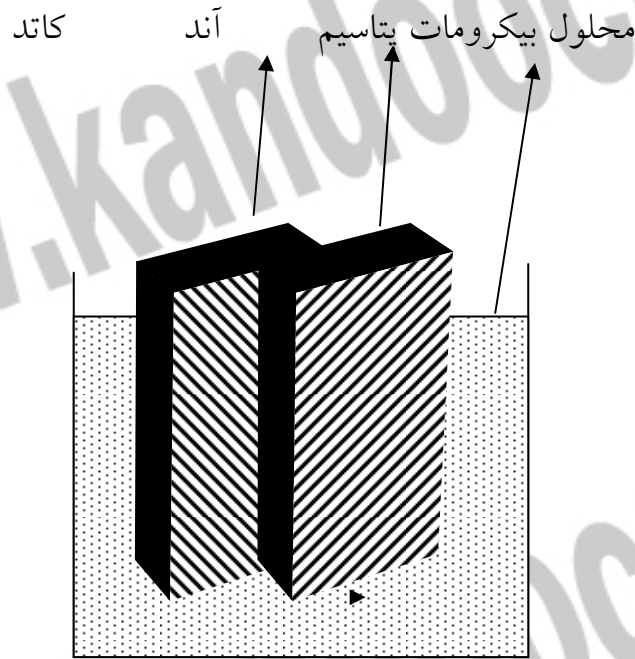


شکل ۲-۳ نحوه پائین نگه داشتن دمای محلول

نحوه قرار گیری آند و کاتد در محلول نیز اثر مهمی در نتیجه کار دارد. همان گونه که در

شکل ۳-۳ مشاهده می شود در حالتی که به طور کامل سطح آند و کاتد در مقابل

یکدیگر باشند بهترین نتیجه بدست می آید.



شکل ۳-۳ نحوه قرار گیری آند و کاتد در مقابل یکدیگر

همانگونه که در شکل ۳-۳ مشاهده می شود نمونه ها بایستی در مقابل یکدیگر قرار

بگیرند و در صورتی که بتوان کاتد را در دو طرف آند قرار داد نتیجه بهتری بدست می

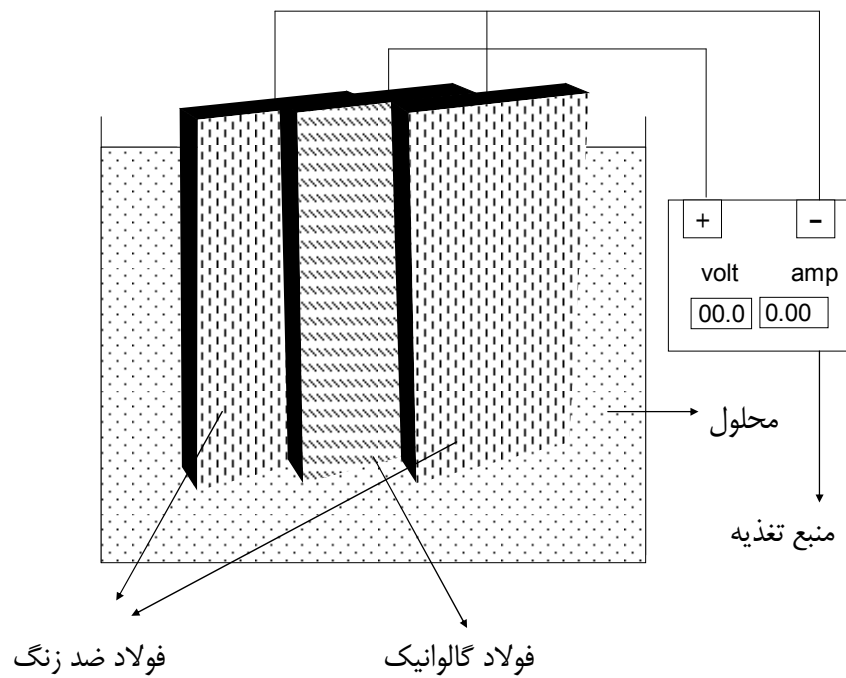
آید. انتخاب نوع کاتد در اینجا گسترده است ولی از فولاد زنگ نزن استفاده میکنیم زیرا

بر خلاف سرب رسوب کمی را در محلول ایجاد می کند و باعث تمیز ماندن محلول می شود.

آنودایزینگ فولاد گالوانیک

ترکیب محلول مورد استفاده در این جا مخلوطی از یک لیتر محلول بیکرومات پتاسیم با غلظت ۱۶۰ گرم بر لیتر به اضافه یک لیتر اسید بوریک با غلظت ۲۵ گرم بر لیتر و ۴ میلی لیتر اسید سولفوریک می باشد. در اینجا نیز از محلول اسید فلوئوریدریک برای اسید شوئی اولیه ورقه های گالوانیک استفاده می نمائیم. به علت اینکه دانسیته جریان اعمالی در اینجا ۰/۱ بوده و منبع تغذیه مورد استفاده جریان کمتر از ۰/۰۵ آمپر را نمی تواند تامین کند از ورقه های گالوانیک با ابعاد هفت در هفت سانتی متر استفاده می نمائیم تا جریان ۰/۰۵ وارد شده دانسیته ای معادل ۰/۱ را در سطح آند ایجاد نماید. ورقه گالوانیک را به مدت ۱۰ ثانیه اسید شوئی می نمائیم. دو قطعه از ورق فولاد زنگ نزن با ابعاد هفت در هفت به عنوان کاتد انتخاب می کنیم و مطابق با شکل ۳-۴ پیل الکترولیز را تشکیل می دهیم. همانگونه که از شکل ۳-۴ مشاهده می شود نمونه ها در مقابل یکدیگر قرار گرفته اند و قرار دادن کاتد در دو طرف آند شرایط بهتری را برای ایجاد پوسته اکسیدی رنگی روی سطح گالوانیک ایجاد می نماید. همچنین با توجه

به نوع منبع تغذیه دیگر نیازی به قرار دادن مولتی متر در مسیر جریان اعمالی نبوده و توسط دستگاه قابل تنظیم و مشاهده است. ۵۰ دقیقه زمان می دهیم و سپس جریان اعمالی را قطع کرده و ورق گالوانیک را از محلول خارج می کنیم. رسوب ناپایدار قهوه ای رنگی در سطح آن تشکیل شده است که با شستشو دادن آن زیر آب این لایه از بین می رود. بعد از شستشو دادن می بینیم که پوسته ای اکسیدی در سطح تشکیل شده است.



شکل ۳-۴ پیل الکترولیز مورد استفاده در آنودایزینگ فولاد گالوانیک

فصل چهارم: نتایج

نتیجه عملیات آنودایزینگ روی خالص در این پروژه رنگی نمودن سطح آن می باشد که در این فصل به بررسی نتایج بدست آمده و روابط موجود می پردازیم. هنگام کار با روی خالص نمونه های زیادی مورد آزمایش قرار گرفت که اثر پارامترهایی از قبیل دمای محلول، زمان پروسه، نسبت سطح آند به کاتد، نوع کاتد، غلظت محلول و دانسیته جریان بررسی شد. نتایج حاصل از کار در جدول ۱-۴ تنظیم شده است که

در زیر می بینیم:

جدول ۱-۴ اثر پارامترهای موثر در نمونه های مورد آزمایش در آنودایزینگ روی خالص

	E	D	C	B	A	نمونه پارامتر
G ₁	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	دانسیته (آمپر بر دسی متر مربع)
G ₂		۳۰-۳۴	۲۰-۲۲	۱۴-۱۷	۸-۱۲	دما (درجه سانتی گراد)
G ₃		۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	زمان (دقیقه)
G ₄	۹۰	۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	غلظت (گرم بر لیتر)
G ₅		St-St	Ti	Pb	Al	نوع کاتد
G ₆			۴:۱	۱:۱	۲:۱	نسبت کاتد به آنود

همان گونه که در جدول ۱-۴ مشاهده می گردد در هر یک از ردیف های افقی یکی از پارامترها متغیر بوده و بقیه پارامترها ثابت هستند. در سری G₁ دانسیته جریان متغیر می باشد و بر حسب آمپر بر دسی متر مربع می باشد. در دانسیته جریان ۰/۵ خوردگی در سطح آن ایجاد و هیچ گونه پوسته رنگی روی آن ایجاد نشد. همچنین در دانسیته جریان ۰/۱ میزان خوردگی بالا بود به طوری که نمونه مورد آزمایش بسیار نازک شد. نمونه ای که با دانسیته جریان ۰/۷ تحت آزمایش قرار گرفته بود در مقایسه با دو نمونه دیگر نتیجه

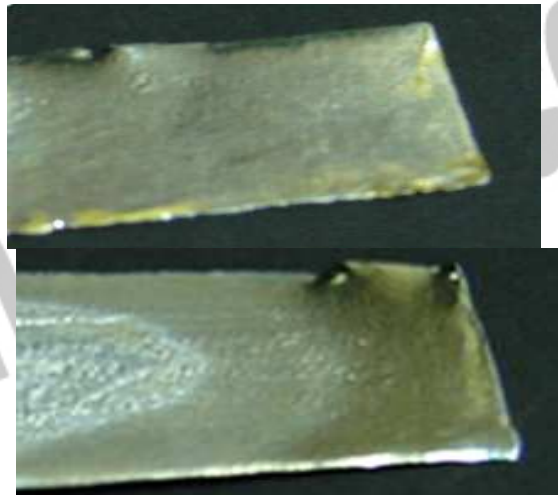
بهتری را داشت بنابراین دانسیته جریان ۰/۷ مناسب می باشد. در سری G2 دما متغیر می باشد و دما بر حسب درجه سانتی گراد می باشد. در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد رسوبی بر روی نمونه مشاهده شد که ناپایدار می باشد. با کاهش دمای آزمایش تشکیل شدن رسوب ناپایدار از بین رفت و پوسته اکسیدی رنگی روی سطح مشاهده شد به طوری که در نمونه ای که در دمای ۱۰ درجه مورد آزمایش قرار گرفت بهترین نتیجه تشکیل شدن پوسته اکسیدی رنگی بدست آمد که در شکل ۱-۴ مشاهده می شود.



شکل ۱-۴ نمونه روی آنودایز شده

همان طور که در شکل ۲-۴ مشاهده می شود پوسته رنگی نسبتاً یکنواختی در سطح نمونه تشکیل شده است. در سری G3 زمان انجام آزمایش متغیر است که بر حسب دقیقه می باشد. با مقایسه نمونه های آزمایش شده در زمان های مختلف مشاهده شد که در زمان های ۱۰ و ۱۵ دقیقه پوسته های ضعیف و در زمان ۲۰ تا ۲۵ دقیقه پوسته های

مناسب تری تشکیل می شود که نتیجتاً زمان ۲۰ دقیقه زمان مناسبی است. در سری G4 غلظت محلول آزمایش مورد بررسی قرار گرفته است که بر حسب گرم بر لیتر بیان شده است. در غلظت ۵۰ جواب مناسبی بدست نیامد و در غلظت ۶۰ در مقایسه با نمونه های دیگر جواب بهتری بدست آمد که در شکل های ۲-۴ و ۳-۴ به ترتیب غلظتهای ۵۰ و ۶۰ با یکدیگر مقایسه شده اند. در نمونه ای که با غلظت ۵۰ مورد آزمایش قرار گرفته است پوسته اکسیدی بصورت پراکنده و جزئی می باشد حال آنکه در نمونه آزمایش شده با غلظت ۶۰ پوسته اکسیدی یکنواخت با ضخامت بیشتر تشکیل شده است.

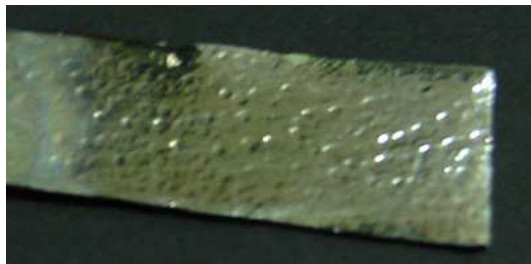


شکل ۲-۴ نمونه روی آنودایز شده در غلظت ۵۰ شکل ۳-۴ نمونه روی آنودایز

شده در غلظت ۶۰

در سری G5 نوع کاتد استفاده شده در آزمایش بررسی شده است. هنگامی که از سرب

به عنوان کاتد استفاده می کنیم پوسته هایی از روی سطح سرب کنده شده و وارد محلول می شود که با آلوده نمودن محلول آن را غیر قابل استفاده می نماید. با استفاده کردن از آلومینیم همانگونه که در شکل ۴-۴ قابل مشاهده است تخلخل هایی بوجود می آید که ظاهر نمونه را خراب می کند. بهترین حالت با استفاده از فولاد زنگ نزن ایجاد می شود به طوری که سطح نهایی صاف بوده و هیچگونه آلودگی محلول نیز به وجود نمی آید.



شکل ۴-۴ نمونه روی آنودایز شده در حالتی که از آلومینیم به عنوان کاتد استفاده شده است

در سری G6 نسبت سطح آند به کاتد مورد آزمایش قرار گرفته است. مشاهده شد که بهترین نتیجه در نسبت ۲:۱ بدست می آید. در نسبت ۴:۱ خوردگی در سطح آند بیشتر می شود به طوری که هیچ گونه پوسته رنگی مشاهده نمی شود. با مقایسه بین نمونه های مورد آزمایش بهترین شرایط برای آنودایزینگ روی را میتوان به صورت زیر

تعیین نمود:

غلظت محلول: ۶۰ گرم بر لیتر.

دمای محلول: ۱۰ درجه سانتی گراد.

زمان انجام آزمایش: ۲۰ دقیقه.

دانسیته جریان: ۰/۵ آمپر بر دسی متر مربع.

نسبت آند به کاتد: ۱:۲

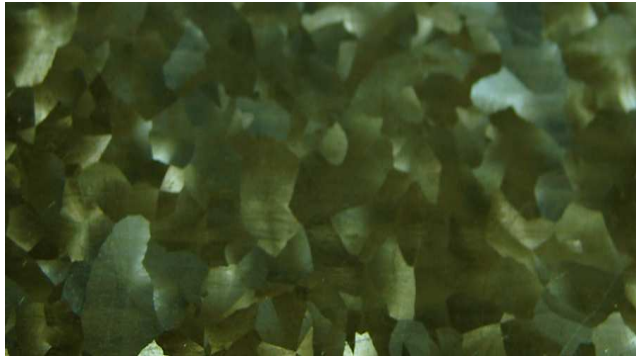
نوع کاتد: فولاد زنگ نزن.

با تعیین شدن شرایط مناسب برای آنودایزینگ روی خالص آزمایشات برای فولاد

گالوانیک سریع تر انجام شد به طوری که همان نتایج نهایی که برای روی بدست آمد

برای فولاد گالوانیک نیز تکرار شد. نتیجه ای که بعد از انجام آزمایش بر روی فولاد

گالوانیک بدست آمد در شکل ۵-۴ آمده است.



شکل ۵-۴ فولاد گالوانیک آنودایز شده

همان گونه که در شکل ۵-۴ مشاهده می شود پوسته اکسیدی رنگی در سطح نمونه ایجاد

شده است. شرایط ایجاد این پوسته رنگی بصورت زیر میباشد:

غلظت پیکرومات پتاسیم: ۱۶۰ گرم بر لیتر.

غلظت اسید بوریک: ۲۵ گرم بر لیتر.

اسید سولفوریک: ۴ میلی لیتر.

دانسیته جریان: ۰/۱ آمپر بر دسی متر مربع.

دمای محلول: ۲۰ درجه سانتی گراد.

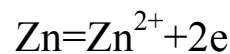
زمان انجام آزمایش: ۵۰ دقیقه.

نوع کاتد: فولاد زنگ نزن.

نسبت آند به کاتد: ۲:۱

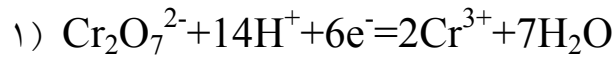
فصل پنجم : تحلیل نتایج

هنگام کار با روی خالص نمونه های زیادی مورد آزمایش قرار گرفت که اثر پارامترهایی از قبیل دمای محلول، زمان پروسه، نسبت سطح آند به کاتد، نوع کاتد، غلظت محلول و دانسیته جریان بررسی شد. نتایج حاصل از کار به صورت جدول ۱-۴ تنظیم شد. با تغییر دادن هر کدام از پارامترهای موجود در جدول ۱-۴ و مشاهده نمودن اثر هر کدام از آنها شرایط مناسب برای تشکیل پوسته اکسیدی سبز رنگ در روی بدست آمد. همان گونه که در شکل ۳-۴ مشاهده می شود کاتد در نقش تکمیل کننده مدار را دارد بدین صورت که منتقل کننده الکترون های آزاد شده در اثر تجزیه شدن روی می باشد. در این پیل فلز روی به عنوان آند می باشد که با اتصال جریان الکتریکی به صورت زیر خورده می شود:



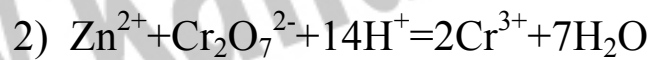
نقش اصلی در رنگی شدن پوسته اکسیدی اکسید کرم می باشد بدین صورت که با تشکیل Cr_2O_3 بر روی سطح روی ظاهری سبز رنگ بوجود می آید. برای تشکیل این پوسته اکسیدی می بایست یون کرم را احیاء نمود. به دو صورت می توان این کار را

انجام داد:



احتمال انجام چنین واکنشی در این آزمایش با توجه به شرایط کارگاهی ضعیف بوده و

به احتمال قوی تر به روش زیر یون کرم احیاء می شود:

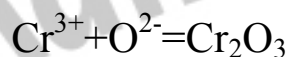


آب موجود در محلول بیکرومات نیز به صورت زیر تجزیه می شود:



حال یون کرم بوسیله اکسیژن آزاد شده ناشی از تجزیه آب به صورت زیر به اکسید کرم

تبدیل می گردد:

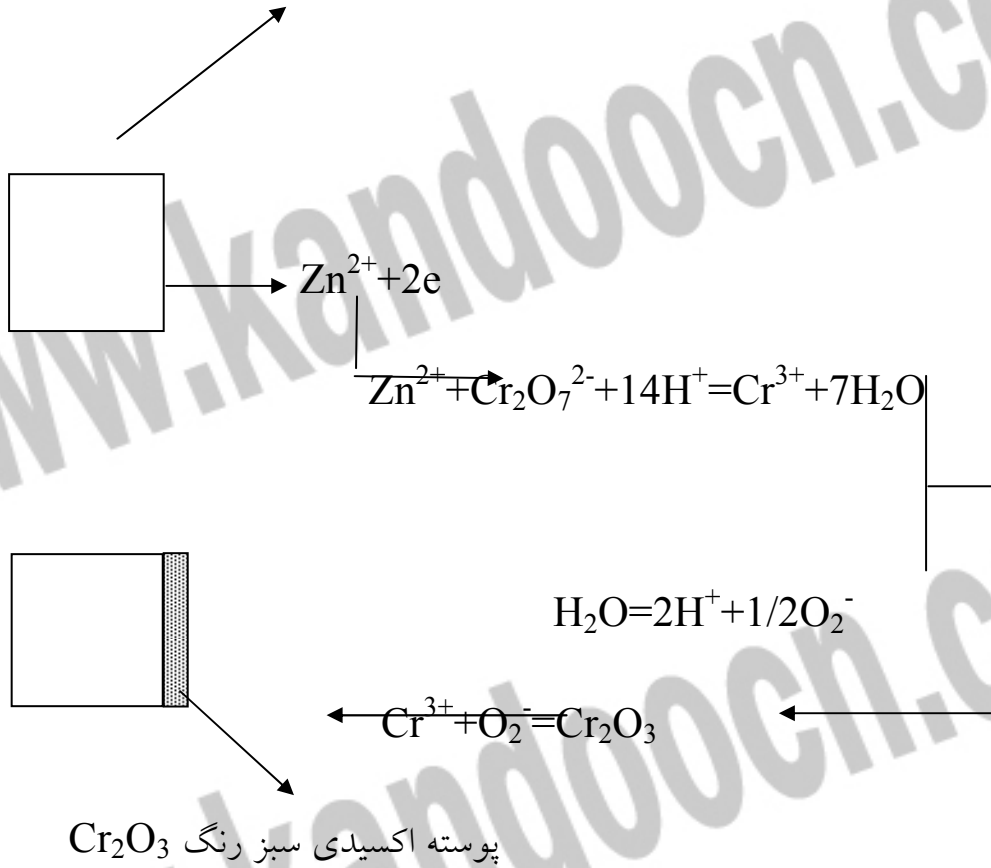


این اکسید بصورت سبز رنگ می باشد که با قرار گرفتن آن در سطح روی عملیات

آنودایزینگ روی خالص انجام می شود. بصورت شماتیک کلیه فرآیند های ذکر شده در

بالا را میتوان بصورت زیر نمایش داد:

بالک فلز روی



قابل ذکر است که در سطح روی خالص پوسته اکسیدی وجود دارد که در حین کار به

علت دانسیته جریان بالا این پوسته در محلول حل شده و روی خالص در معرض

واکنش قرار می گیرد. همان گونه که در فصل گذشته ذکر شد محلول لازم جهت پروسه

آنودایزینگ روی خالص بیکرومات پتاسیم می باشد، انجام این پروسه در فولاد گالوانیک

شامل اسید بوریک و اسید سولفوریک نیز می باشد. چون پوسته روی خالص در فولاد گالوانیک نازک بوده و هنگامی که در پیل الکتروشیمیایی قرار می گیرد در اثر اعمال جریان احتمال پاک شدن آن از روی سطح فولاد وجود دارد لذا دانسیته جریان ده برابر کمتر از حالت آنودایزینگ روی خالص اعمال می شود. با توجه به شرایط موجود اسید سولفوریک و اسید بوریک بعنوان کاتالیزور عمل می کنند تا واکنش های لازم جهت تشکیل پوسته اکسید کروم در سطح فولاد سریع تر انجام شود. در پیل مورد استفاده جهت آنودایزینگ جریان ثابت می باشد ولی پتانسیل اعمالی در حال تغییر می باشد که در هر لحظه می تواند واکنش خاصی با توجه به پتانسیل موجود انجام شود. حال آنکه بسیاری از این واکنش ها ناخواسته می یاشند، لذا جهت جلوگیری از انجام چنین واکنش هایی نیاز به پیل سه الکترودی می باشد که در این گونه پیل ها به واسطه الکتروود مرجع موجود در پیل، پتانسیل الکتریکی ثابت بوده و با تنظیم جریان اعمالی پتانسیل الکتریکی را می توان ثابت نگه داشت.

نتیجه گیری

۱- پروسه آنودایزینگ فولاد گالوانیک بواسطه تشکیل پوسته اکسیدی پایدار در سطح نقش مهمی در مقاومت به خوردگی و سایش دارد.

۲- با انتخاب نوع محلول مورد استفاده در آنودایزینگ فولاد گالوانیک می توان آن را به صورت رنگی تشکیل داد.

۳- با ایجاد پوسته اکسیدی Cr_2O_3 در طی پروسه آنودایزینگ روی خالص، رنگ سبز حاصل می شود.

۴- تحت شرایط مشابه پوسته اکسیدی را میتوان در سطح فولاد گالوانیک نیز تشکیل داد.

۵- با استفاده از پیل های سه الکترودی پتانسیل پیل ثابت مانده و از انجام واکنش های ناخواسته جلوگیری می شود.

۶- در صورتی که از ساختار های ریز دانه فولاد گالوانیک استفاده شود کتراست رنگی بین دانه ها باعث یکنواختی رنگ ظاهر نمونه می شود.

پیشنهادها

۱- بررسی کمپلکس های ناپایدار مزاحم در پروسه آنودایزینگ فولاد گالوانیک جهت حذف تمیزکاری بعد از پروسه.

۲- بررسی عوامل موثر در بازیافت محلول استفاده شده در آنودایزینگ فولاد گالوانیک.

۳- بررسی استفاده از پرمنگنات پتاسیم بجای بیکرومات پتاسیم و ایجاد رنگ بنفش در سطح فولاد گالوانیک یا روی خالص.

منابع

1-Tandon,O,N. “Hndbook of electroplating,anodizing and metal treatment”.electro plating-handbooks,manuals,etc.1981;

2-Douglas A. skoog,Donald M. West, F . James Holler . Sixth Edition . saunders college publishing , 1992 ; ISBN 964-01-843-X

۳-دکتر محمد قربانی. “پوشش دادن فلزات”. ایران: موسسه انتشاراتی علمی دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۹، ۸-۴۷-۶۳۷۹-۹۶۴.

۴-مهندس اسرافیل بشارت. “مهندسی آبکاری فلزات”. نشر طراح، ۱۳۸۰، ۰-۰۹-۰۸۹-۷۰۸۹-۹۶۴.

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoocn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۵۱۱ تماس حاصل نمایید

Filename: Document1
Directory:
Template: C:\Documents and Settings\hadi tahaghoghi\Application
Data\Microsoft\Templates\Normal.dotm
Title:
Subject:
Author: ali
Keywords:
Comments:
Creation Date: 4/15/2012 11:28:00 AM
Change Number: 1
Last Saved On:
Last Saved By: hadi tahaghoghi
Total Editing Time: 0 Minutes
Last Printed On: 4/15/2012 11:28:00 AM
As of Last Complete Printing
Number of Pages: 53
Number of Words: 6,178 (approx.)
Number of Characters: 35,216 (approx.)