

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



وزارت علوم، تحقیقات و فن آوری

دانشگاه تفرش

دانشکده فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

مدل سازی سه بعدی المان محدود پوشش کاری لیزری با تزریق پودر نانو

استاد راهنما:

آقای دکتر غلامرضا فیاض

دانشجو:

البرز ابراهیمی

1389

تاریخ: ۱۳۸۹/۱۲/۳۰ شماره: ۳۷۹۲/۹۱۵۸۹

پست: ۰۰۰۰۰۰۰۰



دانشگاه تهرن
مدیریت تحصیلات تکمیلی


صورتجلسه دفاعیه پایان نامه کارشناسی ارشد

نام و نام خانوادگی: البرز ابراهیمی
شماره دانشجویی: ۸۷۵۱۳۱۰۰۱
گروه: فیزیک
رشته تحصیلی/تربیتی: فیزیک/ هسته ای


عنوان پروژه: مدل سازی المان محدود پوشش دهی لیزری با تزریق پودر نسوان
تعداد واحد: ۳
نمره نهایی: ۱۹/۲۵
تاریخ تصویب: ۸۸/۰۸/۲۵
تاریخ دفاع: ۸۹/۱۱/۳۰
به حروف: نوزده و بیست و پنج

استاد راهنما	دکتر غلامرضا فیاضی	استادیار	دانشگاه تهرن
داور خارجی	دکتر سعید جنوانی	دانشیار	سازمان انرژی اتمی ایران
داور داخلی	دکتر ابراهیم شریانی	استادیار	دانشگاه تهرن
نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر ابراهیم شریانی	استادیار	دانشگاه تهرن

مدیر گروه: دکتر ناصر اسفی نژاد

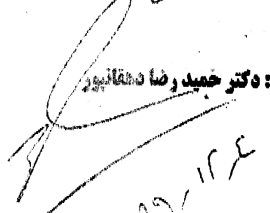
امضاء: 

تاریخ: _____


مهر: 

گروه فیزیک

مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه: دکتر حمید رضا دهقانپور

امضاء: 

تاریخ: ۸۹-۱۲-۴

مهر: 

تقدیم،

به پدر، مادر و برادر عزیزم که همواره و

در همه مراحل حضورشان را احساس

کردم.

تقدیر و تشکر:

اکنون که به لطف ایزد یکتا و راهنمایی های بی دریغ استادان گرانقدر موفق به انجام پروژه نهایی کارشناسی ارشد رشته فیزیک شده ام جا دارد از تمامی افرادی که من را در اجرای این طرح و همچنین در طول دوره تحصیل یاری نموده اند قدر دانی نمایم.

چکیده:

روش پوشش کاری لیزری با به کارگیری ابزاری با خواص یکتا همچون لیزر، نتایج منحصر به فردی نیز در جلوگیری از خوردگی و سایش قطعات فلزی دارد. در این روش از لیزر به منظور ذوب کردن سطح فلزی که می خواهیم آن را پوشش دهیم استفاده می شود. لیزر پر توان سطح فلز زیرلایه را ذوب کرده و حوضچه ای مذاب ایجاد خواهد شد. با افزودن پودر مواد افزایشی توسط یک سیستم نازل به حوضچه مذاب و در اثر فرآیند انجماد سریع، لایه ای با کیفیت بالا روی سطح زیرلایه بوجود خواهد آمد. لیزر به واسطه خواصی چون همدوسی، جهتمندی و غیره پرتوئی پر قدرت است که از آن می توان در انجام عملیات حرارتی به منظور بهبود در خواص سطوح فلزی استفاده کرد. همچنین پرتو لیزر در نقطه ای بسیار کوچک کانونی می شود که در نتیجه منطقه ای که توسط پرتو لیزر حرارت داده می شود منطقه ای کوچک خواهد بود. این خاصیت سبب می شود از روش پوشش کاری لیزری در پوشش دادن قطعات حساس به حرارت همچون تیغه های توربین استفاده شود. مدل سازی هر چه نزدیکتر به واقعیت فیزیکی مساله سبب کاهش در هزینه های انجام آزمایش به روش آزمون و خطا و همینطور افزایش سرعت انجام فرآیند خواهد شد. در پژوهش پیش رو قصد داریم یکی از کاملترین مدل های سه بعدی را که تا کنون برای فرآیند پوشش کاری لیزری در نظر گرفته شده است بررسی کنیم. تفاوت مدل ارائه شده در این پژوهش با سایر مدل های موجود در این است که در اینجا ما تاثیر افزودن مقداری از مواد نانو ساختار به داخل پودر مواد افزایشی را نیز در محاسباتمان وارد کرده ایم. مواد نانو ساختار به واسطه ساختار دانه ای شان انرژی پرتو لیزر را بیشتر از سایر مواد جذب می کنند. همانطور که خواهیم دید این خاصیت سبب خواهد شد لایه ای با کیفیت بالاتر و با شکستگی کمتر داشته باشیم.

واژگان کلیدی: پوشش کاری لیزری، مواد نانو ساختار، مدل سازی سه بعدی

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

3	No table of contents entries found. (آبکاری) 2-1 الکترولیز
4	1-2-1 رفتار فلزات در اسیدها
5	2-2-1 رفتار یک فلز در محلول محتوی یون های دیگر
5	3-2-1 رفتار دو فلز مختلف در یک محلول نمکی
6	4-2-1 الکترولیز نمک با آند حل شونده
6	5-2-1 الکترولیز نمک با آند های غیر محلول
6	6-2-1 الکترولیز اسید با آند غیر محلول
7	3-1 روش رسوب شیمیایی فلزات
7	4-1 روکش های تبدیلی و اکسیدی
8	1-4-1 کروماته کردن
9	2-4-1 فسفاته کردن
9	5-1 گالوانیزه گرم
9	6-1 غوطه وری گرم
10	7-1 رسوب فاز بخار
11	8-1 روکش های نفوذی
11	9-1 سل ژل
11	10-1 پوشش های آلی
	فصل دوم: لیزر
12	1-2 گسیل القایی، گسیل خودبخودی و جذب
13	1-1-2 گسیل خودبخودی
13	2-1-2 گسیل القایی
13	3-1-2 جذب

14	2-2 مبانی نظری لیزر
16	3-2 خواص باریکه های لیزر
16	1-3-2 تکفامی
17	2-3-2 همدوسی
17	3-3-2 جهت‌مندی
18	4-3-2 درخشایی
18	4-2 انواع لیزرها
18	1-4-2 لیزرهای گازی
19	1-1-4-2 لیزرهای گازی اتم خنثی
19	2-1-4-2 لیزرهای گازی یونی
19	3-1-4-2 لیزرهای گازی ملکولی
20	2-4-2 لیزرهای حالت جامد
20	1-2-4-2 لیزرهای یاقوتی
20	2-2-4-2 لیزرهای نئودیمیم
20	3-4-2 لیزرهای نیمه هادی
22	4-4-2 لیزرهای مایع رنگی
22	5-2 مشخصات پرتو لیزر
22	1-5-2 پارامتر پرتو لیزر (BPP)
23	2-5-2 توزیع انرژی پرتو لیزر و مد تابش
23	6-2 انواع لیزرها و مشخصات آن‌ها در فرایند پوشش کاری لیزری
24	1-6-2 انواع لیزرهای مورد استفاده در فرایند پوشش کاری لیزری
فصل سوم: تکنیک های پوشش کاری	
27	1-3 فرایندهای پوشش کاری به کمک پلاسما
29	1-1-3 فرایندهای پاشش غیر انتقالی قوسی پلاسمایی
31	2-1-3 فرایندهای قوسی انتقالی پلاسمایی
32	3-1-3 فرایندهای نشانندن فاز بخار به کمک پلاسما
33	1-3-1-3 نشانندن فاز بخار فیزیکی به کمک پلاسما (PPVD)
34	2-3-1-3 نشانندن فاز بخار شیمیایی به کمک پلاسما (PCVD)

34	2-3 فرایندهای پوشش کاری به کمک پرتو یونی
35	1-2-3 نشانیدن فاز بخار فیزیکی به کمک پرتو یونی (IPVD)
35	2-2-3 کاشت یونی
36	3-3 فرایندهای پوشش کاری به کمک جوشکاری قوسی
37	1-3-3 جوشکاری قوسی تنگستنی با گاز محافظ (GTAW)
37	2-3-3 جوشکاری قوسی فلزی با گاز محافظ (GMAW)
38	3-3-3 جوشکاری قوسی پلاسمایی (PAW)
39	4-3-3 جوشکاری قوسی غوطه وری (SAW)
39	4-3 فرایندهای پوشش کاری به کمک لیزر
40	1-4-3 آلیاژکاری سطحی، آبکاری و پوشش کاری لیزری
41	2-4-3 جوشکاری لیزری
43	3-4-3 پاشش لیزری
فصل چهارم: پوشش کاری لیزری	
45	1-4 کاربردهای پوشش کاری لیزری
45	1-1-4 پوشش کاری
46	2-1-4 تعمیر و بازیابی قطعات
47	3-1-4 نمونه سازی اولیه سریع
49	2-4 انواع روش های پوشش کاری لیزری
50	1-2-4 پوشش کاری لیزری دو مرحله ای
51	2-2-4 پوشش کاری لیزری تک مرحله ای
52	3-4 پارامترهای فرایند پوشش کاری لیزری
53	1-3-4 آمیختگی
54	2-3-4 زاویه برآمدگی
54	4-4 لوازم و تجهیزات مورد استفاده در پوشش کاری لیزری
55	1-4-4 تغذیه کننده های پودر
55	1-1-4-4 تغذیه کننده های پایه گرانشی
55	2-1-4-4 تغذیه کننده های تخت باد
57	3-1-4-4 تغذیه کننده های ارتعاشی

57 2-4-4 نازل ها

فصل پنجم: روش اجزاء محدود

60 1-5 تکنیک های تقریبی در حل مسائل مقدار مرزی

60 1-1-5 روش باقیمانده های وزندار

61 1-1-1-5 روش ترتیبی

61 2-1-1-5 روش کمترین مربعات

61 3-1-1-5 روش گالرکین

62 2-1-5 روش اختلاف های محدود

62 3-1-5 روش وردشی

62 4-1-5 روش اجزاء محدود

63 2-5 فرمولبندی ضعیف

63 1-2-5 قضیه دیورژانس

64 2-2-5 قضیه گرین

65 3-5 روش اجزاء محدود در حل مسائل مقدار مرزی

66 1-3-5 مش بندی

66 2-3-5 تعیین معادلات تقریبی

67 3-3-5 پدید آوردن سیستم معادلات

68 4-3-5 حل سیستم معادلات

68 5-3-5 قرار دادن شرایط مرزی

فصل ششم: مدل سازی و نتایج

71 1-6 معادلات حاکم و نمایش ریاضی فرایند پوشش کاری لیزری

72 1-1-6 معادلات حاکم بر توزیع میدان دمایی

72 2-1-6 شرایط مرزی حاکم بر توزیع میدان دمایی

73 3-1-6 فرضیات و ساده سازی های ریاضی

73 1-3-1-6 توزیع انرژی پرتو لیزر متحرک

73 2-3-1-6 گرمای نهان ذوب و پدیده مارانگونی

74 3-3-1-6 تضعیف توان

74 4-3-1-6 ضریب انتقال حرارت آمیخته

75	4-1-6 معادلات حاکم بر توزیع میدان تنش گرمایی
75	2-6 فرایند مدل سازی
76	1-2-6 الگوریتم محاسبه ارتفاع لایه
77	1-1-2-6 پیش بینی مرزهای حوضچه مذاب سه بعدی
78	2-1-2-6 اضافه کردن مواد افزایشی به داخل ناحیه مذاب
80	3-1-2-6 به روز رسانی مدل المان محدود بر پایه لایه تشکیل شده
80	2-2-6 تشکیل لایه اول
83	3-2-6 تشکیل لایه های دوم و سوم
83	3-6 نتایج مقایسه ای
83	1-3-6 مقایسه ارتفاع لایه های اول تا سوم
84	2-3-6 مقایسه تاثیر پیش گرم کردن
83	3-3-6 مقایسه تاثیر اضافه کردن 1/5% وزنی پودر نانو CeO_2

پیش گفتار:

با گسترش سیستم های لیزری و افزایش توان آن ها، تیم های تحقیقاتی بسیاری به فکر استفاده از لیزر به منظور انجام عملیات فرآوری سطوح فلزی افتادند. ارائه مدلی کامپیوتری که تمامی پارامترهای فرآیند پوشش کاری لیزری را در بر بگیرد به درک هرچه بهتر فرآیند کمک بزرگی خواهد کرد. همچنین یک مدل خوب می تواند کاهش هزینه ها و افزایش سرعت انجام عملی پروژه را نیز در بر داشته باشد. در این پژوهش سعی کرده ایم با ارائه یک مدل کامپیوتری دقیق به بررسی انواع پارامترهای درگیر در فرآیند پوشش کاری لیزری بپردازیم. فصول مختلف پایان نامه به گونه ای طراحی شده اند که حتی برای استفاده فردی که کمترین اطلاعات را در مورد فرآیند پوشش کاری لیزری دارد نیز مناسب باشد. در مقابل بحث های تخصصی تر در فصل آخر گنجانده شده است. فصل نخست این پژوهش به انواع روش های روکش کاری ضد خوردگی اختصاص یافته است. در فصل دوم به بررسی لیزر خواهیم پرداخت که از جمله مهمترین ابزار مورد استفاده در فرآیند پوشش کاری لیزری می باشد. فصل سوم انواع تکنیک های پوشش کاری را بررسی می کند. در فصل چهارم تاکیدمان بر روی روش پوشش کاری لیزری خواهد بود. در فصل پنجم روش های تقریبی در حل معادلات با شرایط مرزی را بررسی خواهیم کرد و بیشتر بر روش المان محدود تاکید خواهیم داشت. فصل ششم را نیز به مدل سازی و نتیجه گیری های مربوطه اختصاص داده ایم.

فصل اول

روش های روکش کاری ضد خوردگی 1-1 مقدمه

خوردگی عامل بخش عمده ای از شکستگی سازه های فلزی است و اهمیت آن نه تنها از این نظر است که شکستگی در بیشتر موارد ناگهانی است، بلکه بیشتر به علت حضور و تاثیر همه جانبه آن می باشد. خوردگی عبارت است از تخریب ناخواسته یک ماده بر اثر واکنش آن با محیط اطرافش. این تعریف کلی است و تمام مواد از جمله فلزات، سرامیک ها و پلاستیک ها را در بر می گیرد. در بحث پیش روی ما منظور از خوردگی، خوردگی فلزات می باشد زیرا روش پوشش کاری لیزری که موضوع اصلی این پژوهش است فقط در مورد فلزات کاربرد دارد. امروزه اهمیت روش های جلوگیری از خوردگی فلزات بیشتر از گذشته است زیرا:

- استفاده از فلزات در صنایع گوناگون گسترش یافته.
- کاربرد های ویژه ای نظیر انرژی اتمی، استفاده از فلزات نادر و گران بها را طلب می کند که جلوگیری از خوردگی آن ها اهمیت ویژه و حیاتی دارد.
- خوردگی محیط بر اثر آلودگی آب و هوا افزایش یافته است که موجب افزایش خوردگی فلزات می شود.
- در طرح های جدید استفاده از سازه های سبکتر الزامی است و بنابراین همچون گذشته که سازه ها سنگینتر بود نمی توان خوردگی را نادیده گرفت.

در کشورمان ایران نیز این گونه پژوهش ها از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. از یک طرف موقعیت آب و هوایی و جغرافیایی و از سوی دیگر نفت و گاز خیز بودن کشورمان سبب شده، سالانه خسارات جبران ناپذیری در اقتصاد کشور ناشی از پدیده خوردگی بوجود آید. این خسارات و هزینه های ناشی از جلوگیری و تعمیر آن ها سالانه درصد زیادی از تولید ناخالص ملی را شامل شده، که به صورت مستقیم یا غیر مستقیم بر اقتصاد تک تک افراد جامعه تاثیر منفی می گذارد. سایر کشور ها نیز از این پدیده در امان نبوده و به طور مثال تنها در سال 1971 هزینه ناشی از خوردگی و حفاظت از آن در بریتانیا 1365 میلیون پوند بوده که این رقم 3/5% تولید ناخالص ملی این کشور را شامل می شده است. امروزه هزینه سالانه ناشی از خوردگی به اضافه هزینه حفاظت از آن به حدود 2000 تا 3000 دلار سرانه در کشورهای پیشرفته صنعتی می رسد که در حدود 3/5 تا 5 درصد تولید ناخالص ملی آن ها است. [1] بنابراین پژوهش حول محورهای مبارزه با پدیده خوردگی از اهمیت و منطق اقتصادی بالایی برخوردار است.

1-2 پوشش کاری¹ و روکش کاری² دو کلمه یکسان اما دو مفهوم متفاوت

عملیات سطحی به منظور ایجاد بهبود در خواص مکانیکی همچون میزان سختی، مقاومت در برابر خوردگی، مقاومت در برابر حرارت و ... را می توان به طور کلی روش های فرآوری مواد³ نام نهاد. در این روش ها سعی بر اینست که با ایجاد تغییراتی سطحی، بهبودی کلی در رفتار مکانیکی کل قطعه ایجاد کنند. در این بین روش های زیادی به منظور انجام عملیات فرآوری وجود دارند که از بین آن ها می توان به دو روش بسیار مهم پوشش کاری و روکش کاری اشاره کرد. اما این دو روش گرچه از نظر لغوی تقریباً یکسانند، اما در عمل در انجام عملیات فرآوری بسیار متفاوتند. در روش های فرآوری مواد کمیته با نام آمیختگی⁴ تعریف می شود که همانطور که از نامش پیداست، بیانگر میزان آمیختگی لایه و زیرلایه است. در روش های روکش کاری، هیچگونه آمیختگی بین لایه و زیر لایه وجود ندارد یعنی روکش ایجاد شده صرفاً وظیفه حفاظت از لایه زیرین خود را دارد و در هیچ کجا از سطح، خواص فیزیکی و مکانیکی لایه و زیر لایه با هم ادغام نشده اند. این در حالی است که در پوشش کاری باید در مناطق پوشش کاری شده لایه و زیر لایه با هم بیامیزند و پیوندی شیمیایی بین آن ها ایجاد شده و خواص مکانیکی و شیمیایی متفاوتی از لایه و زیرلایه بوجود آید.

فلزات قابلیت هدایت الکتریکی زیادی دارند. بنابراین فرآیند خوردگی در آن ها از نوع الکتروشیمیایی است. این در حالی است که برای مواد غیر هادی خوردگی از نوع شیمیایی است. در عمل با انجام فرآیند هایی بر روی فلز یا محیط اطراف آن و یا هر دو خوردگی کنترل می شود. کنترل محیط ممکن است شامل کنترل ترکیب شیمیایی محیط اطراف فلز، کاهش رطوبت اتمسفر، تغییر دادن PH به میزان مجاز، حذف باکتری ها، کاهش دما و اضافه کردن مواد شیمیایی برای کاهش سرعت خوردگی یعنی بازدارنده ها باشد. در این فصل قصد داریم انواع روش های روکش کاری سطح فلزات را به منظور جلوگیری از خوردگی بررسی کنیم. در فصل سوم به بررسی انواع روش های پوشش کاری خواهیم پرداخت. انتخاب مواد روکش به ظاهری که از قطعه انتظار می رود، میزان سادگی اعمال روکش و محل و شرایط کاربرد آن بستگی دارد. در زیر به انواع تکنیک های روکش کاری فلزی خواهیم پرداخت.

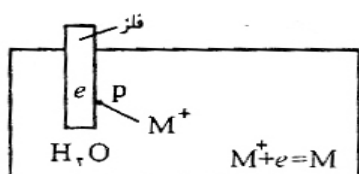
1-3 الکترولیز (آبکاری)

آبکاری الکتریکی فلزات که یکی از روش های متداول روکش کاری فلزات است فرآیندی الکتروشیمیایی است. در حین این فرآیند واکنش های شیمیایی در فصل مشترک الکتروود و محلولی که آبکاری در آن صورت می گیرد با نام الکترولیت انجام می شود. در این روش دو فلز و یک محیط الکترولیت داریم. یکی از این فلزها به صورت قطب منفی یا کاتد و دیگری به صورت قطب مثبت یا آند در می آیند. برای هدایت واکنش های الکتروشیمیایی به سویی خاص از بوجود آوردن ولتاژ D.C بین آند و کاتد استفاده می شود.[2]

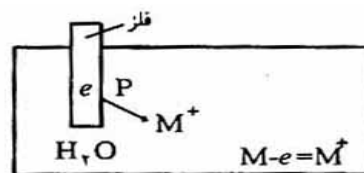
هر ماده تمایل دارد شرایط خود را تغییر دهد تا به حداقل انرژی ممکن برسد. به طور مثال مایعات تبخیر می شوند و تمایل به این کار را با فشار بخار مایع مشخص می کنند. همچنین هر ماده ای تمایل به حل شدن در یک محلول است که این تمایل را با فشار حل شدن بیان می کنند. مثلاً شکر در آب حل می شود بدون آنکه تغییری در حالتش ایجاد شود. این موضوع در مورد فلزات کمی متفاوت است. فلزات به صورت اتمی در آب حل نمی شوند بلکه یونیزه می شوند. تمایل هر فلز به داخل شدن در محلول الکترولیت را در حالت یونی، فشار حل شدن الکترولیتی می گوئیم و با P آنرا نمایش می دهیم. در مقابل فشار اسمزی یا فشار احیا نیز برای فلزات تعریف می شود. در این مورد یون ها ی فلز می توانند احیا شوند و به اتم تبدیل شوند. تمایل فلز به احیا شدن از محلول الکترولیت و داخل شدن به فاز اتمی را فشار اسمزی یا فشار یونی گویند و با p آنرا نشان می دهند.[2]

۱. Cladding
۲. Coating
۳. Materials Processing
۴. Dilution

شکل های 1-2 الف و ب این دو تعریف را به صورت نمادین نشان می دهند. وقتی فلزات در محلول های حاوی یون های فلزی قرار می گیرند، رفتارشان متفاوت است. برخی به طور مثبت باردار شده و برخی به طور منفی، لذا برای طبقه بندی آن ها از این نظر باید یک محلول الکترولیت استاندارد تعریف کرد. بنابراین برای این منظور از محلولی 1 مولار و در شرایط آزمایشگاه استفاده می شود. با این استاندارد سازی اگر فلزی در محلول الکترولیت، فشار اسمزی اش بیشتر از فشار حل شدن الکترولیتی آن شود گوییم آن فلز نجیب است.



ب



الف

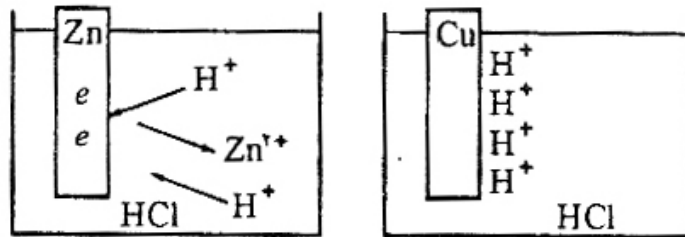
شکل 1-2 الف) فشار حل شدن الکترولیتی ب) فشار اسمزی

فلزات نجیب به طور مثبت باردار می شوند مثلا اگر یک قطعه مسی را در محلول 1 مولار سولفات مس فرو ببریم به طور مثبت باردار می شود و عمل احیا صورت می گیرد زیرا فشار اسمزی مس بیشتر از فشار حل شدن آن است و مس نجیب است. در صورتیکه اگر فلز روی را در محلول 1 مولار سولفات روی فرو ببریم عکس عمل فوق اتفاق می افتد و روی حل می شود، زیرا فشار حل شدن روی بیشتر از فشار اسمزی آن است. به منظور دانستن اینکه چه فلزی در چه محلولی حل یا احیا می شود، جدولی با نام جدول الکتروموتیو عناصر تهیه شده است. در این جدول اعداد منفی بزرگ به معنای فعال، و اعداد مثبت بزرگ به معنای نجیب بودن بیشتر فلز است. اعداد الکتروموتیو برخی عناصر مهم در جدول 1-1 آورده شده است. واکنش های الکتروشیمیایی در فصل مشترک آند و کاتد و الکترولیت بوجود می آیند. توسط پدیده های اکسیداسیون و احیا امکان دارد یکی از الکترودها (آند یا کاتد) در محلول الکترولیت حل شده و روی دیگری لایه ای تشکیل شود. امکان دیگر اینست که هیچکدام از الکترودها حل نشوند و فرایند اکسیداسیون و احیا در الکترولیت انجام شود که در زیر به برخی از این پدیده ها خواهیم پرداخت. در ادامه به بررسی رفتار فلزات در محیط های الکترولیت گوناگون خواهیم پرداخت.

عدد الکتروموتیو	عنصر
-0/75	روی
-0/71	کروم
-0/44	آهن
0/000	هیدروژن
+0/050	قلع
+0/52	مس
+1/2	پلاتین
-0/25	نیکل
-0/125	سرب
-1/67	آلومینیم

1-3-1 رفتار فلزات در اسیدها

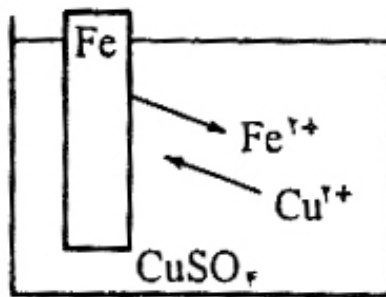
فرض کنید در دو ظرف مختلف در یکی Zn و در دیگری Cu را در HCl قرار داده ایم. مشاهده می شود که Zn حل می شود و گاز هیدروژن متصاعد می شود در حالیکه مس حل نمی شود. زیرا طبق جدول 1-1 مشاهده می شود که روی فعال تر از هیدروژن است ولی مس از آن نجیبتر است. واکنش های شیمیایی رخ داده در این دو پدیده توسط رابطه 1-1 نمایش داده شده است و شکل 3-1 نیز نمای کلی این فرایند را نشان می دهد.



شکل 3-1 مس و روی در HCl

2-3-1 رفتار یک فلز در محلول محتوی یون های دیگر

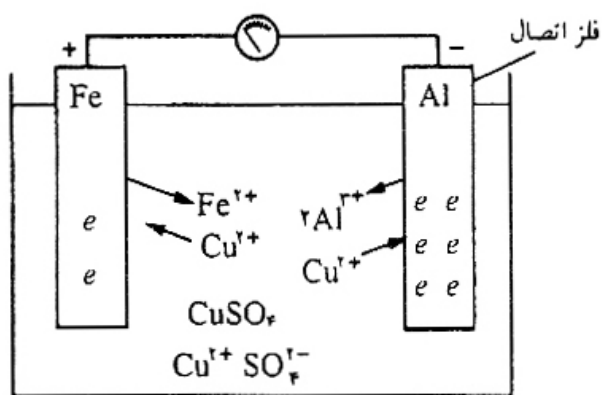
فرض کنیم به طور مثال میله آهنی را در محلول سولفات مس فرو ببریم. مشاهده می شود که آهن حل شده و یک لایه فلز مس روی آن می نشیند. این بدین دلیل است که طبق جدول 1-1 فشار حل شدن آهن بیشتر از مس است. در نتیجه وارد محلول شده و بار منفی روی آهن بوجود می آید. این امر سبب می شود طبق شکل 4-1 یون های مثبت مس روی آهن نشستند و لایه ای نازک از مس روی آهن پوشیده شود.



شکل 4-1 میله آهنی در محلول سولفات مس

1-3-3 رفتار دو فلز مختلف در یک محلول نمکی

در مثال های قبلی رفتار یک فلز را در حضور یون خود و یا یون فلز دیگر بررسی کردیم. اینک فرض می کنیم دو فلز در حضور یون فلز سوم قرار گرفته و به هم متصل باشند. با یک مثال مساله را بررسی می کنیم. فرض کنیم طبق شکل 1-5 دو میله آهنی و آلومینیومی را در محلول سولفات مس قرار دهیم و با یک سیم آن ها را به هم وصل کنیم. مشاهده می کنیم که یک ولت متر جهت جریان را از آلومینیوم به آهن نشان می دهد. این بدان معناست که آهن به صورت مثبت تر از آلومینیوم باردار شده. این بدین خاطر است که هر دو فلز آهن و آلومینیوم از مس فعالترند لذا هر دو وارد محلول خواهند شد و قسمت های حل نشده هر دو فلز دارای بار منفی می شوند و مس را جذب می کنند. ولی چون آلومینیوم فعالتر از آهن است، مقداری از الکترون های آن به سمت آهن می روند و باعث می شود تا لایه جذب شده روی آن از حالت غوطه وری آهن در سولفات مس به تنهایی ضخیمتر شود. آلومینیوم را در این حالت فلز اتصال گویند و وقتی روی آن نیز کاملا با مس پوشیده شد، عمل انتقال پایان می یابد.



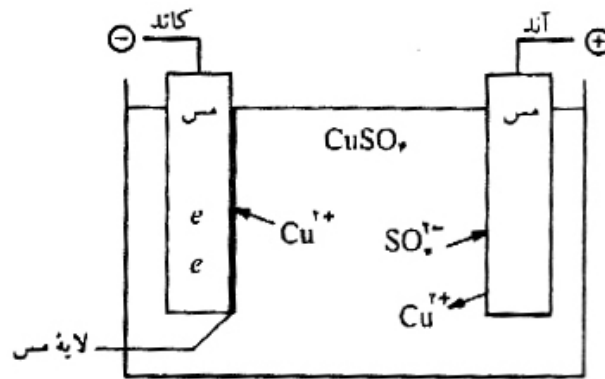
شکل 1-5 میله های آهن و آلومینیوم که در محلول سولفات مس قرار گرفته اند و با یک سیم به هم مربوطند. ولت متر جهت جریان را از Al به Fe نشان می دهد.

1-3-4 الکترولیز نمک با آند حل شونده

پس از مقدمات بالا، در رابطه با روش روکش کاری به روش الکترولیز، یک آزمایش واقعی الکترولیز را بررسی می کنیم. اگر مقداری سولفات مس را در یک ظرف بریزیم و دو الکتروود مسی را در آن بگذاریم و اختلاف پتانسیل 4 ولت D.C را بین آند و کاتد برقرار کنیم، مشاهده می شود که کاتد با لایه ای از مس تازه پوشیده می شود و آند به آرامی حل می شود. زیرا در الکترولیت، سولفات مس به یون سولفات و یون مس تجزیه شده و بواسطه میدان الکتریکی ایجاد شده بین آند و کاتد توسط ولتاژ D.C کاتیون با بار مثبت به سمت الکتروود منفی (کاتد) و SO_4^{2-} به آند می روند. در کاتد، مس احیا شده و روکشی یکنواخت ایجاد می کند. واکنش زیر در کاتد انجام می شود:



در آند نیز مس حل شده و وارد محلول می گردد و الکترون های باقیمانده روی آن از طریق سیم رابط به سمت کاتد می روند. شکل 1-6 این فرایند را نمایش می دهد.



شکل 6-1 الکترولیز سولفات مس با آند حل شونده

5-3-1 الکترولیز نمک با آندهای غیر محلول

اگر آزمایش بیان شده در بخش قبلی را تکرار کنیم با این تفاوت که به جای آند مسی، آند نامحلول پلاتین بگذاریم، در این صورت مشاهده خواهد شد که کاتد با لایه ای از مس پوشیده شده و در آند گاز اکسیژن متصاعد می شود و پلاتین دست نخورده باقی می ماند. زیرا در آند برای برقراری جریان الکتریکی، لازم است الکترون تولید شود ولی پلاتین نمی تواند حل شود، از اینرو اجزاء دیگر الکترولیت باید اکسید شوند. مثلاً آنیون هایی مثل SO_4^{2-} و یا خود آب، این فرایندها طبق روابط زیر رخ می دهند:

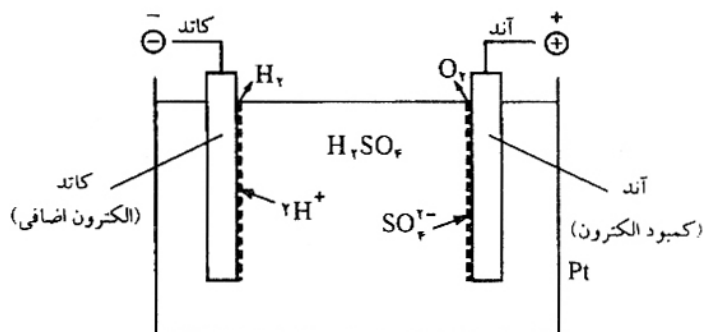


انجام هر یک از واکنش های فوق به غلظت محلول بستگی دارد. در محلول رقیق که فقط مقدار جزئی سولفات وجود دارد، اکسیداسیون آب مهم تر است، ولی در محلول های غلیظتر بیشتر پرسولفات $S_2O_8^{2-}$ حاصل می شود.

6-3-1 الکترولیز اسید با آند غیر محلول

آزمایش قبلی را با این تفاوت تکرار می کنیم که به جای سولفات مس، از اسید سولفوریک استفاده می کنیم. در اینصورت مشاهده خواهیم کرد که مس در کاتد رسوب نخواهد کرد بلکه H_2 متصاعد خواهد شد. دلیل این امر اینست که در الکترولیت، اسید سولفوریک در آب تجزیه می شود و H^+ و SO_4^{2-} و یا HSO_4^- ایجاد می شود (شکل 7-1).





شکل 7-1 الکترولیز اسید سولفوریک با آند غیر محلول

انواع مختلف دیگری از روش های الکترولیز با محلول های الکترولیت دیگری نیز وجود دارند. همانطور که دیدیم محصول الکترولیز یک لایه با ضخامت قابل کنترل و چسبندگی خوب به سطح زیر لایه است که به منظور جلوگیری از خوردگی های سطحی مناسب می باشد.

4-1 روش رسوب شیمیایی فلزات

روش دیگری که برای روکش کاری فلزات کاربرد دارد روش رسوب دادن شیمیایی فلزات است. ساده ترین مثال در این مورد رسوب شیمیایی مس بر روی آهن است که با فرو بردن آهن در محلول سولفات مس یا نمک دیگری از مس ایجاد می شود. البته این روش چندان کاربرد عملی در روکش کاری فلزات ندارد، زیرا روکش حاصله نازک است و پس از روکش شدن کامل آهن با مس، فرآیند متوقف می شود. علاوه بر نازکی، پوشش حاصله متخلخل می باشد و چسبندگی آن نیز مطلوب نیست. روکش مسی به این روش به دو منظور به کار می رود:

- پوشش تزئینی قطعات فولادی.
- پوشش ورقه ها و سیم های فولادی به منظور حفاظت موقت و بهبود خاصیت روغنکاری در حین فرآیندهای پرسکاری و کشش عمیق.

5-1 روش های تبدیلی و اکسیدی

بسیاری از فلزات به اکسید شدن تمایل دارند و لایه نسبتاً پایداری از اکسید روی آن ها تشکیل می گردد. تحت شرایط معینی این لایه اکسید، خواص محافظتی از خود نشان خواهد داد که می تواند خواص ضد خوردگی نیز داشته باشد. این یعنی به گونه ای سطح فلز به اصطلاح رویین می شود که ممکن است بر اثر عوامل مختلفی چون اکسیژن و اکسید فلزی، محصول حاصل از خوردگی فلز و مواد آلی جذب شده روی سطح به وجود آید. رویین شدن باعث ایجاد لایه ای محافظ در زمان معینی می شود. از این خاصیت برای حفاظت سطح فلزات در مقابل خوردگی با سه منظور زیر استفاده می شود:

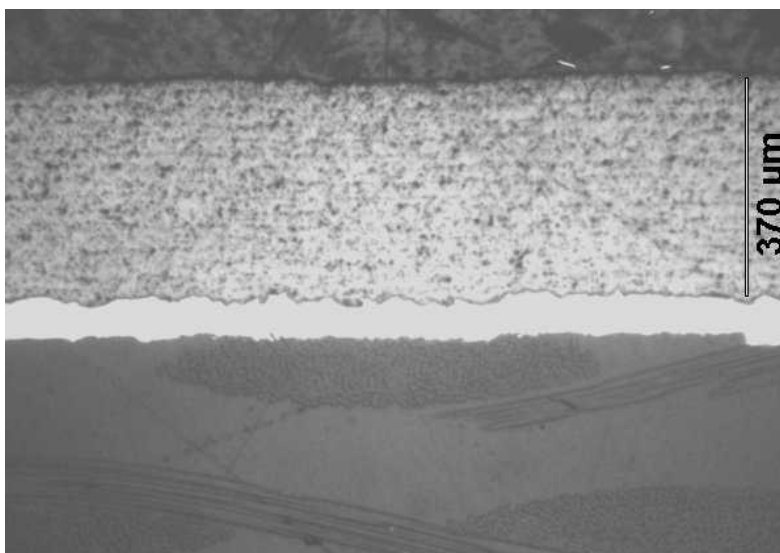
- پایدار کردن اکسیدهای موجود و جلوگیری از اکسید شدن (اتمسفری) بیشتر، که ممکن است سبب ایجاد اکسیدهای حجیم شود.
 - کاهش کدر شدن فلزات در محیط های صنعتی. به طور مثال: قوطی های حلبی و روکش های مسی.
 - تقویت چسبندگی رنگ و لاک ها با ایجاد پیوندی بین آن ها و فلز.
- با سه روش زیر می توان فلزات را رویین کرد:

- رویین شدن مکانیکی بر اثر محصول ناشی از خوردگی، این محصول بین فلز و الکترولیت قرار می گیرد و مانعی در برابر خوردگی بعدی ایجاد می کند.
- رویین شدن شیمیایی بر اثر جذب فلز یا اکسید فلزی روی سطح که باعث ایجاد یک لایه پایدار می شود.
- رویین شدن آندی یا الکتروشیمیایی، وقتی که اکسید فلز در شرایط کنترل شده تشکیل گردد و کاملاً متراکم باشد و یا بر اثر عملیات ثانویه، متراکم و غیر قابل نفوذ شود.

بر اثر رویین شدن، جریان خوردگی کاهش می یابد. وجود یون های خورنده مانند Cl^- ، نیترات و یا سایر هالوژن ها باعث از بین رفتن حالت رویین خواهد شد. در عمل با استفاده از خاصیت رویین شدن فلزات به طریق شیمیایی و یا الکتروشیمیایی لایه اکسیدی و یا هیدروکسیدی موجود بر روی فلزات را تقویت می کنند و یا باعث ایجاد این لایه می شوند. به این نوع عملیات سطحی، ایجاد پوشش های تبدیلی و یا اکسیدی گویند. پوشش های تبدیلی به جذب اکسید محافظ بر روی سطح فلز بستگی دارند. لیکن ممکن است در برخی حالات، از اکسید ثانویه غیر فلزی و یا ترکیبات دیگر استفاده شود. [4] در زیر به بررسی دو روش بوجود آوردن روکش های اکسیدی یعنی کروماته و فسفاتة کردن خواهیم پرداخت:

1-5-1 کروماته کردن

این فرآیند عبارت است از تشکیل لایه مخلوطی از اکسید های فلز و کروم بر روی سطح فلزات که لایه ای رویین می باشد. ترکیب این لایه ممکن است خیلی پیچیده و غیر مشخص باشد لیکن به طور تقریبی آن را به صورت $Cr_2O_3 \cdot xH_2O$ و یا $Cr(OH)_3 \cdot Cr(OH)CrO_3$ می توان نوشت که معمولاً زرد رنگ است. تشکیل لایه کرومات بر اثر حل شدن لایه روی سطح فلز شروع می شود و برای اطمینان از یکنواخت حل شدن این لایه معمولاً به محلول کرومات مقداری یون های فعال کننده مانند یون های سولفات و هالوژن اضافه می کنند. از این عمل برای تعدادی از فلزات از قبیل Al ، Zn ، Sn ، Mg و Ag استفاده می شود و قطر لایه ای که روی آن ها تشکیل می شود از 0/1 تا 10 میکرون می باشد. شکل 8-1 لایه ای اکسیدی که از روش کروماته کردن روی سطح زیر لایه بوجود آمده را نشان می دهد.



شکل 8-1 لایه اکسیدی کروم که با روش کروماته کردن روی سطح زیر لایه شکل گرفته [4]