بررسی اثر ولتاژ اعمالی و فاکتورهای فرآیندی بر ضخامت، براقیت و خواص مکانیکی فیلم رنگ الکترودیپازیشن کاتدی

مصطفی شریفیان[i]؛ دکتر سیامک مرادیان[ii]؛ دکتر مجتبی میر عابدینی[iii]

چکیده

در این مقاله به بررسی اثر غلظت اجزای حمام رنگCED (الکترودیپازیشن کاتدی) شامل غلظت رزین، غلظت پیگمنت‌ها و pH حمام همچنین فاکتورهای فرآیندی شامل ولتاژ ثابت، دمای حمام رنگ و زمان اعمال ولتاژ بر ضخامت و خواص ظاهری و مکانیکی (براقیت ، سختی ، انعطاف پذیری و مقاومت در برابر ضربه) فیلم رنگ اعمالی بر فولاد آماده سازی سطح شده پرداخته خواهد شد . به منظور طراحی آزمایش و تحلیل نتایج، از روش طراحی آزمایش تاکوچی مدل L25 استفاده شده است .

نتایج نشان می‌دهد ولتاژ اعمالی مؤثرترین عامل بر ضخامت و خواص نهایی فیلم رنگ است. غلظت پیگمنت‌ها و غلظت رزین موجود در حمام با وجودی که بر ضخامت فیلم نهایی تأثیر چندانی ندارد؛ ولی ترکیب بهینه این دو فاکتور به شدت بر خواص مکانیکی و براقیت فیلم رنگ مؤثر است. pH و دمای حمام پس از سه فاکتور ذکر شده اثر تقریبا مشابهی بر ضخامت و خواص نهایی دارند. فاکتور زمان اعمال ولتاژ کمترین تأثیر را بر خواص نهایی فیلم رنگ از خود نشان داد.

کلمات کلیدی

الکترودیپازیشن، کاتدی، غلظت رزین، غلظت پیگمنت، فاکتورهای فرآیندی، ضخامت ، براقیت، خواص مکانیکی، تاکوچی L25.

The Effect of Applied Voltage and Process Parameters on the Thickness, Gloss and Mechanical Properties of Cathodic Electrodeposition Coat

Mostafa Sharifian; Siamak Moradian; Mojtaba Mirabedini

ABSTRACT

In this paper, attempts were made to investigate the effect of resin and pigment concentration, pH of bath and also the processing factors of CED (Cathodic Electrodeposition) system such as constant applied voltage, the bath temperature and time of application on the final properties (such as thickness, appearance properties, physical & mechanical properties) of CED coated on the mild steel. The Taguchi L25 design was selected as the DOE model and the results were analyzed accordingly.

The results showed that the constant applied voltage is the most decisive factor determining the final properties of CED coat. Pigment and resin concentration do not show a significant effects on the thickness but the optimum composition of these two factors determine the final properties of coated film. Apart from these three factors, pH and temperature have almost the same effect on thickness and final properties of coat. Coating time has the least effect on the final properties of the coat.

[i] کارشناس ارشد مهندسی پلیمر رنگ دانشگاه صنعتی امیر کبیر: Sharifian39@yahoo.com ، تلفن: ۶۶۰۲۸۰۱۰-۰۲۱

[ii] استاد دانشکده پلیمر گروه صنایع رنگ دانشگاه صنعتی امیر کبیر: Moradian@cic.aut.ac.ir و P.O. Box 15875-4413

[iii] استادیار گروه رنگ پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران: P.O. Box 14185/458

KEYWORDS

Electrodeposition, Cathodic, Resin Concentration, Pigment Concentration, Process Parameters, Thickness, Gloss, Mechanical Properties, Taguchi L25.

۱- مقدمه

فرآیند الکترودیپازیشن و یا الکتروپینتیگ کاتدی یک فرآیند پوششدهی الکتروشیمیایی است که در آن اعمال ولتاژ و جریان مستقیم به سطوح هادی الکتریکی به عنوان کاتد، به ایجاد فیلم همگن بر روی سطوح پوشش های تبدیلی شیمیایی (مانند لایه فسفاته) منجر می‌شود. مقاومت الکتریکی فیلم رسوب کرده باعث ایجاد خاصیت قدرت پرتابی و پوشش دهی همگن سطوح با اشکال مختلف می شود. مزایای مختلف این سیستم مانند مقاومت در برابر خوردگی، خواص فیزیکی مکانیکی مناسب، خودکار بودن فرآیند و دوستدار محیط زیست بودن آن به رشد سریع این فرآیند در صنعت، به ویژه صنعت خودروسازی منجر شده است [۱].

مرحله اول الکترودیپازیشن کاتدی تولید گاز هیدروژن و یون هیدروکسی است. مرحله دوم رسوب فیلم در زمانی که غلظت یون هیدروکسی به میزان کافی برای رسوب پوشش می‌رسد و در مرحله سوم فرآیند اصلی الکترودیپازیشن و رسوب پوشش از خلل و فرج پوشش رخ می‌دهد [۲].

فاکتورهای مختلف شامل فاکتورهای مربوط به فرمولاسیون حمام و همچنین فاکتورهای فرآیندی بر فرآیند الکترودیپازیشن مؤثر است و در مقالات مختلف اثر غلظت رزین، نوع رزین ، دمای حمام رنگ ، ولتاژ ثابت و زمان اعمال ولتاژ بر فرآیند الکترودیپازیشن و خواص نهایی پوشش به طور مجزا بررسی شده است [۲و۳،۴،۵].

فاکتور های غلظت رزین، غلظت پیگمنت‌ها (در صد خاکستر) و pH به عنوان فاکتور های تشکیل دهنده حمام رنگ و همچنین فاکتورهای ولتاژ ثابت، دمای حمام و زمان اعمال ولتاژ به عنوان فاکتورهای فرآیندی در نظر گرفته شده اند که به بررسی اثر این شش فاکتور بر ضخامت، براقیت و خواص مکانیکی (براقیت ، سختی ، جامی شدن و مقاومت در برابر ضربه) پوشش اعمالی بر فولاد آماده سازی سطح شده پرداخته خواهد شد.

۲- طراحی آزمایش

برای هر یک از شش فاکتور غلظت پیگمنت ها ، غلظت رزین، pH حمام، ولتاژ، دمای حمام و زمان اعمال ولتاژ ۵ سطح مطابق با محدودهٔ کاربردی هر یک از فاکتورها انتخاب شد که در جدول (۱) مشخص شده است [۶].

طراحی آزمایش بر اساس طراحی آزمایش تاکوچی و مطابق با تعداد ۶ فاکتور و ۵ سطح مدلL25 به عنوان مدل طراحی آزمایش بر طبق جدول (۲) استفاده شده است [۸ و۷].

به منظور کاهش خطای آزمایش و امکان آنالیز واریانس نتایج، ۳ بار تکرار برای هر یک از اجراهای مدل L25 در نظر گرفته شد.

جدول (۱): فاکتورها و سطوح انتخابی هر فاکتور

	Pigments concentration (%)	Resin concentration (%)	Voltage(V)	pH	Temp.(°C)	Time(Sec)
level 1	1.5	12.5	50	5.6	20	90
level 2	2	15	125	5.8	25	120
level 3	2.5	17.5	200	6	30	150
level 4	3	20	275	6.1	35	180
level 5	3.5	22.5	305	6.2	40	210

جدول (۲): مدل طراحی آزمایش تاکوچی L25

	Pigments con. (%)	Resin con. (%)	Voltage (V)	pH	Temp.(°C)	Time (Sec)
1	1.5	12.5	50	5.6	20	90
2	1.5	15	125	5.8	25	120
3	1.5	17.5	200	6	30	150
4	1.5	20	275	6.1	35	180
5	1.5	22.5	305	6.2	40	210
6	2	12.5	125	6	35	210
7	2	15	200	6.1	40	90
8	2	17.5	275	6.2	20	120
9	2	20	305	5.6	25	150
10	2	22.5	50	5.8	30	180
11	2.5	12.5	200	6.2	25	180
12	2.5	15	275	5.6	30	210
13	2.5	17.5	305	5.8	35	90
14	2.5	20	50	6	40	120
15	2.5	22.5	125	6.1	20	150
16	3	12.5	275	5.8	40	150
17	3	15	305	6	20	180
18	3	17.5	50	6.1	25	210
19	3	20	125	6.2	30	90
20	3	22.5	200	5.6	35	120
21	3.5	12.5	305	6.1	30	120
22	3.5	15	50	6.2	35	150
23	3.5	17.5	125	5.6	40	180
24	3.5	20	200	5.8	20	210
25	3.5	22.5	275	6	25	90

۳- فعالیت های عملی و آزمایش ها

۳-۱- مواد مورد استفاده در آزمایش

خمیر پیگمنت543666 شرکت P.P.G (در صد مواد غیر فرار= ۵۳، در صد خاکستر=۳۶، چگالی در ۲۰ درجه سانتیگراد حدود ۱۴۰۰ گرم بر لیتر، ویسکوزیته بروکفیلد در ۲۵ درجه سانتیگراد حدود ۲۰۰۰ سانتی پوآز)، رزین امولسیونی 543807 شرکت P.P.G (در صد مواد غیر فرار= ۳۶، چگالی در ۲۰ درجه سانتیگراد حدود ۱۰۵۰ گرم بر لیتر، meq اسیدی(به ازای ۱۰۰گرم جامد) حدود ۳۲، meq بازی (به ازای ۱۰۰گرم جامد) حدود ۶۱)، آب DI (Conductivity <۱۰μS/cm)، اسید استیک شرکتMERCK ، کربنات سدیم شرکت MERCK و صفحه های فولاد ST-12 شرکت فولاد مبارکه به ابعاد ۱۱۰×۱۰۰×۰/۷ mm آماده سازی شده در خط PT.ED شرکت بهمن موتور (با مواد شرکت P.P.G) [۶].

۳-۲- تجهیزات مورد استفاده در تهیه نمونه‌های آزمایش

تانک آزمایشگاهیCED به ابعاد طول=۲۱/۵، عرض=۱۵/۵ ،ارتفاع=۱۴ سانتیمتر با خصوصیات: قطب آند از جنس استیل ضد زنگ ALSI 316o (ابعاد۱۱×۱۱ سانتیمتر)، پلیت آزمایش (کاتد) با ابعاد ۱۰×۱۰ سانتیمتر، فاصله آند و کاتد ۱۰ سانتیمتر، همزن مغناطیسی و دماسنج با حساسیت ±۰/۲°C دستگاه تنظیم دمای حمام با حساسیت±۰/۲°C (LAUDA elcolime Re207) رکتیفایر جریان (۴۰۰-۰ ولت، ۴ آمپر، مجهز به زمان سنج، نوسان جریان کمتر از ۵) [۹] ،آون (Memmert)، pH متر دیجیتالی (Radiometer ION CHECK 10) و ترازوی با حساسیت ۰/۰۱ گرم (Adam).

۳-۳- تهیه نمونه‌های آزمایش

برای تهیه هر یک از اجراهای مدلL25 ، مطابق با درصد رزین و همچنین درصد پیگمنت مورد نظر برای آن اجرا، مقدار خمیر پیگمنت، رزین امولسیونی و آب DI مورد نیاز با ترازو توزین شده و در داخل تانک آزمایشگاهیCED قرار داده می‌شود. حمام رنگ با همزن، به مدت ۲ ساعت همزده شده و با دستگاه تنظیم دما در دمای مورد نظر ثابت می‌شود. سپس pH حمام با محلول اسید استیک و یا محلول کربنات سدیم مطابق pH مورد نظر تنظیم می‌شود.

صفحه های فولاد آماده سازی شده در حمام رنگCED قرار گرفته و با رکتیفایر ولتاژ ثابت مورد نظر برای مدت زمان مورد نظر به صفحه اعمال شده و پس از اتمام زمان اعمال ولتاژ صفحه خارج شده و با آبDI شستشو می شود و پس از آن در دمای ۱۷۰درجه سانتیگراد به مدت ۲۰ دقیقه پخت رنگ صورت می‌گیرد [۶].

۳-٤- آزمون های انجام شده

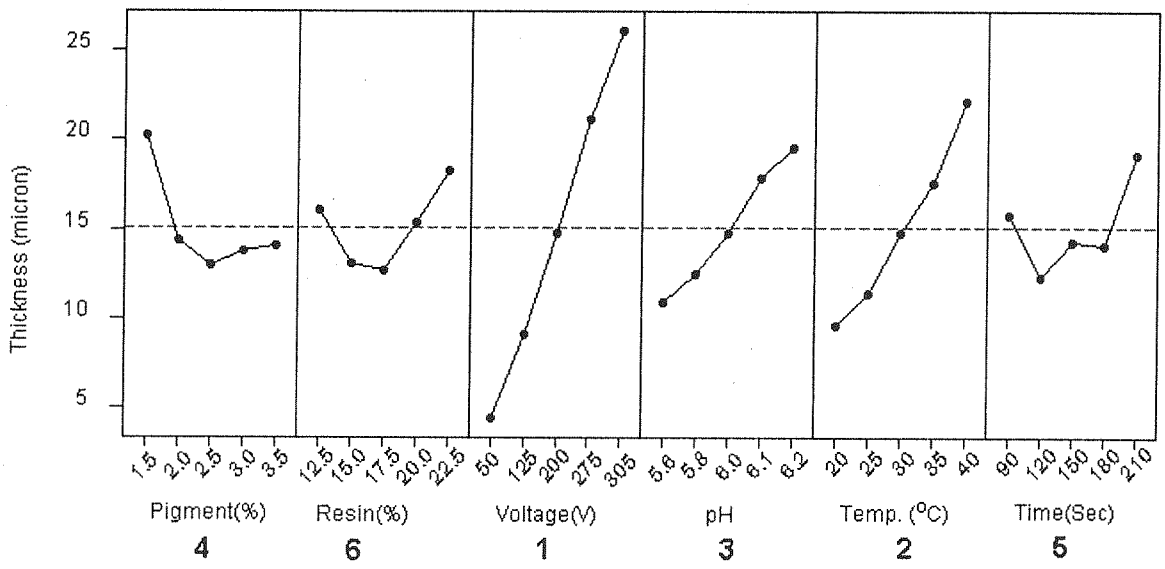
- اندازه گیری ضخامت: مطابق با استاندارد ASTM D 1186 [۱۰]
- براقیت: مطابق با استاندارد ASTM D 5767 و Method B (زاویهٔ تابش ۶۰ درجه) [۱۰]
- سختی : مطابق با استاندارد ASTM D 4366 و Method B (پاندلی پرسوز) [۱۰]
- جامی شدن: مطابق با استاندارد ISO1520 سرعت حرکت Indenter برابر با ۵ mm/min [۱۱]
- ضربه: مطابق با استاندارد ASTM D 2794 [۱۰]

٤- نتایج و بحث

نحوه ارائه نتایج به دست آمده برای هر یک از خواص نهایی و همچنین آنالیز نتایج بدین شرح است: ارائه ۳ پاسخ(۳ بار تکرار) برای هر آزمون نهایی و برای هر آزمایش(هر یک از ۲۵ آزمایش مطابق L25) به نرم افزار (Minitab 13) ،حصول نمودارهای میانگین های مقادیر هر آزمون نهایی برای هر فاکتور و حصول رتبه تاثیر گذاری هر فاکتور بر روی آزمون نهایی مورد نظر مطابق با بزرگی میزان دلتا میانگین بین سطوح و تعیین معنی دار بودن یا نبودن اثر هر فاکتور بر روی هر یک از خواص نهایی پوشش به وسیلهٔ آنالیز واریانس ANOVA general linear (F-test) و با ضریب دقت ۹۵٪(معنی دار بودن اثر برای موارد P<0.05 قابل پذیرش است) [۸ و۷].

٤-۱- ضخامت

با توجه به نمودار شکل (۱) به ترتیب فاکتورهای ولتاژ اعمالی ، دمای حمام ، pH حمام ، غلظت پیگمنت، زمان اعمال ولتاژ و در نهایت غلظت رزین بر روی ضخامت نهایی پوشش مؤثر است که اهمیت اثر سه فاکتور اول نسبت به سه فاکتور دیگر به طور محسوسی بیشتر می باشد . ولتاژ اعمالی



شکل (۱)*: منحنی مقادیر میانگین ضخامت برای فاکتورها

*نکته: در کلیه نمودار ها موجود در این مقاله، منحنی بر اساس میانگین مقادیر برای هر سطح از هر فاکتور است و شماره منحنی هر فاکتور بیانگر رتبهٔ تاثیرگذاری فاکتور و حرف N بیانگر معنی دار نبودن اثر فاکتور بر روی هر یک از خواص نهایی است (اثر فاکتور کوچک تر از اثر خطای تکرار آزمایش است).

مؤثرین فاکتور بر روی ضخامت نهایی پوشش می‌باشد، همان طور که در نمودار مشاهده می‌شود افزایش ولتاژ به طور محسوسی باعث افزایش در ضخامت نهایی پوشش می‌شود . این امر با توجه به اینکه افزایش ولتاژ باعث افزایش جریان عبوری از سیستم و پیرو آن افزایش میزان تولید یون هیدروکسی در کاتد است قابل توجیه می باشد . افزایش دما از آنجا که باعث افزایش سرعت مهاجرت ذرات رنگ در حمام و همچنین باعث تأمین انرژی لازم برای واکنش های شیمیایی است، باعث افزایش میزان ضخامت نهایی می شود.

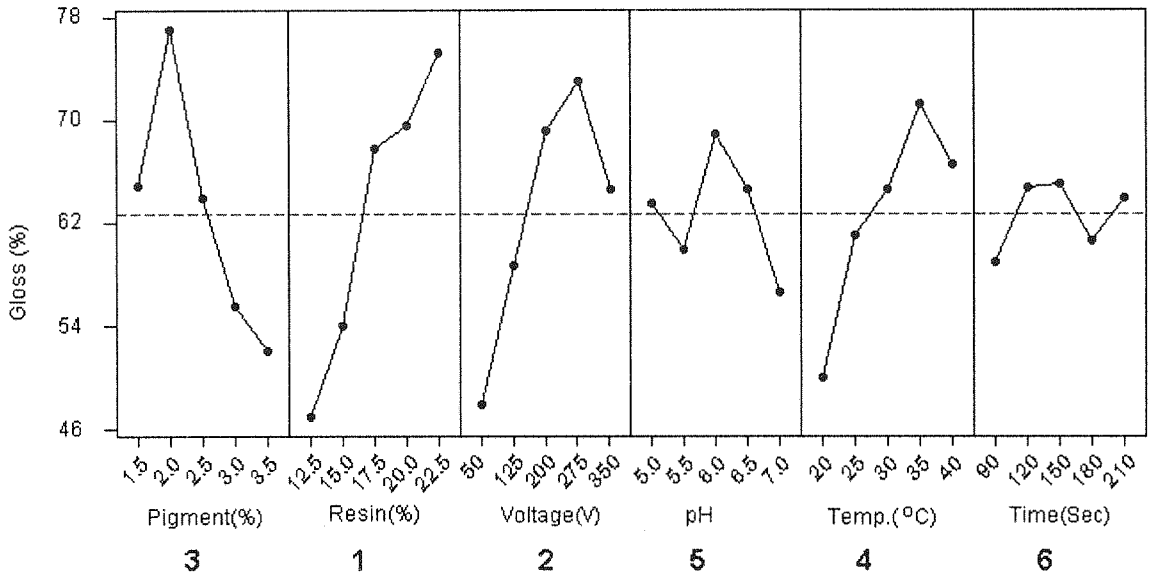
افزایش pH حمام نیز باعث افزایش ضخامت می شود که این امر با توجه به کاتیونی بودن ذرات و این موضوع که قلیایی تر بودن حمام باعث بزرگ تر شدن ذرات رنگ، افزایش نامحلولی ذرات رنگ و در نتیجه رسوب بیشتر آنها درکاتد می‌شود، کاملاً قابل توجیه است . همان طور که مشاهده می‌شود افزایش غلظت پیگمنت از ۱/۵ تا ۲ در صد باعث کاهش ضخامت نهایی پوشش می شود که این امر این گونه قابل توجیه است که افزایش غلظت پیگمنت ها در حمام رنگ باعث چگال تر شدن و کاهش سرعت حرکت ذرات رنگ و پیرو آن کاهش میزان پوشش رسوب کرده می شود. هر چند پس از غلظت، ۲ در صد این اثر کمتر مشاهده می شود. زمان اعمال ولتاژ در رتبه پنجم تأثیر بر ضخامت پوشش می باشد و تأثیر بسزایی بر این خاصیت ندارد و به نظر می رسد رشد اصلی پوشش در زمان هایی کمتر از ۹۰ ثانیه رخ داده است و پس از آن به دلیل عایق شدن سطح تغییر زیادی در ضخامت مشاهده نمی‌شود، هر چند در زمان طولانی اعمال ولتاژ کمی افزایش ضخامت مشاهده می شود که می‌توان آن را به زمان بیشتر برای تولید یون هیدروکسی نسبت داد .

افزایش غلظت رزین ، از آنجا که از یک سو باعث افزایش ذرات کاتیونی موجود در اطراف کاتد و از سوی دیگر باعث افزایش ویسکوزیته حمام رنگ و کاهش سرعت مهاجرت ذرات رنگ در حمام می‌شود در مجموع تأثیر زیادی بر افزایش ضخامت نهایی پوشش ایجاد نمی کند، هر چند در غلظت بالای رزین افزایش رسوب ذرات رنگ مشاهده می شود.

٤-۲- براقیت

با توجه به نمودار شکل (۲) غلظت رزین داخل حمام موثرترین عامل در براقیت نهایی پوشش است. همان طور که مشاهده می شود، با افزایش غلظت رزین داخل حمام پیرو آن غلظت رزین در پوشش نهایی افزایش می یابد که در نتیجه افزایش غلظت رزین داخل پوشش باعث همسطح شدن بهتر فیلم نهایی و انعکاس آیینه ای بیشتر می شود. ولتاژ اعمالی دومین عامل مؤثر بر براقیت است به گونه ای که با افزایش ولتاژ اعمالی تا ۲۷۵ ولت با افزایش براقیت مواجه هستیم که دلیل آن را در افزایش ضخامت پوشش بر اثر افزایش ولتاژ می‌توان یافت که باعث کاهش اثر زبری لایه فسفاته بر همسطحی و براقیت پوشش می شود. هر چند پس از ۲۷۵ ولت به خاطر ولتاژ بالای اعمالی و تخریب در پوشش به دلیل شدت زیاد تولید گاز هیدروژن در کاتد از براقیت پوشش کاسته می‌شود.

افزایش غلظت پیگمنت ها در حمام از ۱/۵ تا ۲ در صد به دلیل ایجاد یک ترکیب بهینه با رزین در پوشش رسوب کرده باعث ایجاد براقیت مناسب در پوشش می شود، هر چند پس از آن به دلیل افزایش نسبت پیگمنت به رزین در پوشش و افزایش



شکل (۲): منحنی مقادیر میانگین براقیت برای فاکتورها

پروسیتی در پوشش با افت براقیت پوشش مواجه می شویم. دمای حمام نیز تا دمای ۳۵ درجه از آنجا که باعث افزایش ضخامت پوشش و کاهش اثر زبری لایه فسفاته است، باعث افزایش براقیت نهایی پوشش می شود. هر چند در دمای ۴۰ درجه به دلیل تخریب و اختلال در تشکیل پوشش مسطح با کاهش براقیت پوشش مواجه هستیم.

زمان اعمال ولتاژ مطابق با نتایج به دست آمده و خطای موجود در آزمایش تأثیر چندان معنی داری بر براقیت پوشش ندارند.

٤-٣- سختی

با توجه به نمودار شکل (۳) عامل pH حمام رنگ به ویژه در بالای ۶/۱ تأثیر بسزایی بر سختی پوشش دارد؛ بدین صورت که درpH ۶/۲ با افت محسوس سختی پوشش مواجه هستیم، این اثر را می‌توان این گونه توجیه کرد که pH بالای حمام رنگ باعث بزرگ شدن ذرات رنگ در داخل حمام و افزایش میزان رسوب آن برروی کاتد می شود. رسوب ذرات رنگ با حجم بزرگ بر روی پوشش باعث کاهش امکان ایجاد اتصال شبکه ای مناسب در مرحله پخت پوشش می شود و این امر باعث افت سختی پوشش به دست آمده می‌شود.

همان طور که مشاهده می‌شود در ولتاژ ۳۰۵ ولت به دلیل شدت تولید بالای گاز هیدروژن در کاتد و شدت جریان عبوری بالا شکست و تخریب در پوشش نهایی رخ می دهد که حاصل آن، افت سختی پوشش است.

افزایش درصد پیگمنت های موجود در حمام از ۱/۵ به ۲ در صد باعث افزایش سختی پوشش نهایی می‌شود که دلیل آن ایجاد ترکیب رزین و پیگمنت در پوشش به گونه ای است که با قرار گیری پیگمنت ها در زنجیرهای پلیمری، سختی پوشش افزایش می‌یابد. پس از آن با افزایش درصد پیگمنت ها به دلیل افزایش نسبت پیگمنت به رزین پروسیتی در پوشش ایجاد می شود که به افت سختی پوشش منجر می‌شود.

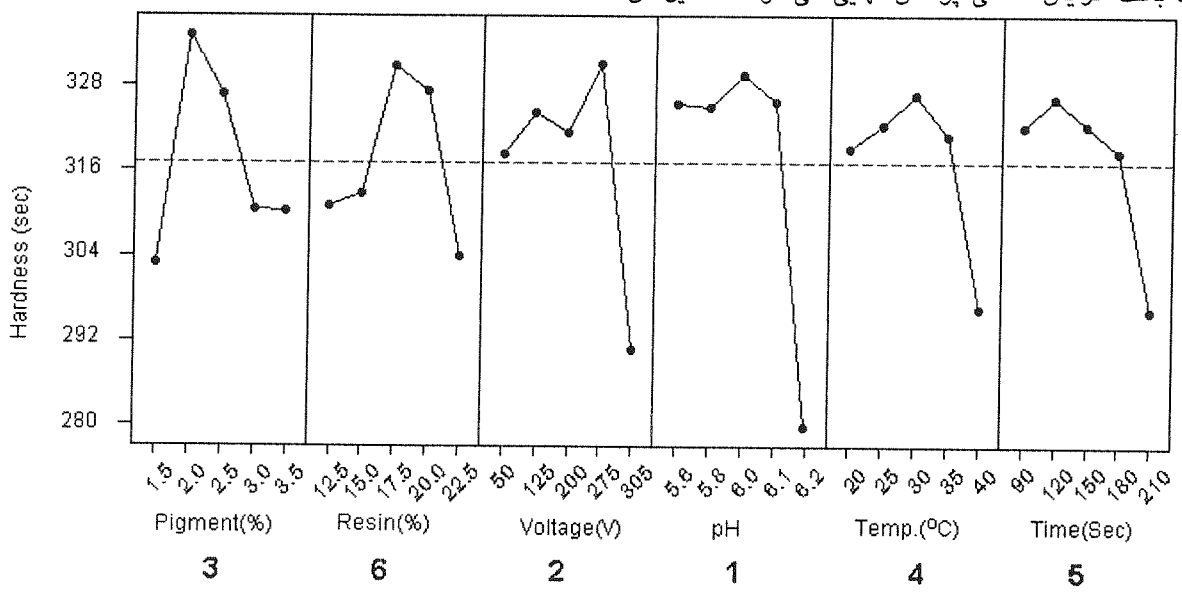
دمای حمام در دمای ۴۰ درجه باعث افت شدید سختی پوشش نهایی می شود و دلیل آن را می توان در ایجاد پوشش با ضخامت بالا و اختلال در ایجاد فیلم با اتصال شبکه ای مناسب در دمای بالا دانست .

همان گونه که در نمودار مشاهده می‌شود زمان ۲۱۰ ثانیه اعمال ولتاژ از آنجا که از یک سو باعث افزایش ضخامت نهایی و همچنین از سوی دیگر باعث ایجاد اختلال در فیلم تشکیل شده می‌شود، سختی نهایی پوشش را کاهش می دهد.

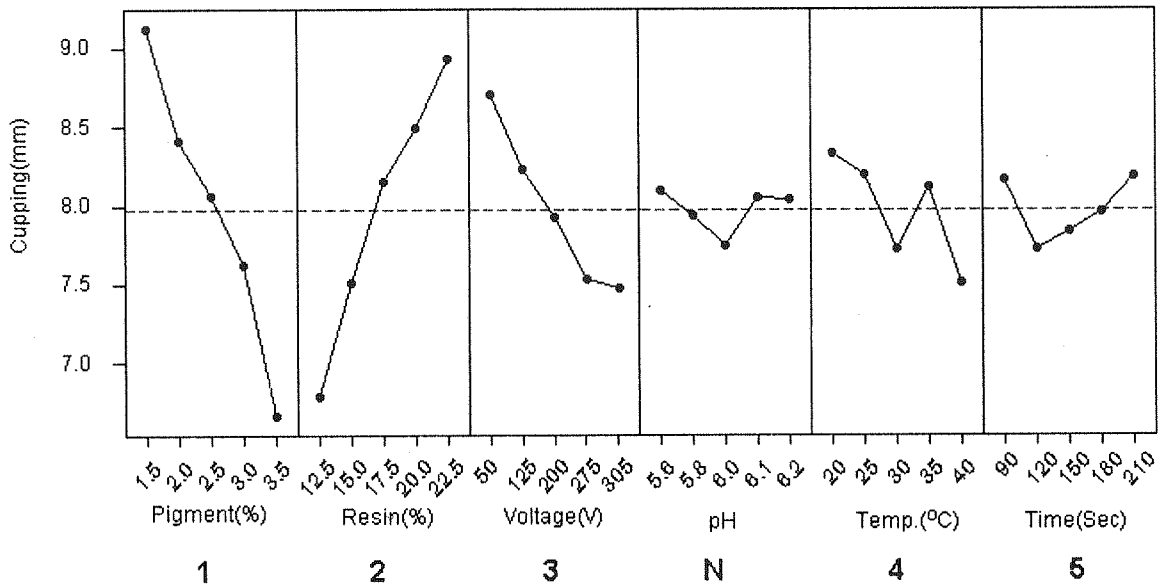
افزایش در صد رزین موجود در حمام از آنجا که باعث افزایش نسبت رزین به پیگمنت و کاهش پروسیتی فیلم نهایی رنگ می‌شود سختی پوشش بهبود می یابد، هر چند در غلظت بالای رزین از آنجا که افزایش نسبت رزین به پیگمنت به دنبال از بین رفتن پروسیتی باعث افزایش جزء پلیمری پوشش می‌شود با نرم شدن پوشش مواجه می‌شویم.

٤-٤- جامی شدن

همان طور که در شکل (۴) مشاهده می شود، با افزایش درصد پیگمنت موجود در حمام به طور معنی داری انعطاف پذیری فیلم نهایی کاهش می یابد که دلیل این امر افزایش پیگمنت های قرارگرفته در زنجیره پلیمری رزین و تاثیر گذاری



شکل (۳): منحنی مقادیر میانگین سختی برای فاکتورها



شکل (۴): منحنی مقادیر میانگین جامی شدن برای فاکتورها

آن بر جزء ویسکوز پوشش و کاهش مدول اتلاف است. به ویژه پس از ایجاد پروسیتی در پوشش به دلیل افزایش غلظت پیگمنت با افت محسوس انعطاف پذیری مواجه می شویم.

از سوی دیگر، افزایش درصد رزین رنگ از آنجا که باعث افزایش جزء پلیمری و مدول اتلاف در پوشش می شود، در نتیجه باعث افزایش میانگین جامی شدن می گردد.

افزایش ولتاژ از آنجا که از یک سو باعث افزایش ضخامت پوشش و از سوی دیگر تولید گاز هیدروژن در کاتد را افزایش می دهد باعث کاهش خاصیت مقاومت در برابر جامی شدن می شود.

دما نیز از آنجا که ضخامت در پوشش را افزایش می دهد باعث تشدید تنش حاصل از جامی شدن و در نهایت افت مقاومت در برابر جامی شدن می شود.

فاکتورهای زمان اعمال ولتاژ و pH تاثیر چندان معنی داری بر خاصیت مقاومت در برابر جامی شدن ندارند.

٤-۵- مقاومت در برابر ضربه

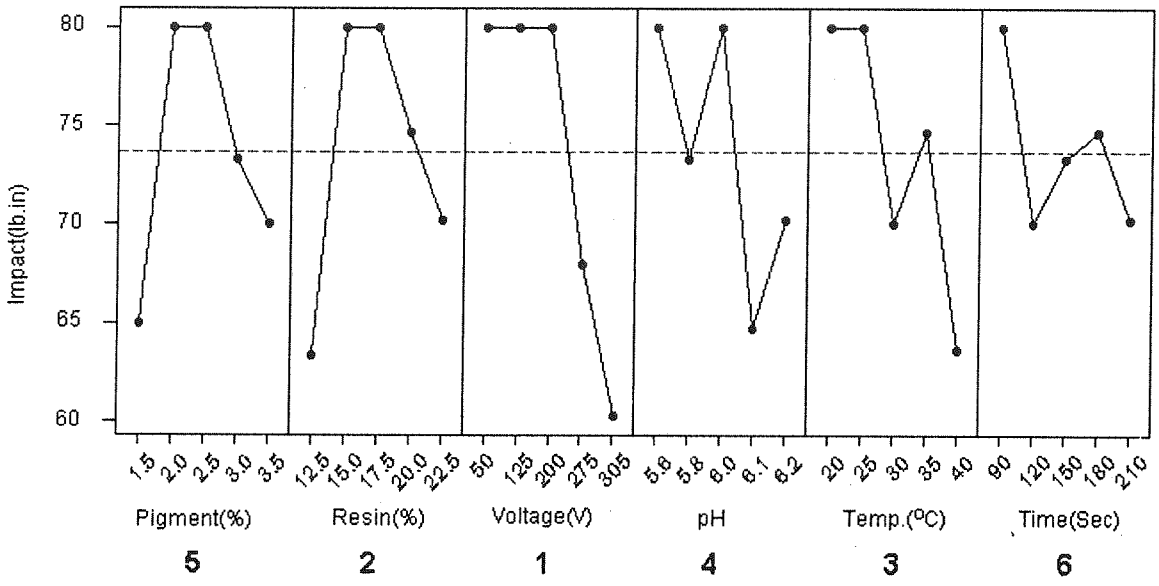
با توجه به نمودار شکل (۵) عامل ولتاژ اعمالی مهم ترین عامل بر روی مقاومت در برابر ضربه پوشش است. در ولتاژهای ۲۷۵ و ۳۰۵ ولت به دلیل شدت زیاد تولید گاز هیدروژن در کاتد و همچنین جریان عبوری بالا امکان ایجاد اتصال شبکه ای مناسب در پوشش کاهش می یابد که به افت چقرمگی پوشش منجر می شود. از سوی دیگر بالا بودن ضخامت نهایی پوشش در ولتاژهای بالا باعث افزایش تنش اعمالی به فیلم بر اثر ضربه می شود.

غلظت رزین موجود در حمام، دومین فاکتور موثر بر خاصیت مقاومت در برابر ضربه است. همان طور که مشاهده می شود با افزایش درصد رزین موجود در حمام رنگ از۱۲/۵ به ۱۵ در صد به شکل محسوسی خاصیت چقرمگی پوشش افزایش می یابد که دلیل آن را می توان به افزایش نسبت رزین به پیگمنت و از بین رفتن پروسیتی پوشش نسبت داد. در غلظت های بالای ۱۵٪ با افت خاصیت مقاومت در برابر ضربه پوشش مواجه هستیم که دلیل آن را می توان در افزایش بیش از حد نسبت غلظت رزین به پیگمنت دانست، به گونه ای که کاهش پیگمنت های قرار گرفته در بین زنجیره پلیمری رزین باعث افت چقرمگی پوشش می شود.

عامل دمای حمام رنگ نیز عامل موثری بر خاصیت مقاومت در برابر ضربه پوشش است به گونه ای که با افزیش دما در حمام رنگ با افت چقرمگی پوشش مواجه هستیم که در دمای ۴۰ درجه این افت بسیار محسوس است. به نظر می رسد از آنجا که افزایش دما باعث افزایش ضخامت نهایی پوشش می شود این افزایش ضخامت نهایی پوشش و افزایش تنش ایجاد شده با ضربه اعمالی باعث افت خاصیت مقاومت در برابر ضربه پوشش می شود، هر چند در دمای ۴۰ درجه با تخریب فیلم نهایی نیز مواجه هستیم که خود عامل موثری در کاهش چقرمگی پوشش می باشد.

در pH بالای ۶ از یک سو با افزایش ضخامت نهایی پوشش مواجه هستیم و از سوی دیگر به دلیل بزرگ بودن ذرات رنگ رسوب کرده امکان تشکیل فیلم با اتصال شبکه ای مناسب کاهش می یابد؛ بنابراین با افت خاصیت مقاومت در برابر ضربه مواجه می شویم .

نسبت پیگمنت موجود در حمام رنگ در محدوده ۲ تا ۲/۵



شکل (۵): منحنی مقادیر میانگین آزمون ضربه برای فاکتورها

در صد یک میزان بهینه برای خاصیت مقاومت در برابر ضربه است، به این صورت که ابتدا افزایش غلظت پیگمنت در حمام باعث افزایش نسبت پیگمنت به رزین در پوشش و افزایش میزان پیگمنت های قرار گرفته در زنجیره های پلیمری می شود که به افزایش چقرمگی پوشش می انجامد و از سوی دیگر در غلظت های بالای ۲/۵ در صد به دلیل ایجاد پروسیتی در پوشش افت خاصیت مقاومت در مقابل ضربه ایجاد می شود.

فاکتور زمان کمترین تاثیر را بر خاصیت مقاومت در برابر ضربه از خود نشان می دهد؛ زیرا همان طور که مشاهده شد زمان اعمال ولتاژ تاثیر چندانی بر ضخامت نهایی پوشش و ساختار فیلم تشکیل شده ندارد.

۵- نتیجه

همان گونه که در نتایج مشاهده شد، عامل ولتاژ اعمالی در بیشتر خواص نهایی پوشش مانند ضخامت، براقیت و خواص مکانیکی پوشش تاثیر محسوسی را ایجاد می کند. نتایج نشان داد افزایش ولتاژ باعث افزایش ضخامت پوشش نهایی می شود هر چند در ولتاژهای اعمالی بالاتر از ۲۷۵ ولت، معمولا با افت محسوس براقیت و خواص مکانیکی مواجه هستیم که علت آن ایجاد پدیده شکست و تخریب پوشش است. از سوی دیگر در ولتاژهای کمتر از ۲۰۰ ولت ضخامت ایجاد شده ناچیز بوده و خواص ظاهر و براقیت مناسبی حاصل نمی شود .

غلظت رزین موجود در حمام فاکتور بسیار مهم دیگر بر براقیت و خواص مکانیکی پوشش است، هر چند این فاکتور تأثیر چندانی بر ضخامت نهایی پوشش ندارد . همان طور که مشاهده شد، افزایش درصد رزین موجود در حمام به طور مستمر باعث افزایش براقیت و انعطاف پذیری پوشش می‌شود، هر چند در غلظت های بالاتر از ۱۷/۵٪ نسبت بالای رزین به پیگمنت در پوشش باعث از دست دادن خواص سختی و چقرمگی پوشش می‌شود. در غلظت‌های کمتر از ۱۵٪ به دلیل پدیده پروسیتی در پوشش با افت شدید براقیت و خواص مکانیکی مواجه هستیم .

غلظت پیگمنت موجود در حمام نیز در تقابل با فاکتور غلظت رزین موجود در حمام تأثیر زیادی بر خواص نهایی پوشش ایجاد می‌کند. این فاکتور نیز تأثیر چندانی بر ضخامت نهایی پوشش ندارد؛ اما تأثیر بسزایی بر براقیت و خواص مکانیکی پوشش ایجاد می‌کند. بجز خاصیت جامی شدن؛ که افزایش غلظت پیگمنت به طور مستمر باعث افت این خاصیت می‌شود، در دیگر خواص ظاهری و مکانیکی با افزایش غلظت پیگمنت از ۱/۵ به ۲ درصد خواص مکانیکی و براقیت بهبود می یابد؛ هر چند با افزایش غلظت پیگمنت به ویژه پس از غلظت ۲/۵ درصد به دلیل ایجاد پروسیتی در فیلم با افت محسوس براقیت و خواص سختی و چقرمگی پوشش مواجه هستیم.

پس از سه فاکتور ذکر شده فاکتور pH حمام رنگ فاکتور مؤثر بر خواص پوشش است. به دلیل کاتدی بودن فرآیند افزایش pH باعث رسوب سریع تر ذرات رنگ بر روی کاتد و افزایش ضخامت فیلم می‌شود. هر چند بزرگی ذرات رنگ در بالای pH ۶ امکان تشکیل شبکه پیوسته در فیلم نهایی را کاهش می دهد و خاصیت سختی و مقاومت در برابر ضربه و براقیت پوشش را با افت مواجه می سازد، این امر در pH ۶/۲بسیار محسوس است.

فاکتور دمای حمام رنگ تأثیری مشابه با اثر pH حمام رنگ دارد، به این صورت که با افزایش دما از ۲۰ تا ۳۵ درجه به دلیل افزایش سرعت حرکت ذرات و نفوذ در لایه مرزی کاتد و همچنین امکان ایجاد فیلم مسطح در دمای بالاتر خاصیت براقیت بهبود می یابد، هر چند در دمای ۴۰ درجه به دلیل اختلال در تشکیل فیلم همگن بر روی کاتد در طول فرآیند با افت براقیت و به ویژه با افت شدید خواص مکانیکی پوشش مواجه می شویم . همچنین همان طور که مشاهده شد در دمای کمتر از ۲۵ درجه به دلیل سرعت پایین حرکت ذرات ضخامت لایه ایجاد شده بسیار ناچیز است.

زمان اعمال ولتاژ در میان فاکتورهای در نظر گرفته شده کمترین تأثیر را بر روی خواص نهایی پوشش از خود نشان داد و به نظر می‌رسد زمان اعمال ولتاژ ۹۰ ثانیه زمان کافی برای پوشش و عایق کردن سطح صفحه آزمایش بوده است. افزایش زمان اعمال ولتاژ تنها در ۲۱۰ ثانیه باعث کمی افزایش در ضخامت نهایی پوشش می‌شود، هر چند در این زمان نیز با افت خاصیت سختی پوشش مواجه می‌شویم .

۶- تقدیر و تشکر

با تشکر فراوان از همکاری آزمایشگاه کنترل کیفیت مرکز بهمن موتور.

۷- مراجع

[۱] YO-Ichiro Suzuki, Progress in organic coatings, 42 (2001) 209.

[۲] V.B.Miskovic-Stankovic, M.D.Marksimovic, Progress in organic coatings, 16 (1988)255

[۳] D.M. Drazic,V.B. Miskovic-Stankovic, Progress in organic coatings, 18 (1990)253

[٤] N. Vatistas, Progress in organic coatings, 33 (1998) 14

[٥] Z. Ranjbar , S. Moradian, Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 219(2003) 147

[٦] Technical Data sheet of Coating and Resins Group P.P.G Company(2002)

[۷] D. Montgomery "Design and Analysis of Experiments" First Public (2000)

[۸] Minitab 13 tutorials (2003 Minitab Inc.)

[۹] P.P.G Analytical Method Electro Coat Test Methods N.G.209.79" Electro Coat Bath Application"(2002)

[۱۰] ASTM standards, VOL 06.01(2003)

[۱۱] International standard ISO 1520 "Paint and Varnish-cupping Test"