

استفاده از تکنیک الکتروفرم روشی متفاوت در دکور شیشه های هنری
USING ELECTROFORMING TECHNIQUE AS AN ALTERNATIVE DECORATING
METHOD IN THE ARTISTIC GLASS

ORCID: 0000-0001-9209-9009 ، آمنه منافی دیزجی

دانشجوی دکتری، هنرهای زیبا، گرایش سفال، دانشگاه آنادلو، اسکی شهیر، ترکیه

دانشگاه هنر اسلامی تبریز

Amaneh MANAFIDIZAJI

خرم منافی دیزجی

دانشجوی ارشد، هنرهای زیبا، گرایش سفال و شیشه، دانشگاه آنادلو، اسکی شهیر، ترکیه

دانشگاه هنر اسلامی تبریز

Khorram MANAFIDIZAJI

چکیده

طی فرآیند الکترولیز تشکیل یک لایه فلزی بر روی یک ماده فلزی دیگر یا روی سطح یک ماده عایق که به طرق خاصی رسانا شده است را تکنیک الکتروفرم میگویند. الکتروکوئینگ در سال 1810 توسط پروفیسور موریتز فون ژا کوبی (Profesör Moritz von Jacobi) کشف شد و از سال 1834 به عنوان تکنیک پوشش روی فلز استفاده شده است. پوشش مواد عایق با مواد رسانا پس از سال 1961 متداول شد. هدف اصلی از پوشش یک سطح با یک رسانا تغییر خواص سطح، افزایش مقاومت در برابر خراش دادن و ضربه، افزایش مقاومت در برابر اکسیداسیون و مواد شیمیایی و ایجاد زیبایی بصری در سطح است. مطالعات در این زمینه محدود به استفاده های کاربردی فنی نیست، بلکه در زمینه های هنری نیز امکان کاربرد یافته است. امروزه سطوح مواد نارسانا و عایق مانند شیشه و سرامیک های هنری می تواند با استفاده از روش های مختلف الکترولیز با فلزات گرانبها مانند طلا، نقره و مس پوشش داده شود. خصوصیات ماده ای که برای رسانا کردن سطح نارسانا به کار می رود بر مورفولوژی سطح (بافت)، رنگ و کیفیت لایه ی پوششی تاثیر می گذارد. هنرمندان مشهور با استفاده از مواد رسانای مختلف از قبیل فلزات مایع و یا پودر فلزات با بکار بردن تکنیک الکتروفرم، آثار هنری شیشه ای با ارزشی خلق کرده اند. در این مطالعه، سطح کارهای شیشه ای هنری با گرافیت رسانا شده و با فلز مس و با استفاده از تکنیک الکتروفرم آثار هنری ارزشمندی به دست آمد.

کلمات کلیدی

شیشه هنری، الکتروفرم، پوشش، فلز، مواد رسانا.

ABSTRACT

Electroforming is a method of forming a layer of metal by electrolysis on the surface of conductive materials or metalized insulator materials. Electrocoating was discovered by Prof. Maritzvan Jacobi in 1810 and then after 1834 this technique was used as coating technique on the metals. Coating of insulating materials with conductive materials became common after 1961.

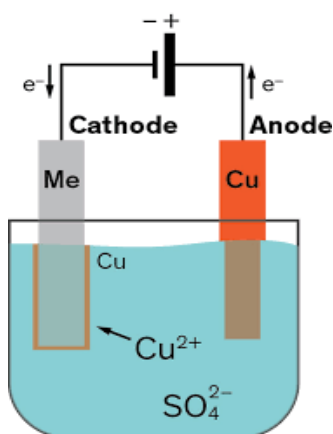
The main purpose of the technique is changing the properties of the surface in order to increase its resistance against oxidation and chemicals effect and maximize surface durability against scratch and mechanical forces. Beside the mentioned factors, creating esthetic appearance is one of the most important aims in the coating. Studies in this area is not limited to technical uses, but is used in the field of art. Today, non-conductive and insulating

materials such as glass and art ceramics can be coated using various electrolytic methods with precious metals such as gold, silver and copper.

1 – مقدمه

تکنولوژی مدرن در زمینه های صنعتی، مهندسی و زمینه های هنری روشهایی از قبیل PVD, CVD، پلاسما و غیره را برای پوشش سطحی متریالهای مختلف ایجاد کرده است [1]. از بین سیستم های مختلف پوشش فلزات، تکنیک الکتروفرم، مزیت های بیشتری برای اهداف هنری را فراهم می کند. تکنیک الکتروکوتینگ که عموماً به عنوان (electroforming, electroplating) نامیده می شود یک روش پوشش لایه نازک از فلز روی سطح یک ماده رسانا است. این تکنیک فرآیند پوشش ذرات (یون) فلز با بار مثبت به یک جسم رسانا با بار منفی در یک محلول و تحت جریان الکتریکی است [2-4]. همانطور که در تصویر شماره 1 مشاهده می شود، این تکنیک معمولاً در سیستمی با دو الکترود انجام می شود. بزرگترین مزیت روش الکتروفرم در مقایسه با سایر تکنیک های پوشش این است که مناسب برای پوشاندن حجم های بزرگ و اشکال پیچیده ای است که نمی توان با سایر تکنیکهای کوتینگ پوشش داد [2].

برخی از هنرمندان نیز این تکنیک را به عنوان یک روش تزئینی برای ایجاد یک سطح براق و یا افکت پتینه در آثار هنری شان ترجیح می دهند [5-7].



شکل (1): سیستم الکتروفرم با فلز مس

<http://blog.dowelectronicmaterials.com/~media/blogelectronicmaterialscom/posts/2016/11/cooper-electroplating-fundamentals/figure1.ashx?la=en>

2 – تجهیزات مورد استفاده و مراحل الکتروفرم

2 – 1: مواد و تجهیزات مورد استفاده

الکتروفرم فلزات مختلف نیاز به مواد شیمیایی خاص و مراحل تجربی متفاوت دارد، اما اکثر تجهیزات به طور کلی یکسان هستند. تجهیزات بنیادی و بسیار مهم برای الکتروفرم (الکتروفرم مس) عبارتند از: منبع انرژی و لوازم جانبی، گیره و مجموعه کابل، دماسنج، سیم و صفحه مسی، بشر، کاغذ فیلتر، مواد رسانای الکتریکی مانند رنگ یا گرافیت، الکترولیت و تجهیزات آزمایشگاهی [2, 8, 9]. شکل 3 تجهیزات لازم برای الکتروفرم مس را نشان می دهد.



شکل (3): تجهیزات لازم برای الکتروفرم مس .

<https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/a1/b0/64/a1b0643d7e898957834f33092b814d5a.jpg>

الکترولیتهایی که در فرآیند الکتروفرم استفاده می شود برای فلزات مختلف ترکیبات متفاوتی دارد و بسیاری از این سیستم ها به صورت تجاری قابل دسترسی هستند. ساده ترین و رایج ترین الکترولیت برای الکتروفرم مس محلول اسیدی شامل: اسید سولفوریک ، سولفات مس ، کلرید و آب مقطر است [9-12].

علاوه بر این مواد شیمیایی مهم، برخی مواد دیگر به عنوان فعال کننده ، براق کننده و برای جلوگیری از زبری سطح نهایی، به محلول الکترولیت اضافه می شوند. این مواد اضافی را می توان برای اهداف مانند تغییراندازه هسته در سطح کاتد در طول فرآیند کوتینگ، تسریع انتقال ذرات و در نتیجه افزایش سرعت کوتینگ استفاده کرد [10] .

2-2- مراحل الکتروفرم

بسته به بافت و افکت مورد نظر، مراحل طی شده توسط هنرمندان ممکن است متفاوت باشد، اما به طور کلی روند مشابهی دنبال می شود و این به ترتیب زیر انجام می شود:

آماده سازی سطح

همانطور که اشاره شد، سرامیک و شیشه به طور کلی از نظر الکتریکی نارسانا هستند، بنابراین برای انجام الکتروفرم این سطوح باید با یک لایه رسانای الکتریکی پوشیده شوند . برای این منظور، روش های مختلف و موادی مانند پودر گرافیت، رنگ رسانا، خمیر رسانا و یا روشهای شیمیایی مختلف وجود دارد [8, 13-15]. در این مطالعه پودر گرافیت برای رسانا کردن سطح شیشه و ایجاد بافت هنری استفاده شده است.

ابتدا ماده رسانا را به قسمتهایی که قرار است با انجام الکتروفرم با فلز پوشیده شود با قلم مو و یا اسپری کردن و یا با فرو بردن در ماده مورد نظر به روی سطح مالیده می شود.

انجام الکتروفرم

بعد از اینکه سطح شیشه، الکترولیت و مواد دیگر آماده شد می توان الکتروفرم را انجام داد.

برای شروع کوتینگ باید آند (ورقه مس) و کاتد (شیشه) در الکترولیت غوطه ور شود. در طی فرایند ، الکتروود مثبت منبع انرژی به ورقه مس متصل می شود و الکتروود منفی به شیشه که رویش با فلز مس پوشانیده می شود وصل می شود. توصیه می شود که کوتینگ را با سرعت آهسته انجام شود تا سطح مس مسطح، صاف و براق شود. با تغییر دادن شدت جریان یا ولتاژ ممکن است بافت یا رنگ مورد نظر ایجاد شود. تغییر شدت جریان و ولتاژ در این مطالعه بررسی شده است. بسته به اندازه جسمی که پوشش داده شده و ضخامت لایه فلزی، پوشش صاف و براق می تواند به مدت 10 ساعت یا بیشتر به طول بیانجامد.

اتمام و فینیشینگ

هنگامی که بافت و ضخامت مورد نظر به دست آمد، جسم از محلول خارج می شود و با آب سرد و سپس با آب گرم شسته می شود. سطح جسمی که از الکترولیت خارج می شود یک سطح مات است. سطح را با استفاده از روش های مکانیکی یا مواد شیمیایی می توان براق کرد و یا با روشهای پتینه سطحی شبیه اشیاء قدیمی بدست آورد. میتوان الکتروفریم را با فلزات دیگر از قبیل نقره یا طلا ادامه داد [7, 8].

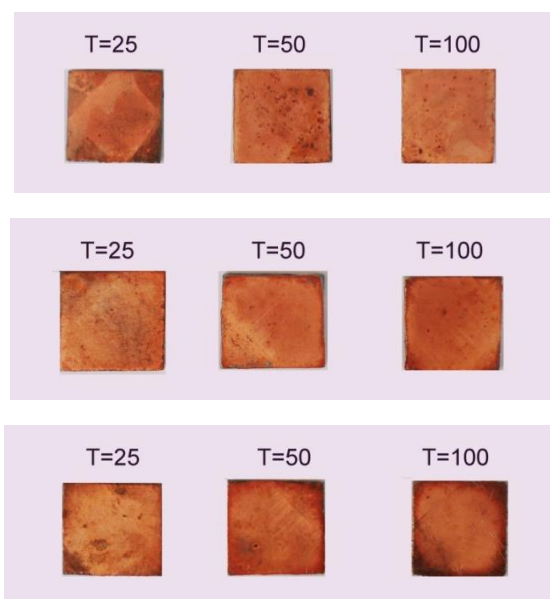
3 – مطالعات تجربی

در این مطالعه، در ابتدا سطوح شیشه ای مسطح و ناصاف با استفاده از مواد مختلف رسانا به منظور ایجاد آثار هنری رسانا شدند. پودر گرافیت به اندازه کافی رسانا و مناسب برای ایجاد بافت روی سطح شیشه است، به عنوان ماده رسانا برای متالیزه کردن سطح استفاده شده است و مس به دلیل دسترسی آسان و هزینه کم به عنوان فلز پوشش انتخاب شده است. همانطور که در بالا توضیح داده شد، بعد از اینکه سطح مورد نظر و تجهیزات دیگر آماده شد، فرایند الکتروفریم با تغییر ولتاژ، شدت جریان و زمان کوتینگ انجام شد و تمام پارامترها دیگر ثابت نگه داشته شد.

در این مطالعه، آزمایشات اولیه الکتروفریم بر روی سطح شیشه به شرح زیر انجام شد.

3 – 1 - تغییرات ولتاژ

اولین آزمایشات روی سطح شیشه ای با اندازه های $3\text{ cm} \times 3\text{ cm} \times 5\text{ mm}$ ساخته شد. شیشه ها با گرافیت پوشیده شده و پس از خشک شدن الکتروفریم مس انجام شد. متغیرهای دیگر برای کنترل تغییر پارامترهای زمان و ولتاژ ثابت نگه داشته شد. قسمت اول آزمایش با تغییر ولتاژ در فواصل زمانی 25 دقیقه، 50 دقیقه، و 100 دقیقه با ولتاژ پایین، متوسط و ولتاژ بالا انجام شد و نتایج در شکل 4 نشان داده شده است.

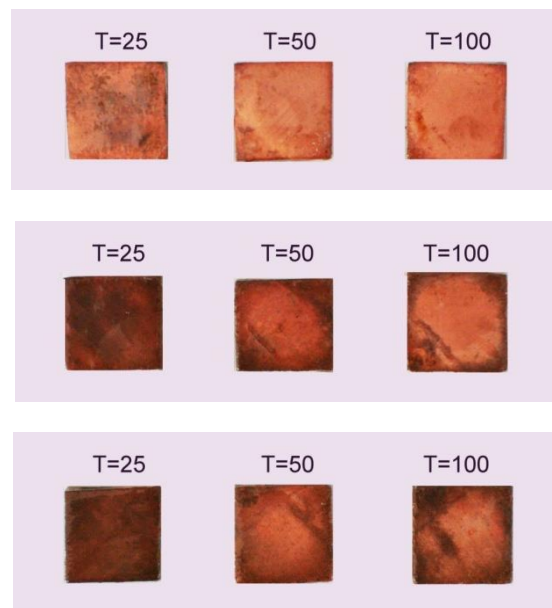


شکل (4): نتایج الکتروفریم روی شیشه با تغییر ولتاژ و زمان. از بالا به پایین: ولتاژ پایین، ولتاژ متوسط و ولتاژ بالا.

آزمایشات با تغییر ولتاژ نشان داد که بهترین نتایج در الکتروفرم با ولتاژ متوسط و زمان 50 تا 100 دقیقه انجام شد. در الکتروفرم با این پارامترها سطح گرافیت به طور همگن با فلز مس پوشیده شد و سطح فلزی، ضخیم، براق و نسبت به نمونه های دیگر صاف تر بود.

3-2- تغییرات شدت جریان

دومین گروه از آزمایشات با تغییر شدت جریان و زمان و آزمایشات در شرایط یکسان با گروه ولتاژ انجام شد. در آزمایش های شدت جریان، سطوح به طور کلی تیره تر و دانه های کریستال تشکیل شده درشت تر از گروه ولتاژ بود (شکل 5).



شکل (5): نتایج الکتروفرم روی شیشه با تغییر شدت جریان و زمان. از بالا به پایین: آمپراژ پایین، آمپراژ متوسط و آمپراژ بالا.

جالب ترین رویداد در آزمایش های انجام شده توسط تغییر پارامترهای آمپر؛ شکل گیری سایه های مختلف تیره روی سطح و تشکیل اولین سطح سیاه در نتیجه الکتروفرم برای 25 دقیقه در شدت جریان متوسط و بالا بود. براق ترین سطح همگن و صاف در آمپراژ پایین و برای زمانهای 50 و 100 دقیقه به دست آمد.

با استفاده از تجربه های بدست آمده از آزمایشات و تحقیقات انجام شده آثار هنری از الکتروفرم مس روی شیشه ساخته شده است. در این آثار بافت و رنگ مورد نظر با گرافیت و تغییر ولتاژ و شدت جریان حاصل گردید. شکل 6 نمونه ای از این آثار را نشان میدهد.



شکل (6). آمنه منافعی دیزجی، 2015 ، عنوان اثر " مرد – زن"، تکنیک الکتروفرم مس روی شیشه فرم داده شده در قالب .

با توجه به اینکه تکنیک الکتروفرم روی شیشه در دسته ی تزیینات روی شیشه سرد است ، علاوه بر فرمهای قالبی روی شیشه های هنری فوتی و یا شیشه های تولید شده با روشهای صنعتی نیز میتوان به عنوان تزیین استفاده کرد . شکل (7) و (8) نمونه ای از کاربرد این تکنیک روی شیشه ی فوتی است .



شکل (7). آمنه منافى ديزجى، 2015 ، عنوان اثر " از طبيعت "، تکنیک الکتروفرم مس روی شیشه شکل داده شده به روش فوتی



شکل (8). آمنه منافى ديزجى، 2018 ، عنوان اثر " بدون عنوان "، تکنیک الکتروفرم مس روی شیشه شکل داده شده به روش فوتی

روش الکتروفرم، یک روش پوشش سطوح رسانا با فلزات مختلف است. در سال های اخیر، هنرمندان شیشه با استفاده از این تکنیک آثار هنری مختلف را با ترکیبات شیشه و فلز خلق کرده اند .

در این پژوهش ابتدا سطح آثار هنری شیشه ای با پودر گرافیت به حالت رسانا در آمده است. و با تغییر ولتاژ و شدت جریان و بافت ، رنگ دلخواه در سطح فلزی به دست آمد. از نتایج الکتروفرم با ولتاژ، مناسب ترین ولتاژ با ولتاژ متوسط و در بازه ی زمانی 50 دقیقه و 100 دقیقه به دست آمد. و با استفاده از تغییر شدت جریان نتایج ایده آل با آمپراژ پایین و در بازه ی زمانی 50 دقیقه و 100 دقیقه انجام شد.

در ولتاژ و آمپراژهای بالاتر رنگ سطح فلزی به رنگهای قهوه ای تیره و سیاه دیده می شود. همچنین با درشت تر شدن دانه های کریستالی تشکیل شده سطح زبر تر و شکننده تر می شود.

منابع

1. Majumdar, A. and S. Jana, *Glass and glass-ceramic coatings, versatile materials for industrial and engineering applications*. Bulletin of Materials Science, 2001. **24**(1): p. 69-77.
2. Kanani, N., *Electroplating: basic principles, processes and practice*. 2004: Elsevier.
3. Caswell, *Electroplating 101 Metal Anodizing Plating*.
4. Gorodetsky, M. and A. Singerman, *Electroforming: An improvised experiment on electroplating*. J. Chem. Educ, 1980. **57**(7): p. 514.
5. Fowle Meleney, K. *Electroforming on beads*.
6. La-Niece, S., *Metal plating and patination: cultural, technical and historical developments*. 2013: Elsevier.
7. Fowle Meleney , K., *Small scale electroforming for the studio artist*. 2009.
8. Untracht, O., *Metal techniques for craftsmen: a basic manual for craftsmen on the methods of form ing and decorating metals*. 1968: Doubleday Company.
9. Bray, C., *Dictionary of glass: materials and techniques*. 2001: University of Pennsylvania Press.
10. Dini, J.W., *Electrodeposition*. 1993: Noyes Publications.
11. Durney, L.J., *Electroplating Engineering Handbook—Fourth Edition, edited by and published by Van Nostrand Reinhold Company*. New York, 1984.
12. Mohanty, U.S., *Electrodeposition: Properties, Processes and Applications*. 2012, Hauppauge, UNITED STATES: Nova Science Publishers, Inc.
13. Lowenheim, F., *Guide to the Selection and Use of Electroplated and Related Finishes*. 1982: ASTM International.
14. Manafidizaji, A., *Artistik cam uygulamalarında elektrokaplamanın kullanımı*. 2015, Anadolu Eskişehir : Anadolu Üniversitesi. p. 84.
15. Günkaya, G. and A. Manafidizaji, *The Application of Electroforming on the Artistic Glass Work*. III. International, Ceramic, Glasses, Porelain, Enamle, Glaze and Pigment Congress, 2014.