



بررسی عوامل مؤثر بر ساخت لعاب زرین فام با تکیه بر دما و ضخامت لایه مینایی

مهناز محمدزاده میانجی^{۱*}، حسین قصابی^۲

۱- مربی، دانشکده هنر، دانشگاه الزهراء^(س)، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۹۹۳۵-۶۵۶

۲- مربی، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۱۶۳

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۸۹/۶/۶ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۰/۳/۲۰

چکیده

ساخت لعاب‌های زرین فام در ایران از قرن چهارده میلادی به بوته فراموشی سپرده شده است ولی عده کثیری از هنرمندان معاصر علاقمند به احیای این هنر می‌باشند. در این پژوهش توجه خاص به عوامل مؤثر بر ساخت لعاب زرین فام شده است. نتایج نشان می‌دهد که ترکیب، دما، شدت و گستره زمان احیاء و ضخامت لایه خام اعمالی از مؤثرترین عوامل در تشکیل پدیده زرین فام می‌باشند. سنجش دمایی تجزیه مواد اولیه به کمک DTA/TG محدوده مناسب دمایی ۵۰۰-۶۰۰ درجه سانتی‌گراد را برای پخت لایه زرین فام تأیید می‌کند. در این تحقیق از لعاب کاشی صنعتی به عنوان پایه و از چوب گردو برای ایجاد احیا هنگام پخت استفاده شد. تحقیقات نشان داد که برای رسیدن به لایه زرین فام پخته مطلوب ضخامت لایه خام نقش مهمی را ایفا می‌کند که بسته به نوع و ترکیب مینا متغیر است. تشخیص داده شد که از بین میناهای M_1 ، M_2 و M_3 بررسی شده، M_1 و M_2 مناسب‌ترند و توسط آن‌ها زرین فام طلایی قزح‌سان و زرین فام طلایی یک دست حاصل می‌شود.

واژه‌های کلیدی: لعاب احیایی، مینا، زرین فام.

Preparation of Zarrin Faam Glaze (luster Glaze) and Study of Effective Factors on Creation of Enamel Layer with Emphasize on Influence of Temperature and Thickness

M. Mohammadzadeh Mianji^{*1}, H. Ghassai²

¹ Faculty of Art, Alzahra University, P.O. Box: 19935-656, Tehran, Iran.

² School of Metallurgy and Materials Engineering, Iran University of Science and Technology, P.O.Box: 16765-163, Tehran, Iran

Abstract

Produce of Persian luster ware is doing inactive since about 14. century. Many of contemporary ceramists are interested to alive the forgotten fantastic and beautiful Iranian art. This research studies different factors, which have influence of successful processing luster enamel such as temperature, thickness of unburned layer and intensity and term of reduction. The differential thermal analyses (DTA) and thermo gravimetry (TG) diagrams of raw materials shows that the best range of reduction temperature should be 500-600°C. Industrial opaque glaze is a suitable basic glaze for luster enamel and wood of walnut can be a helpful reduction agent to produce an acceptable luster enamel. Thickness of unfired luster layer was a important factor to realize the effect and shining of luster by different enamel composition. Between three composition (M_1 , M_2 and M_3) the best results belong to M_1 and M_2 , which could create golden and iridescent luster. J. Color Sci. Tech. 5(2011), 35-42 © Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Reduction glaze, Enamel, Zarrin faam.

۱- مقدمه

در بین روش‌های تزئین لعاب، پدیده زرین‌فام به واسطه درخشندگی و انعکاس رنگین کمانی تحسین همگان را برانگیخته و ذهن محققین را به تفحص در علل بروز چنین پدیده‌ای معطوف داشته است.

میناهای زرین فام که معروف به لعاب‌های زرین‌فام می‌باشند و تاریخچه تقریباً هزار ساله دارند در قرون هفتم و هشتم هجری تحت عنوان «دوآتشه» و یا «لیقه» در ایران رونق گرفتند. در دستورالعمل مکتوب ابوالقاسم کاشانی به تکنیک ساخت زرین‌فام در قرن هفت هجری قمری پرداخته شده است [۱]. نویسنده که از خانواده ابوطاهر است و حداقل چهار نسل در تولید کاشی‌های پوشیده شده با لعاب زرین‌فام در کاشان فعال بودند، مشاهدات خود را در کتاب "عرایس الجواهر و نفایس الاطایب" جمع‌آوری نموده است. اخیراً تحقیقات حائز اهمیتی در زمینه ساخت لعاب‌های احیایی رو لعابی (زرین‌فام مینایی) و درون لعابی صورت گرفته است [۲-۴]. محققین امروزه پژوهش خود را معطوف به علت بروز پدیده زرین‌فام در نمونه‌های باستانی نموده‌اند که در سطح لعاب در اثر حضور فلزاتی چون نقره، بیسموت و... در اندازه نانو ظهور می‌کند [۵-۱۱].

لایه‌های مینایی زرین‌فام باستانی اکثراً روی لعاب‌های سربی پشت پوش^۱ شده با اکسید قلع اعمال شده‌اند. بدیهی است به دلیل عدم حضور عوامل احیاء کننده در ترکیب میناهای زرین‌فام باید برای ترکیبات فلزی موجود در ترکیب آتمسفر کوره هنگام پخت احیایی باشد. حضور اتصالات ضعیف در شبکه لعاب‌ها مفید است زیرا در هنگام احیاء به اتم‌ها و یون‌های فلزی حاصل از تجزیه نمک‌های فلزات اجازه ورود به شبکه را می‌دهند که پدیده زرین‌فام مینایی را تقویت می‌کند. در تضعیف شبکه عمدتاً اکسیدهای گدازآور نظیر سدیم، پتاسیم، لیتیم، سرب و به صورت محدود اکسید بور نقش دارند [۲].

در گذشته تصور می‌شد که حضور نانو ذرات فلزی و یون نقره در شبکه شیشه‌ای لعاب باعث ظهور رنگ طلایی در لایه زرین‌فام می‌شوند و در صورتی که نانو ذرات فلزی و یون مس در شبکه موجود باشند رنگ حاصل قرمز می‌شود. مطالعات روی زرین‌فام‌های متعلق به قرن ۴ و ۷ هجری قمری (۱۰ و ۱۳ میلادی) با XRF و SEM-EDS نشان داد که ظهور رنگ به حضور فلز خاصی ارتباط ندارد و در زرین‌فام‌های طلایی و قرمز ۱ تا ۳ درصد وزنی نقره و مس در جوار یکدیگر حضور دارند [۳].

اصولاً میناهای زرین‌فام در حضور نمک‌های فلزی به همراه رس‌های حاوی اکسید آهن و یا سایر ترکیبات آن (اخرا) به وجود

می‌آیند. برای تهیه این نوع میناها معمولاً نمک فلز با نسبت وزنی ۱ به ۳ با اخرا یا رس‌های غنی به اکسید آهن با مایع مناسب مخلوط شده و سپس روی لعاب اعمال می‌شوند [۱۲].

برای ظهور پدیده زرین‌فام، سولفید، نیترات و کلرید فلزات به دلیل دمای تجزیه مناسب برای احیاء آمادگی بیشتری را دارند و در اولویت قرار دارند. بر عکس اکسید و کربنات فلزات در محیط احیایی مناسب نمی‌باشند. تجربه نشان می‌دهد که سولفید فلزات بهترین نتایج را در بر دارند. احیای ترکیبات فلزی به تنهایی و بدون حضور رس‌های حاوی اکسید یا ترکیبات آهن (اخرا) به آسانی انجام نمی‌شود. حضور یک بستر رسی تأثیرات مفیدی را در بروز پدیده زرین‌فام دارد که از بین آن‌ها می‌توان به نقش رس در توزیع خوب ترکیبات فلزی اشاره کرد زیرا به این ترتیب آن‌ها نسبت به تأثیر احیاء حساس‌تر می‌شوند. بستر رسی همچنین در مراحل اولیه پخت از حل شدن ترکیبات فلزی در بخار آب موجود در اتمسفر کوره جلوگیری می‌نماید. اکسید آهن سه ظرفیتی موجود در اخرا که در اتمسفر احیایی به اکسید آهن دو ظرفیتی تبدیل می‌شود تله‌ای است برای به دام انداختن اکسیژن و از رسیدن آن به لایه مینایی زرین‌فام پخته در حین سرد شدن جلوگیری می‌نماید. حضور ترکیبات بیسموت، جیوه، آنتیموان، کلسیم و روی نقش کمک ذوب را در لایه خام اخرای ایفا نموده و باعث می‌شوند که واکنش بین لایه زرین‌فام مینایی و لعاب در دمای کمتر صورت گیرد [۱۳].

در این پژوهش هدف احیا و ساخت لعاب زرین‌فام که ساخت آن زمانی در ایران پر رونق بوده و تکنیک آن به حد کمال رسیده و به مرور زمان به بوته فراموشی سپرده شده است، می‌باشد. دسترسی به فرمولاسیون مناسب هدفی است که در این تحقیق دنبال شده و همزمان به بررسی دلیل ناکامی سایر محققین در رسیدن به پدیده زرین‌فام نیز پرداخته شده است. نتیجه‌ها نشان می‌دهد که توجه به دو عامل مهم دمای پخت و ضخامت لایه زرین‌فام خام قبل از پخت حائز اهمیت است.

۲- بخش تجربی

۱-۲- مواد

نیترات‌های مورد استفاده در این پژوهش از نوع آزمایشگاهی و سایر مواد اولیه از نوع صنعتی بودند. لعاب انتخابی برای اعمال مینای زرین‌فام لعاب قلیایی بوردار پشت‌پوش شده توسط زیرکن اعمال شده و پخته روی کاشی دیواری تولید یکی از صنایع داخلی بود.

۲-۲- روش کار

تعیین خلوص مواد اولیه به روش XRF به کمک دستگاه فیلیپس مدل PW-1480 انجام شد.

1- Opaque

۳- نتایج و بحث

نتایج آزمون XRF مواد اولیه در مقایسه با مقادیر محاسبه شده (تئوری) آن‌ها خلوص بالای نیترات‌ها را تأیید می‌نماید (جدول ۲). نمودارهای XRD حضور فاز $\text{Bi}_6\text{O}_4(\text{NO}_3)_5(\text{OH}) \cdot 0/5\text{H}_2\text{O}$ در نیترات بیسموت (شکل ۱)، فاز $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ در نیترات مس (شکل ۲) و فازهای FeO (Wustite)، SiO_2 (Quartz)، Fe_2O_3 (Hematite) و میکا ($\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) را در اخرا (شکل ۳) تأیید کردند. لازم به یادآوری است که اخرا ماده اولیه‌ای با کاربرد گسترده در سرامیک سنتی است. حضور FeO در اخرا و Fe_2O_3 که در محیط احیاء به FeO تبدیل می‌شود به هنگام سرد شدن از نفوذ اکسیژن در دماهای بحرانی کاسته و از برگشت واکنش‌های انجام شده حین پخت لایه زرین فام پدیدار شده جلوگیری می‌نماید.

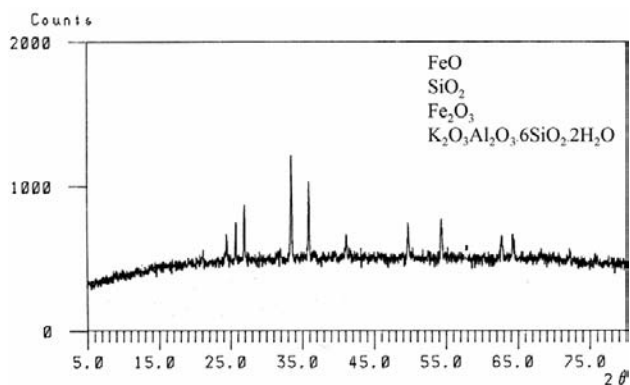
آزمون فازی برخی از مواد اولیه به روش XRD انجام شد که برای این منظور از دستگاه Jeol مدل JDJ-803 بهره گرفته شد. با توجه به اهمیت و نقش دمای تجزیه مواد اولیه در ساخته شدن مینای زرین فام، انجام آزمون حرارتی (DTA/TG) برخی از مواد اولیه با استفاده از دستگاه STA 1500 صورت گرفت. سه لایه مینایی زرین فام با کد و ترکیب آورده شده در جدول ۱ انتخاب و ساخته شدند. دو غاب میناهای زرین فام M_1 و M_2 با نسبت وزنی ۲ به ۵ (مینا به سرکه خانگی) با ضخامت ۱۰۰ میکرون و M_3 با نسبت وزنی ۲ به ۳ (مینا به آب شهر) و ضخامت ۲۰ میکرون روی لعاب پخته کاشی اعمال گردیدند. پخت میناها در کوره الکتریکی صورت گرفت و از چوب برای ایجاد شرایط احیایی استفاده شد.

جدول ۱: ترکیب میناهای انتخابی.

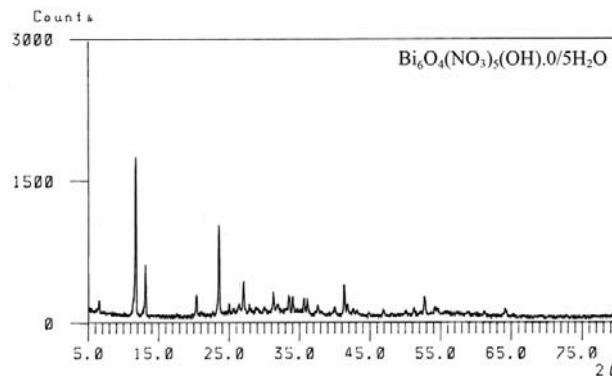
مواد اولیه	ترکیب %		
	M_3	M_2	M_1
نیترات نقره	۳,۸	۱۲	۲
نیترات مس	-	-	۲۸
نیترات بیسموت	-	۳	-
اخرا	-	۸۵	۷۰
ارسنیک	۴۳	-	-
پیریت	۲۸,۷	-	-
سولفات آهن	۱۳,۹	-	-
اکسید مس	۶,۹	-	-
کربنات سدیم	۳,۷	-	-

جدول ۲: ترکیب مواد اولیه مورد استفاده در میناها.

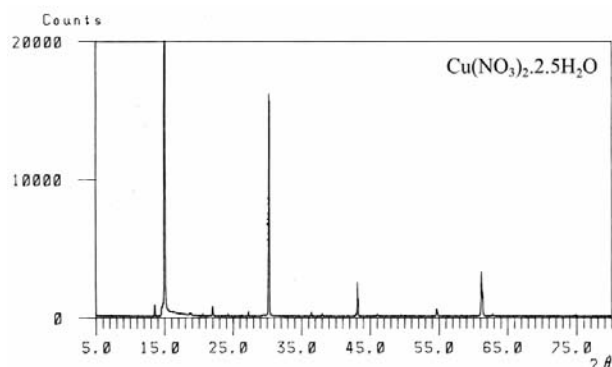
ماده اولیه	CuO	Fe_2O_3	Ag_2O	Bi_2O_3	SO_3	MgO	SiO_2	Al_2O_3	CaO	L.O.I
نیترات نقره	-	-	۶۸,۲۰	-	-	-	-	-	-	۳۱,۷۹
AgNO_3 (تئوری)	-	-	۶۸	-	-	-	-	-	-	۳۲
نیترات مس	۲۶,۶۱	-	-	-	۰,۱۵	-	-	-	-	۷۳,۰۷
$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (تئوری)	۲۷	-	-	-	-	-	-	-	-	۷۳
نیترات بیسموت	-	-	-	۴۷,۹	-	-	-	-	-	۵۱,۹۴
$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (تئوری)	-	-	-	۴۸	-	-	-	-	-	۵۲
اخرا	-	۴۹,۹۶	-	-	۴,۰۷	۶,۷۶	۲۳,۷۰	۴,۸۵	۴,۲۷	۴,۸۰



شکل ۳: نمودار XRD اخرا.



شکل ۱: نمودار XRD نیترات بیسموت.

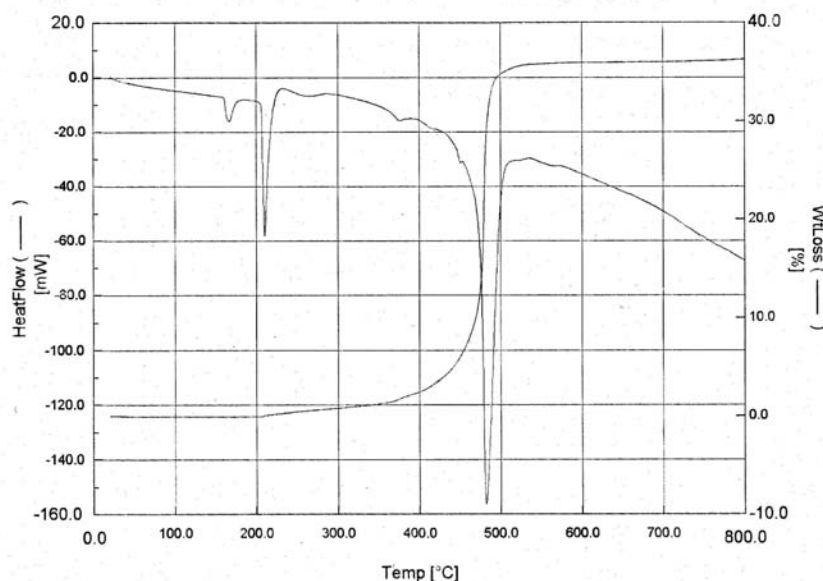


شکل ۲: نمودار XRD نیترات مس.

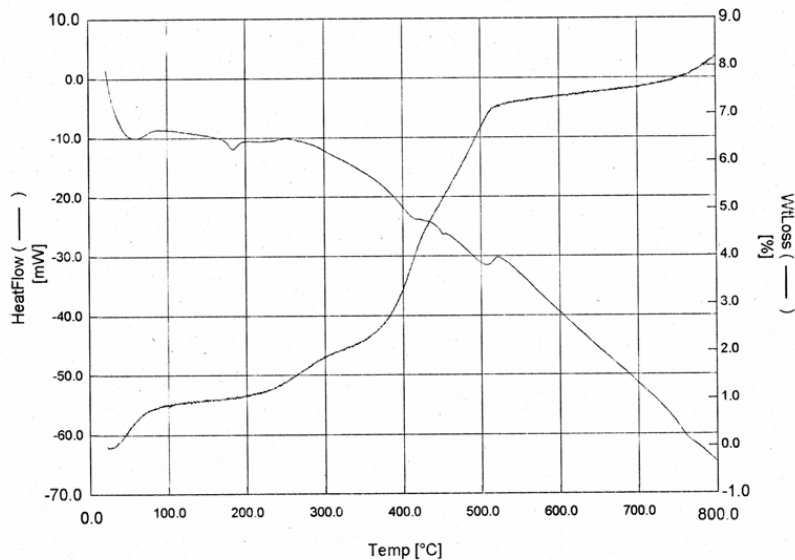
خروج احتمالی آب مربوط باشد. پیک‌های نمودار TG واکنش اصلی را در محدوده دمایی ۵۰۰ - ۴۰۰ °C نشان می‌دهد. این واکنش به تشکیل اکسید نقره در اثر تجزیه نیترات نقره با کاهش وزن حدود ۳۰٪ در این دما مربوط می‌شود. مقایسه این کاهش وزن با L.O.I تجزیه شیمیایی که تقریباً همخوانی دارد، ارتباط این کاهش وزن را با تجزیه نیترات نقره را تأیید می‌نماید.

در بررسی پیک‌های نمودار DTA نیترات بیسموت در شکل ۵ مشاهده می‌شود که واکنش اصلی در محدوده دمایی ۵۵۰ - ۲۵۰ °C به همراه یک واکنش ضعیف در دمای ۵۰۰ °C به وقوع پیوسته است. واکنش اصلی به احتمال زیاد مربوط به تجزیه نیترات است. نمودار TG در کل کاهش وزن حدود ۸٪ را تا دمای ۸۰۰ °C نشان می‌دهد.

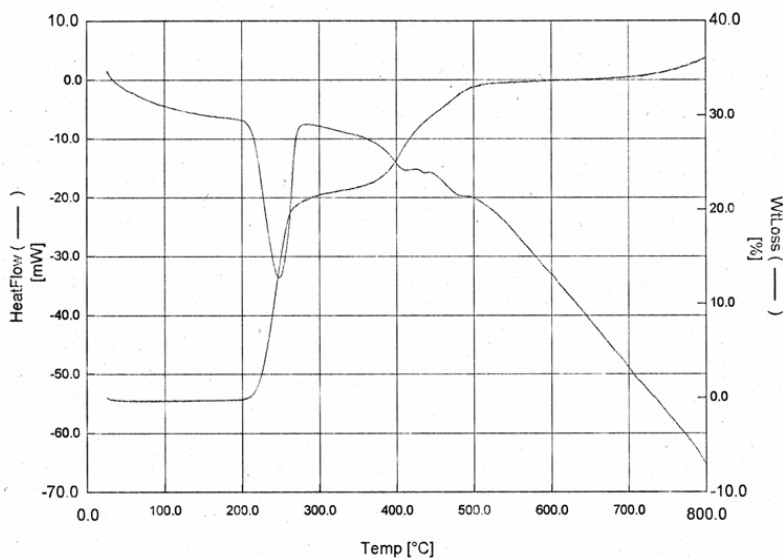
بررسی پیک‌های نمودار DTA نیترات نقره در شکل ۴ نشان می‌دهد که واکنش گرماگیر اصلی در محدوده دمایی ۵۱۰ - ۳۵۰ °C و واکنش ضعیف‌تری در حدود ۲۰۰ °C صورت گرفته است که می‌تواند به



شکل ۴: نمودار DTA/TG نیترات نقره.



شکل ۵: نمودار DTA/TG نیترات بیسموت.



شکل ۶: نمودار DTA/TG نیترات مس.

ضعیف‌تری در حدود 400°C صورت گرفته است. نمودار TG کاهش اصلی وزن را در محدوده دمایی $200-500^{\circ}\text{C}$ و در دو مرحله نشان می‌دهد. کاهش کل وزن تا دمای 800°C حدود 35% برای این ماده است که نصف L.O.I. تجزیه شیمیایی است. وجود اختلاف تأیید می‌کند که دمای به کار گرفته شده برای انجام واکنش‌ها کافی نبوده است.

نمودار DTA اخرا (شکل ۷) واکنش گرماگیر مستمر عاری از پیک از دمای محیط تا 800°C را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار TG حدود 2.5% کاهش وزن تا این دما رخ داده است. اگر L.O.I. تجزیه شیمیایی (اتلاف حرارتی در $10 \pm 1050^{\circ}\text{C}$) و کاهش وزن آزمون TG با یکدیگر مقایسه شوند، حدود 2.5% اختلاف مشاهده می‌شود که

عمده این اتلاف در حدود 450°C حاصل شده است و رقمی غیر از اتلاف حرارتی حدود 52% تجزیه شیمیایی است. پس می‌توان نتیجه گرفت که نیترات بیسموت تا دمای 800°C کاملاً تجزیه نشده است و قسمت عمده ماده هنوز به صورت نیترات باقی‌مانده است که برای تجزیه به دمای بیشتری نیاز دارد. باید توجه داشت که تشکیل یوتکتیک^۱ نیترات بیسموت با سایر نیترات‌ها نظیر نقره و مس در مینا می‌تواند باعث تجزیه زود هنگام آن گردد.

در شکل ۶ نمودار DTA نیترات مس نشان می‌دهد که واکنش گرماگیر اصلی در محدوده دمایی $200-300^{\circ}\text{C}$ و واکنش گرماگیر

1- Eutectic

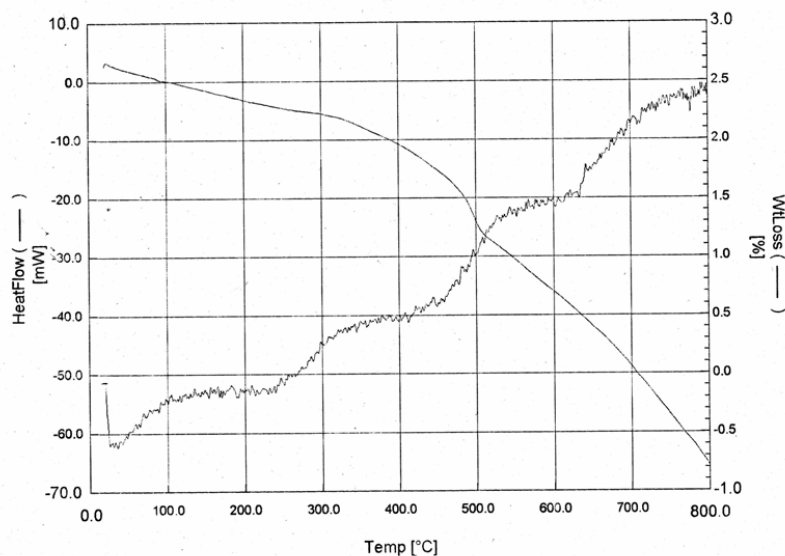
نیترات‌های نقره و بیسموت افزوده شده است و در نتیجه باید شباهت زیادی به نمودار آزمون حرارتی اخرا داشته باشد. در این نمودار واکنش گرماگیر از دمای 300°C تا 800°C به صورت مستمر بدون حضور پیکی ادامه دارد. کاهش وزن ۶ درصدی نمودار TG تا دمای 300°C عمدتاً مربوط به اسید استیک افزوده شده به مینا است و درصد ناچیزی از آن به تجزیه نیترات‌های نقره و بیسموت مربوط می‌شود. واکنش‌های حاصل از تجزیه نیترات‌های نقره، بیسموت و اخرا در محدوده دمایی $300-800^{\circ}\text{C}$ صورت گرفته است که این کاهش وزن حدود ۸٪ در نمودار TG می‌تواند به انجام این واکنش‌ها ارتباط داشته باشد.

1- Mineralizer

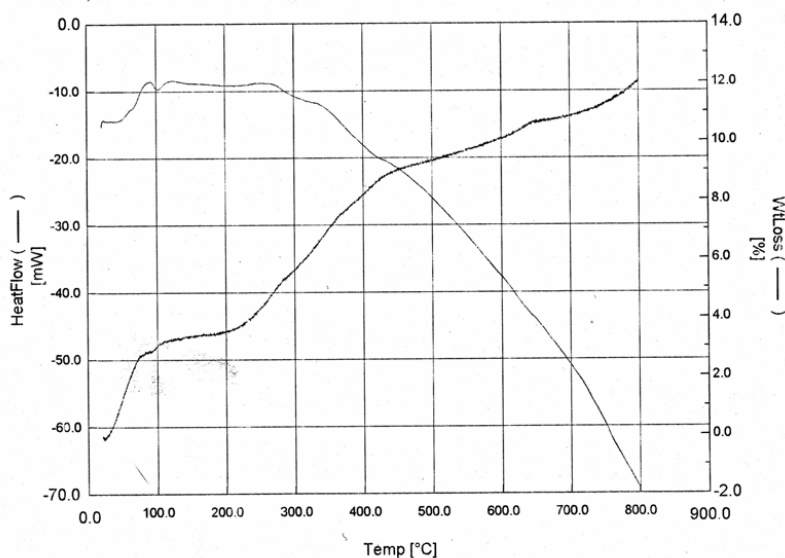
بیانگر انجام نشدن کامل واکنش‌ها است. کامل شدن واکنش‌ها یا با افزایش دما امکان‌پذیر است و یا در دمای 800°C و در حضور برخی از کانی‌سازها^۱ قابل دستیابی است.

در مجموع از نتایج نمودارهای DTA/TG می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در محدوده دمایی $500-600^{\circ}\text{C}$ اجرای شرایط احیایی به دلیل تجزیه نیترات‌های نقره، بیسموت و مس و تشکیل اکسید آن‌ها هر چند ناقص، مطلوب است و در نتیجه اکسیدها آمادگی احیاء شدن را دارند.

در شکل ۸ تجزیه حرارتی مینای زرین‌فام خام M_2 (مواد اولیه به همراه اسید استیک) مشاهده می‌شود. نمودار DTA/TG مینای M_2 در حقیقت نمودار اخرایبی (۸۵٪) است که به آن درصدی (۱۵٪)



شکل ۷: نمودار DTA/TG اخرا.



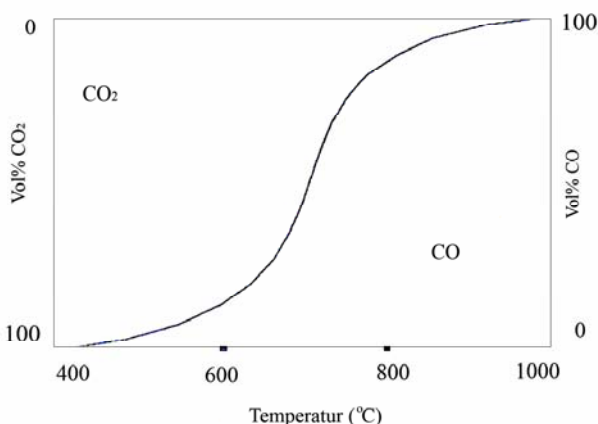
شکل ۸: نمودار DTA/TG مینای M_2 .



بر عکس در پخت احیایی هنگام ترکیب کربن و اکسیژن طبق واکنش (۲)، CO تشکیل می‌شود.



در پخت احیایی همواره در محدوده دمایی ۴۰۰ - ۱۰۰۰ °C طبق واکنش (۳) در نسبت‌های حجمی متفاوت CO و CO₂ در تعادل می‌باشند. در شکل ۹ تعادل درصد حجمی CO و CO₂ بر حسب دما در فشار یک اتمسفر (معروف به قانون تعادلی بودووارد) نشان داده شده است.



شکل ۹: تغییرات نسبت حجمی CO-CO₂ بر حسب دما در یک اتمسفر [۱۴].

طی فرآیند احیاء ابتدا اکسیژن موجود در اتمسفر کوره و سپس اکسیژن موجود در نمک‌های فلزات مصرف می‌شود در نتیجه شبکه‌های ضعیف‌تر که حاوی اکسید نقره و اکسید مس هستند، شکسته شده و با ادامه احیاء یون‌های مس و نقره داخل شبکه لعاب شده و باعث تشکیل لایه زرین فام لعاب می‌شوند [۱۴]. چون پخت میناها در شرایط احیایی در محدوده قانون تعادلی بودووارد قرار دارد انتظار می‌رود که بعد از پخت، لایه‌ای از دوده سطح لایه زرین فام را پوشانده باشد. چون در عمل این پدیده اتفاق می‌افتاد مینای زرین فام پس از جلا دادن سطح لعاب و زودن دوده آن به کمک پارچه ظاهر می‌شد.

بعد از پخت میناها مشاهده شد که اتصال M₁ با لعاب پایه در مجموع ضعیف است برعکس M₂ و M₃ ضمن اتصال خوب با لعاب پایه زرین فام با جلای مطلوب ایجاد نمودند. میناهای زرین فام آمده در شکل ۱۰ از بین سه آزمون حاصل از این تحقیق انتخاب شده‌اند.

در مجموع با در نظر گرفتن اتلاف حرارتی اسید استیک و سایر مواد اولیه موجود در مینای خام کاهش وزن ۱۲ درصدی مینای M₂ تقریباً منطقی است. باید توجه داشت که انجام واکنش‌ها در دماهای کمتر از دمای تجزیه واقعی مواد اولیه ناشی از تشکیل یوتکتیک بین نیترات‌ها، اخرا و احتمالاً اسید استیک موجود در مینای خام است.

چون در کیفیت میناهای زرین فام پخته همسان اختلاف‌هایی مشاهده شد، عامل‌های تأثیرگذار مورد توجه قرار گرفتند. یکی از این عوامل ضخامت لایه خام مینا بود. در هنگام تحقیق باید تأثیر این عامل با اندازه‌گیری ضخامت کنترل می‌شد، که اندازه‌گیری ضخامت لایه‌ها با بهره‌گیری از میکروسکوپ نوری انجام گردید. چون در هنگام اعمال میناهای خام کنترل ضخامت کاملاً امکان‌پذیر نبود میانگین ضخامت لایه‌های خام و تأثیر آن بر جلوه بعد از پخت معیار سنجش قرار گرفت. در جدول ۳ وابستگی کیفیت بعد پخت از ضخامت لایه خام میناها آمده است. جلوه بعد از پخت مینای M₁ در هر دو ضخامت زیاد و کم نامطلوب و M₂ که فاقد نمک‌های آهن محلول در آب است در ضخامت زیاد مطلوب و با کاهش ضخامت نامطلوب می‌شود. جلای M₃ پخته شده که حاوی سولفات آهن با حلالیت خوب در آب است با اعمال لایه خام نازک‌تر مطلوب می‌باشد. بنابراین غلظت نمک‌های محلول آهن دار موجود در دوغاب مینای خام در انتخاب ضخامت لایه خام نقش دارد و کیفیت مینای زرین فام پخته را تعیین می‌کند.

جدول ۳: مقایسه ضخامت لایه خام میناها و تأثیر آن بر کیفیت جلوه زرین فام پخته.

مینا	ضخامت لایه خام به میکرون	کیفیت بعد از پخت
M ₁	۱۰۰	نامطلوب
M ₂	۲۰	نامطلوب
M ₂	۱۰۰	مطلوب
M ₃	۲۰	نامطلوب
M ₃	۱۰۰	نامطلوب
M ₃	۲۰	مطلوب

تشخیص محدوده دمایی ۵۰۰-۶۰۰ °C برای پخت میناها با کمک گرفتن از نتایج آزمون‌های حرارتی مواد اولیه صورت گرفت. از چوب گردوی کاملاً خشک (به ازای ۱۳۰۰ cm³ حجم کوره حدود ۲۰ cm³ چوب) برای احیاء میناها با زمان توقف ۳۰ دقیقه در دمای بیشینه (۵۵۵ °C) استفاده شد.

در هنگام سوختن موادی نظیر چوب، گاز و مشتقات نفتی ملکول‌های حاوی کربن موجود در آن‌ها با اکسیژن هوا ترکیب شده و طبق واکنش گرم‌مازی (۱) CO₂ تولید می‌شود.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش اقدام به ساخت سه مینا با استفاده از مواد اولیه مناسب با هدف رسیدن به لایه مینایی زرین فام گردید. نتایج زیر حاصل تحقیقات انجام گرفته روی مواد اولیه و میناها است:

- ۱- آزمون‌های XRF و XRD مواد اولیه نیتراستی مورد استفاده در ساخت مینای زرین فام، خلوص بالای آن‌ها را تأیید نمودند.
- ۲- تجزیه فازی XRD اخرا به عنوان یک ماده اولیه مهم در ساخت مینای زرین فام حضور FeO ، Fe_2O_3 ، SiO_2 و میکا را در این ماده اولیه نشان داد.
- ۳- نمودارهای DTA/TG مواد اولیه نشان داد که واکنش‌های اولیه آن‌ها قبل از دمای تشکیل زرین فام ولی تجزیه کامل آن‌ها بعد از این دما صورت می‌گیرد. با تکیه بر این نتایج اجرای احیاء در محدوده دمایی $500-600^\circ\text{C}$ مناسب تشخیص داده شد.
- ۴- کیفیت و رنگ لایه زرین فام پخته به ضخامت لایه مینایی خام وابسته است و حضور سولفات آهن ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) که محلول در آب است در مینا باعث می‌شود از ضخامت لایه خام کاسته شود.
- ۵- با پخت و احیای میناهای M_2 و M_3 در دمای 555°C لایه زرین فام طلایی قزح‌سان (M_2) و زرین فام طلایی (M_3) حاصل شد.
- ۶- چون رنگ زرین فام طلایی (M_3) مشابه زرین فام‌های طلایی و قرمز باستانی که با حضور همزمان تقریباً ۱ تا ۳ درصد نقره و مس حاصل می‌شود، بود می‌توان نتیجه‌گیری کرد که انتخاب این روش پژوهش صحیح بوده است.



(الف)



(ب)

شکل ۱۰: میناهای زرین فام پخته روی لعاب کاشی پشت پوش شده صنعتی (الف) زرین فام مینای M_2 و (ب) زرین فام مینای M_3 .

۵- مراجع

1. H. Ritter, J. Ruska, R. Wunderlich, Eine persische Beschreibung der Fayencetechnik von Kaschan aus dem Jahre 700h/1301d. *Istanbuler Mitt.* 3(1935), 16-31.
2. A. Shams, Experience of producing luster glaze enamel. Bsc. Thesis, Iran University of Science and Technology, Iran, 2006 (in Persian).
3. M. Kazemi, Repairing of luster pottery (7th century). Bsc. Thesis, Tehran University, Iran, 1998 (in Persian).
4. R. Kian Nejad, The history and preparation of luster glaze. Bsc. Thesis, Alzahra University, Iran, 2003 (in Persian).
5. I. Borgia, B. Brunttti, Giulivi, A. Sgamellotti, Shokouhi, Oliayi, Rahighi, Lamchi-Rachti, M. Mellini, C. Viti, Characterization of decorations on Iranian (10th- 13th century) luster ware. *Appl. Phys.* A79(2004), 257-261.
6. J. W. Allan, L. R. Llewellyn, F. Schweizer, The history of so-called Egyptian faience in Islamic Persia, investigation in to Abul-Qasim Treatise. *Archaeometry.* 15(1973), 165-173.
7. I. Borgia, B. Brunttti, I. Mariani, A. Sgamellotti, F. Cariati, P. Fermo, M. Mellini, C. Viti, G. Padeletti, Heterogeneous distribution of metal nanocrystals in glazes of historical pottery. *Appl. Surf. Sci.* 18(2004), 206-216.
8. V. Lazic, F. Colao, R. Fantoni, A. Palucci, Characterisation of lustre and pigment composition in ancient pottery by laser induced fluorescence and breakdown spectroscopy. *J. Cultural Heritage.* 4(2003), 303-308.
9. P. Fredrickx, D. Hélarly, D. Schryvers, E. Darque-Ceretti, A TEM study of nanoparticles in lustre glazes. *Appl. Phys. A.* 79(2004), 283-288.
10. O. Bobin, M. Schvoerer, J. L. Miane, J. F. Fabre, Coloured metallic shine associated to lustre decoration of glazed ceramics, a theoretical analyses of the optical properties. *J. Non-Crys. Solids.* 332(2003), 28-34.
11. A. Caiger-Smith, Lustre Pottery, technique, tradition and innovation in Islam and the Western World. Faber and Faber, London, 1985.
12. A. Rahimi, M. Matin, Technology of fine ceramics. Khake Chini Iran, Tehran, 2007 (in Persian).
13. H. Ghassai, H. R. Rezai, A. Shams, Study of temperature and atmosphere influence on enamel luster glaze to obtain the real temperature and suitable reduction condition. In Proceeding of 6th Congress of Iranian Ceramic Society, Karaj, Iran (2008), 1-7 (in Persian).
14. E. Riedel, Allgemeine und anorganische Chemie. Walter de Gruyter, Berlin, 1979, 146.