



آزمون‌های پاکسازی فلزات باستانی با لیزر

ترجمه: نرگس دوستی ثانی

چکیده

آزمایش‌های منتشر شده درباره روش پاکسازی آثار هنری فلزی با لیزر - مانند مجسمه‌ها و تزیینات که به دلیل آلودگی جوی تغییر یافته‌اند - برتری و مفید بودن این شیوه را شرح داده‌اند. در این تحقیق استفاده از روش پاکسازی با لیزر بر روی آثار فلزی حفاری شده که دگرگونی و مراحل خوردگی کاملاً متفاوتی نسبت به آثار فلزی روباز دارند، ارائه شده است. آزمون‌ها بر روی یک مجموعه منتخب از نمونه‌های باستانی، مثل: سکه، لوح، بست و زیورات مربوط به محوطه‌ای تاریخی در ایتالیا انجام شد. فلزات مورد مطالعه در این تحقیق عبارتند از: برنز، مس، نقره و سرب. در این بررسی سیستم‌های متفاوت لیزر و شرایط تابش مختلف استفاده و با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج حاصل که با مشاهدات و تشخیص‌های متالورژیکی ارزیابی شدند، نشان داد فرآیند پاکسازی لیزر، گزینش‌پذیر و بسیار دقیق بوده و امکان حفاظت جزئیات سطحی ظریف را فراهم می‌کند.

مقدمه

اولین طرح پیشنهادی پاکسازی آثار فلزی با لیزر در دهه ۱۹۷۰ توسط جان آسموس ارائه شد. وی آزمایش‌هایی بر روی نمونه‌های سربی دارای رسوبات آهنی و برنزی‌های خورده شده انجام داد. از آن زمان به بعد، کاربردهای بسیار اندک پاکسازی آثار فلزی با لیزر گزارش شده است. در ۱۹۹۱ یک گروه تحقیقاتی از دانشگاه نورث وست^[۱] چین آزمایش‌هایی با لیزر Q-switched Ruby بر روی آثار برنزی خورده شده انجام دادند. نتایج آنها نشان داد پالس‌های بلند لیزر به احتمال زیاد موجب ذوب سطحی حین پرتودهی می‌شوند، درحالی‌که پالس‌های کوتاه (در حدود نانوثانیه) برای این منظور مناسب‌تر هستند.

اخیراً تحقیقات جالبی توسط دپارتمان مرمت گالری‌ها و موزه ملی و دپارتمان فیزیک دانشگاه لوپورو^[۲] درباره اثرات پرتو لیزر روی سطوح فلزی انجام و گزارش شده است. این سازمان یک آزمون پاکسازی روی مجسمه آلومینیومی اروس^[۳] در سفولون پارک لیورپول^[۴] انجام داد. عملیات پاکسازی با لیزر Q-Switched Neodimium:YAG مجهز به یک بازوی مَفصلی برای تحویل نور لیزر انجام شد و نتایج مثبتی از جمله دقت، گزینش‌پذیری از نظر شیمیایی و امکان حفاظت جزئیات سطحی ظریف را عرضه کرد.

تحقیقات نظامند روی مراحل پاکسازی فلزات بوسيله لیزر در دانشگاه لوپورو با استفاده از لیزر TEA CO₂ انجام شد. اثرات روش پاکسازی با لیزر در نمونه‌های مختلف فلزی مثل مس، برنز، استیل، سرب و برنج بررسی شده است. همانطور که در کنفرانس‌های ویژه کاربرد لیزر در مرمت آثار هنری گزارش شده، پاکسازی با لیزر خصوصاً در برطرف کردن رنگ‌ها و مواد آلی، بدون آسیب رساندن به سطح فلز موثر است. به عبارت دیگر واکنش لایه‌های معدنی - مثل محصولات خوردگی - به پاکسازی با لیزر، بسته به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی فلزات و لایه‌ها می‌تواند متغیر باشد.

بنابراین نتایج کاربرد لیزر همواره رضایت‌بخش نبوده و در برخی موارد اثرات جانبی، مثل تغییر رنگ و تغییر در ترکیب شیمیایی محصولات خوردگی را به همراه دارد. این تحقیقات پیچیدگی پدیده‌های مورد بحث درباره

اثر متقابل (برهم‌کنش) فلز- لیزر را نشان می‌دهد و مشخص می‌کند استفاده از روش پاکسازی با لیزر باید در هر مورد کاربردی خاص، ارزیابی و سنجیده شود.

زمینه‌ای که روش لیزر را می‌توان نسبت به سایر روش‌های مرسوم آزمایش کرد پاکسازی ورقه‌های فلزی نازک و سطوح تخت است. پاکسازی موفق موی طلاکاری شده مجسمه سنگی نانی بانکو^[۵] مربوط به سن فیلیپ^[۶] با استفاده از لیزر Neodimium:YAG نمونه‌ای است که به تازگی گزارش شده است. آزمون دیگری نیز با هدف مقایسه روش پاکسازی لیزری با روش‌های مرسوم توسط آزمایشگاه تحقیقات آثار تاریخی^[۷] بر روی صفحه‌های سنگی مطلا - آماده شده در آزمایشگاه - انجام گرفته است. در این مقاله کاربرد پاکسازی لیزر برای اشیاء فلزی بدست آمده از حفاری بررسی شده است. نظر به مواد مورد بحث، این تحقیق کاری جدید و نو است، زیرا روند خوردگی و تغییرات یافته‌های باستان‌شناسی، با آنچه در مورد آثار فلزی موجود در اتمسفر انتظار می‌رود، متفاوت است.

این بررسی به اثبات کاربرد عملی محدود نشده، بلکه سعی شده رویه (طرز کار) پاکسازی با لیزر نیز بهینه‌سازی شود. برای دستیابی به این هدف، این پژوهش در چند مرحله مختلف طبقه‌بندی شده است. در آغاز اثرات منابع مختلف لیزر مقایسه و در پایان درمان کامل اشیاء از لحاظ جنبه‌های زیبایی‌شناسانه و قابل استفاده ارزیابی شده است.

نمونه‌های باستان‌شناسی

نمونه‌هایی از اشیاء فلزی خرد شده جهت استفاده در آزمون‌های پاکسازی لیزر، از میان مجموعه یافته‌های باستان‌شناسی محوطه ساحلی سن گیتانو دی وادریورنو ایتالیا^[۸] انتخاب شدند (نیمه اول قرن هفتم میلادی). سطح نمونه‌ها با محصولات خوردگی و مواد

جدول ۱- نمونه‌های فلزی

نوع لیزر مورد استفاده	وضعیت مرمت	شرح	ماده	نمونه
XeCl, QS, QS-KDP	لایه ضخیم با رسوبات خاکی	ورقه شکسته (۵۷x۸۱ میلی‌متر)	برنز	B۱
QS, SFR	رسوب ضخیم خاکی و آهنی	ورقه شکسته (۵۹x۸۷ میلی‌متر)	برنز	B۲
SFR	رسوب آهنی و محصولات خوردگی و لکه‌های CuCl	ورقه شکسته (۳۶x۳۶ میلی‌متر)	برنز	B۳
SFR	رسوبات خاکی و کربناتی، دو لکه CuCl	حلقه (۲۵x۲۷ میلی‌متر)	برنز	B۴
SFR	سطح پوسته شده با محصولات خوردگی و رسوبات خاکی	قلاب شکسته (۳۹x۱۰ میلی‌متر)	برنز	B۵
QS, SFR	لایه نازک محصولات خوردگی و لکه‌های CuCl	گیره شکسته (۱۳۷x۶ میلی‌متر)	برنز	B۶
SFR	سطح پوشیده شده با محصولات خوردگی عموماً سیاه (تئوریت؟) و لکه CuCl	گیره شکسته (۵۷x۶ میلی‌متر)	برنز	B۷
SFR	رسوبات تیره نازک شامل ذرات خاک	بند تزئینی (۷۸x۳۳ میلی‌متر)	برنز	B۸
SFR	سطح با یک لایه ضخیم محصولات خوردگی حاوی دانه‌های شن پوشیده شده	ورقه (۸۹x۴۱ میلی‌متر)	برنز	B۹
SFR	سطح عموماً با محصولات خوردگی پوشیده شده	سگک (۴۲x۳۰ میلی‌متر)	برنز یا مس	B۱۰
SFR	سطح با محصولات خوردگی و رسوبات خاکی پوشیده شده	ورقه شکسته (۶۹x۵۸ میلی‌متر)	برنز	B۱۱
SFR	سطح با محصولات خوردگی و رسوبات خاکی پوشیده شده	ورقه شکسته (۵۸x۵۷ میلی‌متر)	برنز	B۱۲
SFR	سطح با محصولات خوردگی و رسوبات خاکی پوشیده شده	ورقه شکسته (۸۰x۷۴ میلی‌متر)	برنز	B۱۳
SFR	ناخوانا؛ پوشیدگی سطح با لایه ضخیم محصولات در دو سمت	سکه (قطر ۳۶ میلی‌متر)	برنز	B۱۴
SFR	پوشیدگی سطح کاملاً با محصولات خوردگی و رسوبات خاکی	سکه (قطر ۲۲ میلی‌متر)	برنز	B۱۵
SFR	ناخوانا؛ پوشیدگی سطح با لایه ضخیم محصولات در دو سمت	سکه (قطر ۲۶ میلی‌متر)	برنز	B۱۶
QS, SFR	سطح کاملاً با رسوبات آهنی پوشیده شده	لوله کوچک (۱۰۳x۱۳ میلی‌متر)	سرب	L۱
QS, SFR	سطح کاملاً با رسوبات آهنی پوشیده شده	وزنه	سرب	L۲
QS	سطح کاملاً با اکسیدها و کلریدها پوشیده شده	سکه (قطر ۱۶ میلی‌متر)	نقره	S۱
QS	قشر سطحی شامل: اکسیدها، سیلیکات‌ها و کلریدهای نقره	سکه (قطر ۱۵ میلی‌متر)	نقره	S۲
QS	سطح کاملاً با محصولات اکسیدی نقره و مس شامل ذرات خاک و ترکیبات آلی پوشیده شده	سکه (قطر ۱۷ میلی‌متر)	مس یا نقره	S۳

جدول ۲- انواع لیزر

انواع لیزر	طول موج نشر	انرژی در هر پالس	مدت پالس	انتقال فیبر نوری
XeCl	۳۰۸ نانومتر	۱۰۰ ژول	۱۰۰ میکروثانیه	بله
QS-KDP	۵۳۲ نانومتر	۳۰۰ ژول	۶ میکروثانیه	خیر
Nd:YAG با کریستال KDP	-	-	-	-
Q-switched Nd:YAG	۱۰۶۴ نانومتر	۱-۵/۰ ژول	۲-۱۰ میکروثانیه	خیر (a)
SFR: short pulse free running Nd:YAG (b)	۱۰۶۴ نانومتر	۱-۲ ژول	۲۰ میکروثانیه	بله

a	انتقال فیبر پالس‌های QS زمانی که لیزر در انرژی خروجی پایین استفاده می‌شود، ممکن است. در این شرایط مدت پالس طولانی‌تر شده (بالاتر از ۴۰ نانوثانیه) و امکان تحویل ۱۰-۳۰ میلی‌ژول در هر پالس فراهم می‌شود.
b	نمونه آزمایشی لیزر توسط مولفین برای کاربردهای پاکسازی ساخته شد. مدت پالس در ۲۰ میکروثانیه (بیشتر از QS) برای انتقال آسان از طریق فیبرهای نوری سازمان‌دهی شد.

جدول ۳- بازتاب لایه‌های تغییر یافته نمونه‌های برنزی در شرایط سطحی خشک و تر (در ۱۰۶۴ میلی‌متر)

نمونه	بازتاب قشر خشک (%)	بازتاب مرطوب (%)	بازتاب کوپریت خشک (%)	بازتاب مرطوب (%)
B۱۴ (سکه)	۲۰	۷	۱۵	۱۱
B۱۵ (سکه)	۲۶-۲۸	۹	۱۷	۱۶
B۱۶ (سکه)	۱۸-۲۵	۷	۲۸	۱۹

خارجی پوشیده شده بود. نوع تغییرات و رسوبات شدیداً به نوع خاکی که شی را در برگرفته بستگی دارد. بر روی آثار فلزی از عمق خاک به سطح (لایه‌های بالایی)، رسوباتی شامل: رس، ماسه لایه‌های ناشی از دیواره‌های فرو ریخته و در نهایت رسوب ضخیم گلی (رستی) قرار گرفته‌اند. نمونه‌های برنزی که گروه بزرگی از اشیاء فلزی را تشکیل می‌دهند، مراحل متفاوت خوردگی را نشان می‌دادند. در بسیاری موارد سطح با لایه یکپارچه آهنی سبز (مالاکیت)، همراه سیلیکات‌هایی که کاملاً پاتین اکسیدی (عموماً کوپریت) را فرا گرفته، پوشیده شده و ضخامت لایه‌ها کمتر از چند صد میکرون تا ۲/۵ میلی‌متر متغیر بود. در موارد اندکی اشیاء برنزی حاوی لایه کلرید مس با نقاط سبز کمرنگ در حال گسترش بودند.

اشیاء سربی مورد استفاده جهت آزمایش، قطعه‌ای از یک لوله با رسوبات آهنی و یک وزنه (لنگر) به شکل دیسک بودند، که قبلاً با اسکالپل تمیز شده، اما هنوز پوسته آهنی روی آنها وجود داشت.

نمونه‌های نقره حاوی سه سکه بودند، که از حفاریات ایتالیا بدست آمده و هیچ اطلاعاتی درباره نوع خاک منطقه حفاری وجود ندارد. سطح دو سکه کاملاً با اکسید نقره و نقاطی از کلرید نقره و مقادیر متنوع ترکیبات آلی و سیلیکات پوشیده شده بود. سکه سوم ترکیبی از یک ورقه نازک نقره روی پایه مس بوده (مس با روکش نقره) و محصولات خوردگی مس در سطح آن به چشم می‌خورد.

روش پاکسازی با لیزر

آزمون‌های تمیزکاری در آزمایشگاه فیزیک با تجهیزات لیزری متعدد با توان بالا و محدوده نشر طول موج‌هایی از ناحیه فرابنفش تا زیرقرمز انجام شد. معیارهای ابتدایی که انتخاب اولیه انواع لیزر مورد استفاده را هدایت می‌کند، برای کاهش خطر آسیب‌های گرمایی (حرارتی) لازمه نشر پالسی بود. در واقع برای حصول حذف سریع پوسته‌ها با اجتناب از هدایت گرمایی به زیرلایه، واکنش لیزر با فلز باید به اندازه کافی کم شود. برای این منظور، در این پژوهش تنها لیزرهایی با پالس زمانی کمتر از ۲۰ میکروثانیه مورد بررسی قرار گرفتند. در جدول ۲ انواع لیزرها با علامت اختصاری فهرست شده‌اند.

قبل از آزمون‌های پاکسازی با لیزر، به منظور زدودن رسوبات از هم گسسته خاک و ماسه، تمام نمونه‌ها با آب مقطر شسته شدند. سپس نمونه‌ها به چهار گروه تقسیم و مطابق مراحل زیر آزمون‌ها انجام شدند:

(الف) آزمون‌های پاکسازی مقدماتی با انواع گوناگون لیزر برای تعیین مؤلفه‌های تابش‌دهی مناسب، مثل: طول موج لیزر، مقدار انرژی، زمان پرتودهی، سرعت تکرار پالس و ... برای این منظور نمونه‌های تخت و بزرگ با لایه‌های همگن برای مقایسه شرایط تابش‌دهی متفاوت انتخاب شدند.

(ب) پاکسازی کامل اشیاء کوچک با لیزر.

(ج) پاکسازی کامل اشیاء بزرگ (۵۰-۱۰ سانتیمتر مربع) با لیزر، شامل صفحات و بشقاب‌های دارای تزیینات. در نمونه‌های B۸ و B۶ آزمون‌های مقایسه‌ای بین پاکسازی با لیزر و پاکسازی دستی (با اسکالپل) نیز انجام گرفت.

(د) پاکسازی سکه‌ها با لیزر.

با توجه به نقاط a-c مقدار پاکسازی مناسب در



تصویر ۳. سکه برنزی در حین پاکسازی رسوبات ضخیم با لیزر



تصویر ۴. مرحله‌ای از پاکسازی با لیزر روی سکه برنزی، نمایان شدن نوشته

در اشیاء دارای تزئینات، پرتو لیزر گسیل شده بوسیله فیبرهای نوری، پاکسازی دقیق جزئیات ظریف، مثل: شیارها، شکافها و برجستگیها را ممکن می‌سازد. شکل ۲ صفحه‌ای برنزی با یک رشته سوراخ در طول لبه و دو شیار موازی را نشان می‌دهد. نیمی از سطح بوسیله لیزر SFR با برداشتن پوسته‌ها تا رسیدن به لایه تقریباً همگون کوپریت پاکسازی شد. نیمه دیگر برای مقایسه، به روش دستی و به کمک اسکالپل - که روشی استاندارد برای زدودن قشر رسوبات در نمونه‌های باستان‌شناسی است - تمیز شده است. در خصوص مدت زمان استفاده از لیزر در مقایسه با پاکسازی دستی، مورد اول ۲۵ دقیقه، در حالیکه مورد دوم ۴۵ دقیقه زمان برای پاکسازی منطقه مشابه صرف کرد.

سکه‌های برنزی نیز تحت آزمون‌های پاکسازی لیزر قرار گرفتند. شکل ۳ نمونه B۱۴ را نشان می‌دهد که نیمی از لایه رسوب ضخیم (حدود ۲ میلی‌متر) به روش پاکسازی لیزر زدوده شده است. سپس درمان روی دو طرف سکه کامل شده و امکان تشخیص تاریخ آن فراهم شد. شکل ۴، سکه دیگری را در مرحله میانی پاکسازی نشان می‌دهد. در این مورد قشر پوسته نازک‌تر بود (حدود ۱ میلی‌متر)، اما کاملاً نقوش را پنهان کرده و امکان تشخیص تاریخ سکه وجود نداشت.

نمونه‌ای قابل توجه و عالی از گزینش‌پذیری زدودن با لیزر در طول پاکسازی یک قطعه برنزی - احتمالاً قسمتی از یک دیگ - گزارش شده است. در زیر قشر آهنی، پالس‌های لیزر QS به لایه بسیار نازکی از قلع با ضخامت کمتر از ۱۰ میکرومتر رسیدند و مشاهده شد، هنگامیکه لایه قلع بدون پوشش باقی می‌ماند، عملیات پاکسازی فوراً و خودبخود خاتمه می‌یابد. این

فلزی امکان‌پذیر می‌سازد. در این آزمون عملیات لیزر در زدودن پوسته‌های خارجی سیلیکون و آهنک و محصولات خوردگی سطحی بسیار مؤثر بود؛ اما زمانی که به لایه اکسید مس زیرین (عموماً کوپریت) می‌رسید، سرعت پاکسازی کاهش می‌یافت. همانطور که ملاحظه می‌شود، تنها می‌توان دلایلی کیفی برپایه تفاوت در ساختار و حساسیت نوری (پایخ نوری و ساختاری) مواد ارائه داد. پوسته‌ها عموماً فشرده‌گی و چسبندگی کمتری نسبت به لایه کوپریت دارند. در نتیجه اثرات مکانیکی ایجاد شده توسط تابش لیزر عموماً بیشتر از قبل بوده و به بالا بردن سرعت کمک می‌کند.

همچنین جنبه‌های نوری از طریق سنجش بازتاب‌های نوری لایه‌های تغییر یافته، در طول موج نشر (خروجی) Nd:YAG با ترکیب [۱۱] نمونه شامل یک کره (گوی) الحاق شده، ارزیابی شد.

جدول ۳ مقایسه بین بازتاب لایه‌های کوپریت و پوسته‌ها را در چند نمونه برنزی نشان می‌دهد که موجب کاهش ترویج [۱۲] نور در ماده می‌شود. به‌علاوه در چنین شرایطی ترویج نوری در پوسته به‌طور عمده بیشتر از کوپریت بوده و با سرعت سایش بالاتری همراه است.

در برخی موارد اثرات تغییر رنگ در سطوح تحت تابش در مورد نمونه‌های مس و برنز پاکسازی شده مشاهده شد. به این صورت که رنگ سبز به صورت موضعی تغییر رنگ داده و بسته به نمونه به رنگ‌های خاکستری تا قرمز درآمده بود. این مسئله لایه بسیار نازکی (در حد چند ده میکرومتر) را درگیر می‌کند که می‌تواند به سادگی با برس زدن ملایم زدوده شود. نظر به مقادیر بسیار اندک و محدود مواد، امکان تجزیه شیمیایی در زمان انجام آزمون‌ها وجود نداشت، اما این فرض که نور لیزر در سطوح تحت تابش باعث استخاله (تغییر) کربنات‌ها به اکسیدهای مس شده، قابل قبول به نظر می‌رسد.

نمونه‌ای از پاکسازی با لیزر روی یک شی برنزی کوچک در شکل ۱ نشان داده می‌شود که در آن وضعیت قبل و بعد از پاکسازی یک بست (گیره) خرد شده با هم مقایسه می‌شوند. بعد از عملیات پاکسازی، شی بطور مناسب با باقی ماندن پاتین اکسیدی اندک تقریباً سالم حفاظت شد. همچنین پاکسازی لیزر اثرات خوردگی کلردی را نیز زدود. سه ماه پس از درمان به نظر نمی‌رسید این نقاط دوباره رشد کرده باشند. در این باب برای ارزیابی فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی و نیز اثرات پاکسازی با لیزر، بررسی بیشتر در طول یک دوره زمانی مورد نیاز است.



تصویر ۱. گیره فلزی قبل و بعد از پاکسازی

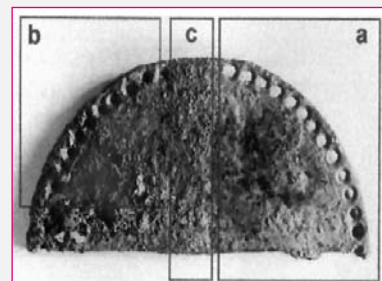
آزمون‌های لیزر، بستگی به نوع مواد دارد. برای نمونه‌های برنزی مقرر شد پاکسازی پس از برداشتن قشرها و محصولات خوردگی متوقف شود. اما در هر مورد سعی شد لایه اکسید مس در تماس با سطح فلز حفظ شود. در نمونه‌های سرب پاکسازی لیزر در سطح پاتین اکسیدی متوقف شد. در مورد اشیاء نقره‌ای، پاکسازی لیزر تا برداشتن کامل لایه اکسیدی و آشکار شدن سطح براق فلز ادامه یافت.

قبل و بعد از پاکسازی برای آنالیز پوسته‌های سطح نمونه و ارزیابی تاثیرات فرآیند پاکسازی با لیزر، آزمایش‌هایی، مانند: تجزیه EDAX و مشاهده با میکروسکوپ نوری، SEM و مشاهدات عینی شامل ارزیابی ظاهر اصلی نمونه‌های مرمت شده و خوانایی آنها انجام گرفت.

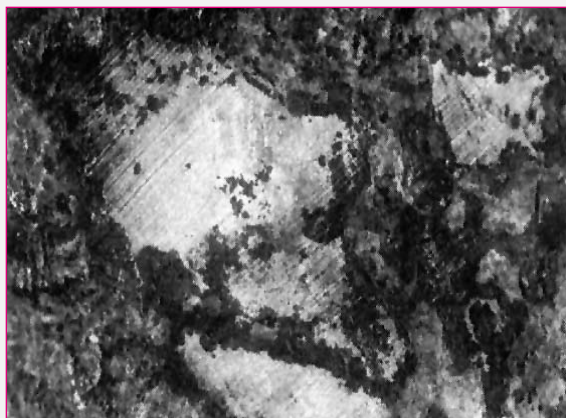
نتایج

آزمایش‌های اولیه روی اشیاء فلزی مسطح و بزرگ، پیش‌انتخابی^[۹] از مقادیر و طول موج‌های مناسب‌تر لیزر ارائه داد. در این فاز مشخص شد میزان مؤثر اشعه در واحد سطح^[۱۰]، جهت حصول پاکسازی مؤثر برای هر نوع فلز باید تعیین شود. پایین‌تر از این میزان تابش لیزر بی‌اثر بوده و تنها حرارت سطحی تولید می‌کند؛ در حالیکه بالاتر از آن موجب بروز اثرات ذوب روی سطح می‌شود، مانند تشکیل ریزقطره‌های فلز که زیر میکروسکوپ قابل مشاهده است. طی آزمون‌های پاکسازی، برای خنک کردن سطح نمونه و افزایش ترکیب نور لیزر در مواد، همواره تابش لیزر به همراه آب مقطر انجام می‌شد.

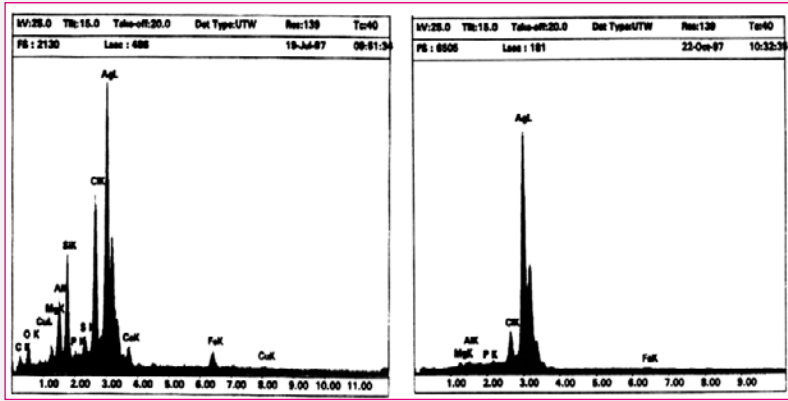
در مورد اشیاء برنزی پاکسازی لیزر با لیزرهای SFR و Nd:YAG، نوعی فرسایش انتخابی را ارائه داد که حفظ پاتین اکسیدی را بدون نمایان شدن سطح



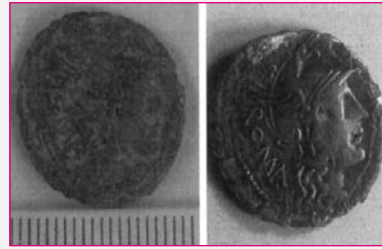
تصویر ۲. صفحه برنزی دارای تزئینات: (a) پاکسازی شده با لیزر SFR Nd:YAG؛ (b) پاکسازی شده به روش دستی با اسکالپل؛ (c) پاکسازی نشده



تصویر ۵. لایه نازکی از قلع که از طریق پاکسازی رسوبات یک قطعه برنز (احتمالاً مربوط به یک کاسه) با لیزر نمایان شده است. شیارهای اصلی بسیار ظریف روی سطح قلع حفظ شده است.



تصویر ۷. آنالیز EDAX روی جزئیات مشابه سکه نقره (شکل ۷)، مربوط به قبل (چپ) و بعد (راست) از پاکسازی با لیزر

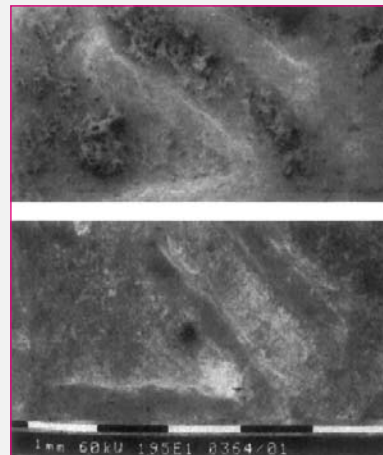


تصویر ۶. سکه مسی با روکش نقره قبل و بعد از پاکسازی با لیزر. اکسیدها و نمک‌های نقره و نیز محصولات خوردگی مس خارج شدند و ورقه نازک نقره حفظ شده است.

رفتار به راحتی می‌تواند توضیح داده شود: نظر به اینکه پرتو لیزر مادون قرمز نزدیک بوسیله سطح قلع پاک شده تماماً منعکس می‌شود، سایدگی متوقف و سطح قلع با وجود دمای ذوب پایین و ضخامت کم آن کاملاً حفظ می‌شود. در این آزمایش جزئیات بسیار ظریفی مانند ساختاری از شیارهای موازی (هر کدام با پهنای ۵۰-۲۰ میکرومتر) مشاهده شد که احتمالاً در نتیجه سایش با مواد ساینده در زمان استفاده شی هستند. برای مقایسه آزمون پاکسازی دستی روی شی مشابهی انجام شد، اما در این مورد لایه قلع کاملاً سالم باقی نماند.

گزینش‌پذیری مشابهی روی سکه‌های مس با روکش نقره مشاهده شد (شکل ۶). حتی در این مورد زمانیکه رسوبات و اکسیدها برداشته شدند، لایه نازک نقره مانند یک آینه عمل کرده و موجب خاتمه خودخوردی پاکسازی لیزر می‌شد. در سایر سکه‌های نقره‌ای نور لیزر QS برای زدودن نمک‌های نقره، مثل کلرید نقره - یکی از عوامل اصلی خوردگی - و رسوبات خارجی (ترکیبات آلی و ذرات خاک) بدون آسیب حرارتی به سطح فلز بسیار مفید بود. همانطور که با نتایج تجزیه‌های SEM و EDAX نشان داده شده است (شکل ۷ و ۸).

در نهایت، پاکسازی اشیاء سربی با لیزر نیز با وجود دمای ذوب پایین این فلز امکان‌پذیر به نظر رسید. برای اجتناب از تجمع گرما طی پرتودهی پیشنهاد شد، عملیات لیزر در کمترین زمان ممکن و در فرکانس پایین (کمتر از ۱۰ هرتز) انجام شود. باقیمانده رسوبات آهکی سخت به آسانی خارج شد. امکان کنترل این روش اجازه داد که روند پاکسازی بدون بیرون آوردن سطح فلز و با حفظ لایه خیلی نازکی از پاتین انجام گیرد.



تصویر ۷. تصاویر SEM از یک سکه نقره، قبل و بعد از پاکسازی با لیزر

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق امکان استفاده از روش‌های پاکسازی با لیزر در مرمت نمونه‌های فلزی باستان‌شناسی مورد بررسی قرار گرفت. آزمون‌ها با استفاده از منابع لیزر مختلف، با ارزیابی در هر مورد برای انتخاب سیستم مناسب‌تر انجام شد.

طی این بررسی مشخص شد برای اجتناب از آسیب حرارتی سطح فلزات، انتشار امواج لیزر با مدت ضربه‌زنی یا پالس کم، عموماً برتر است. این امر خصوصاً در مورد پاکسازی فلزات با نقطه ذوب پایین مثل سرب و قلع و ورقه‌های فلزی نازک - با ظرفیت گرمایی پایین - صحیح است.

در مورد اشیاء نقره‌ای که فرآیند پاکسازی باید با حذف کامل اکسیدها انجام شود، لیزرهایی با زمانی در حد نانوثانیه با میزان مؤثر اشعه اجرایی در حدود ۱-۰/۴ ژول بر سانتیمتر مربع بهترین نتیجه را می‌دهد. این مقادیر نسبتاً پایین با توجه به لزوم اجتناب از تشکیل پلازما که می‌تواند پروسه حذف را در سطح تحت تابش غیرقابل کنترل نماید، انتخاب شد. در حقیقت ابر پلاسمای تولید شده بوسیله شدت لیزر بالاتر، می‌تواند به منظور مات شدن بصری و جذب مستقیم کسری از اشعه لیزر، متراکم شود. در این شرایط فرآیند پاکسازی با اثرات انفجاری تولید شده با گرمایش سریع و انبساط پلازما، و نه با جذب مستقیم تابش لیزر بوسیله سطح نمونه، تعیین می‌شود. برای زدودن پوسته‌های چسبیده‌تر و ضخیم‌تر، مانند بسیاری از اشیاء کار شده در این پروژه، لیزر SFR Nd:YAG با مدت ضربه‌زنی طولانی مناسب‌تر به نظر می‌رسد و عملیات پاکسازی مؤثر و ایمنی را با میزان مؤثر اشعه حدود ۱۰-۲ ژول بر سانتیمتر مربع ارائه می‌دهد.

علاوه بر آن، این نوع لیزر انتقال انرژی قابل اطمینانی (بیش از ۱ ژول) را با فیبرهای نوری امکان‌پذیر می‌سازد که به اعتقاد ما لازمه حصول پاکسازی دقیق سطوح دارای تزیینات است. در مورد اشیاء برنزی، این سیستم کنترل کافی برای توقف پاکسازی در سطح کوپریت و اجتناب از نمایان شدن کامل سطح فلز را ممکن می‌سازد.

لیزر XeCl Excimer تنها در آزمون‌های مقدماتی استفاده شد و نشان داد برای پاکسازی می‌تواند دقیق باشد، اما برای استفاده در عمل بسیار کند است. به علاوه، پرتوی لیزر ماوراء بنفش گزینش‌پذیری رنگی محسوسی در لایه‌های تغییر یافته نشان نمی‌دهد.

انگونه که لیزرهای مادون قرمز نزدیک و مرئی عمل می‌کنند.

در نتیجه پاکسازی با لیزر می‌تواند گزینه‌ای برای مشکلات و مسائل مرمتی باشد که هنوز حل نشده یا راه حل دشواری با روش‌های پاکسازی سنتی دارد. همانطور که مشاهده شد، این روش می‌تواند برای درمان اشیاء بسیار ترد و تغییر یافته با اطمینان به کار رود. چون پاکسازی می‌تواند بدون فشار مکانیکی خارجی، با جلوگیری از خرد شدن بیشتر و پوسته شدن سطح انجام شود. استفاده از فیبرهای نوری کارکرد لیزر را سودمندتر کرده و آنرا به خصوص برای درمان اشیاء دارای تزئین با سطوح ترکیبی مناسب نموده است. درباره مدت زمان عملیات، پاکسازی لیزر عموماً در مقایسه با پاکسازی دستی (معمولاً با اسکالپل) به زمان کمتری نیاز دارد.

در کنار جنبه‌های عملی، خصوصیات جالب‌تر این شیوه، گزینش‌پذیری و کنترل بالای آن است. کنترل لازمه فرآیند پاکسازی است، که امکان ریزلایه‌نگاری [۱۳] لایه‌های تغییر یافته را داده و به مرمت‌گر اجازه می‌دهد پاکسازی را در سطوح دلخواه متوقف کند.

گزینش‌پذیری به عوامل مختلفی، مثل: بازتاب سطح و چسبندگی مواد بستگی دارد. نظر به این خصوصیات، پاکسازی لیزر می‌تواند پیشرفت‌های واقعی برای مرمت فلزات، مانند موارد توصیف شده پاکسازی موفق لایه‌های فلز بسیار نازک اعمال شده روی سطوح مختلف عرضه کند. این نتایج توسط باستان‌شناسان و مورخان هنر نیز به عنوان موفقیتی جدید برای درک طرز ساخت و استفاده اشیاء باستانی، مورد تقدیر قرار گرفته است.

پانویس

- 1- Northwest.
- 2- Loughborough.
- 3-Eros.
- 4-Seflon Park.
- 5-Nanni di Banco.
- 6-San Filippo.
- 7-Laboratoire de recherche des monuments historiques.
- 8-San Gaetano di Vad.
- 9-pre-selection.
- 10-Laser Fluence.
- 11-Set-Up.
- 12-Coupling
- 13-Microstratigraphy.

منبع مورد استفاده

Author: Roberto Pini, Salvatore Siano, Renzo Salimbeni, Marinella Pasquinucci, Test of Laser Cleaning on Archaeological Metal Artefacts Marcello Miccio. J. Cult. Heritage 1 (2000).