

آنالیز کربن در فولادهای ضد زنگ و معمولی با روش طیف سنجی فروشکست القایی لیزری (LIBS)

مقدمه



این متن روشی را برای آنالیز میزان کربن در فولادهای ضد زنگ و معمولی با استفاده از تکنیک طیف سنجی فروشکست القایی لیزری (LIBS) ارائه می‌کند. این روش بر روی دستگاه SciAps Z-902 Carbon که تنها دستگاه آنالیزر قابل حمل برای اندازه‌گیری کربن در آلیاژها است، تمرکز دارد.

دستگاه Z-902 Carbon از یک لیزر پالس‌دهنده با طول موج ۱۰۶۴ نانومتر و انرژی پالس ۵ تا ۶ میلی‌ژول بر پالس و فرکانس ۵۰ هرتز استفاده می‌کند. طیف‌سنج داخلی این دستگاه قادر به اندازه‌گیری طول موج‌های ۱۹۰ تا ۴۲۰ نانومتر است. همچنین یک طیف‌سنج اختصاصی با دقت بالا (۰,۰۶ نانومتر FWHM) برای اندازه‌گیری محدوده ۱۹۳ نانومتر کربن تعبیه شده است. این دستگاه از گاز آرگون قابل تعویض توسط کاربر نیز بهره می‌برد. محفظه گاز آرگون در کنار دستگاه قرار دارد و با هر بار شارژ امکان انجام ۱۲۵ تا ۲۰۰ آنالیز کربن را فراهم می‌کند. این محفظه در آنالیزهای عمومی آلیاژ تا حدود ۶۰۰ بار آزمایش دوام دارد.



Parameter	Value (% absolute)	Comment
Limit of Detection	0.008 (80 ppm)	3-sigma detection level for C.
Precision @ 0.02% C (absolute)	±0.002%	
Precision @ 0.2% C (absolute)	0.01%	
Iron or Stainless base: Test time, properly ground materials.	7-10 s	Includes pre-burn and purging time. Average of 2 or 3 tests, depending on carbon steel or L-grade stainless.

Table 1. Summary Performance Parameters Z-902 Carbon

امکانات همراه با Carbon App

مدل دستگاه: Z-902 Carbon

* بدنه ضد زنگ، قابلیت اندازه گیری کربن و دیگر عناصر مانند سیلیسیم (Si)، آلومینیوم (Al)، تیتانیوم (Ti)، وانادیم (V)، کروم (Cr)، منگنز (Mn)، آهن (Fe)، کبالت (Co)، نیکل (Ni)، مس (Cu)، نیوبیم (Nb)، مولیبدن (Mo)، سلنیوم (Se)، تنگستن (W).

* کالیبراسیون آلیاژهای بر پایه آهن برای عناصری شامل سیلیسیم (Si)، آلومینیوم (Al)، تیتانیوم (Ti)، وانادیم (V)، کروم (Cr)، منگنز (Mn)، آهن (مقدار آهن از تفاضل با دیگر مقادیر به دست می آید)، کبالت (Co)، نیکل (Ni)، مس (Cu)، نیوبیم (Nb)، مولیبدن (Mo)، تنگستن (W) و سرب (Pb).

* کالیبراسیون کربن بین 0 تا 1 درصد. کاربر می تواند این بازه را گسترش دهد یا کالیبراسیون های بیشتری مثلا برای چدن ها ایجاد کند.

* فرمول ها و محاسبات برای (Carbon Equivalent)، نسبت منگنز به کربن (Mn:C) و مجموع عناصر باقیمانده.

* نرم افزار دسکتاپ/تبلت Profile Builder برای ایجاد کالیبراسیون های کربن سفارشی بر پایه ها یا بازه های مختلف توسط کاربر.

* دارای 3 استاندارد برای بررسی کالیبراسیون کربن و اصلاح خطا.

عملکرد

با استفاده از چندین دستگاه Z-902 Carbon ، داده‌های مربوط به کربن در فولادهای ضد زنگ و کم آلیاژ (LAS) به دست آمده است. این دستگاه همچنین قابلیت اندازه‌گیری کربن در چدن‌ها را دارد. برای نمونه‌های با سطح صاف (به‌درستی ساب خورده)، زمان آزمایش بین ۶ تا ۱۲ ثانیه است. به‌طور کلی برای فولادهای کربنی با میزان کربن تا ۰٫۱ درصد، آزمایش ۶ ثانیه‌ای کافی است. برای اندازه‌های کم کربن، زمان آزمایش معمولاً ۹ تا ۱۲ ثانیه است. تکنیک ساب زدن مناسب، عموماً منجر به زمان آزمایش ۹ ثانیه‌ای برای گریدهای کم کربن می‌شود. نتایج عملکرد در جدول ۱ خلاصه شده است.

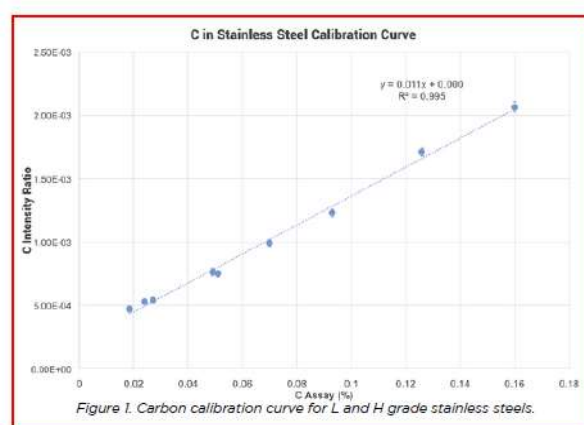
داده‌های کالیبراسیون و دقت

(مواد ضد زنگ)

کالیبراسیون برای گرید کم کربن استیل ضد زنگ:

کالیبراسیون جهانی استیل ضد زنگ در حال حاضر با استفاده از استانداردهای مختلف 304، L304، 316، L316، H316، 347 و L317 با غلظت کربن بین مقدار ناچیز تا ۰٫۱۵ درصد کربن انجام می‌شود. یک منحنی کالیبراسیون برای نمونه در شکل ۱ نشان داده شده است. کاربران در صورت تمایل می‌توانند ماتریس کالیبراسیون را گسترش دهند یا کالیبراسیون‌های اختصاصی بیشتری مانند موارد مربوط به استیل ضد زنگ با نیکل بالا مانند A286 و 904 ایجاد کنند. کالیبراسیون جهانی کربن برای تفکیک گریدهای کم کربن و پر کربن رضایت‌بخش عمل کرده است. برای موادی با میزان کربن نزدیک به مقدار آستانه ۰٫۰۳ درصد، اپراتورها می‌توانند از گزینه (type calibration) استفاده کنند. به عنوان مثال، اگر ماده‌ای حاوی ۰٫۰۳۳ درصد کربن باشد، اپراتور می‌تواند روی ماده‌ای با میزان کربن مشابه، کالیبراسیون انجام دهد. این نوع کالیبراسیون خطای منحنی کالیبراسیون را از بین می‌برد و هرگونه تغییری در نتیجه آنالیز کاملاً ناشی از تکرارپذیری (دقت) است.

اگر آنالیز شیمیایی کربن با تلورانس بسیار کمی اهمیت دارد توصیه می‌کنیم کالیبراسیون (type calibration) برای یک نمونه مرجع معتبر انجام شود و سپس از کالیبراسیون (type calibration) استفاده کنید. این کار در استفاده از روش OES جرقه‌ای رایج است و برای روش LIBS نیز به خوبی عمل می‌کند.



فرایند آنالیز

فرایند آنالیز شبیه به روش OES است.

هنگامی که آنالیز شروع می‌شود، دستگاه ابتدا آماده سازی اولیه (pre-flush) و (pre-burn) را انجام می‌دهد و سپس به طور معمول تست‌هایی به مدت ۲ یا ۳ ثانیه اجرا می‌کند. کاربر می‌تواند دستگاه را برای تکرار خودکار تعدادی از تست‌ها تنظیم کند یا به صورت دستی آن‌ها را انجام دهد. پس از هر تست، نتیجه و میانگین داده‌های آن نمایش داده می‌شود. نمونه‌ای از این در شکل ۴ آورده شده است. دستگاه امکان حذف خودکار و دستی (توسط کاربر) تست‌های ناموفق را فراهم می‌کند. اکثر اپراتورها تجربه کار با دستگاه‌های OES را دارند و به صورت دستی، تست‌های ناموفق را رد می‌کنند. کاربر می‌تواند برای حذف هر تست از میانگین داده‌ها، روی صفحه ضربه بزند. مزیت رد دستی تست‌ها، سرعت بخشیدن به آزمایش است. به شرطی که سطح نمونه به درستی ساب خورده باشد، اکثر آنالیزهای گرید کم کربن و گرید معمولی را می‌توان با یک آماده سازی اولیه و ۲ تست، و در نتیجه زیر ۱۰ ثانیه تکمیل کرد. رد خودکار تست‌ها معمولاً توسط اپراتورهای کم تجربه‌تر استفاده می‌شود. این روش با شناسایی تغییر زیاد داده‌ها (که معمولاً به دلیل ضعف در آماده‌سازی نمونه است) و هشدار به کاربر، مزیت‌هایی به همراه دارد. آنالیز مواد با استفاده از قابلیت حذف خودکار ممکن است به آزمایش‌های بیشتری نیاز داشته باشد و در نتیجه زمان آزمایش را به ۱۵ تا ۲۰ ثانیه افزایش دهد. معیارهای حذف خودکار سه گزینه زیر را تشکیل می‌دهد:

1) رد کردن تست‌هایی که در آن‌ها مقدار کربن محاسبه شده از مقدار از پیش تعیین شده‌ای فراتر رود.

2) رد کردن اولین تست.

3) رد کردن بالاترین و پایین‌ترین مقادیر کربن. برای اعمال حذف بالاترین/پایین‌ترین، حداقل به ۵ تست نیاز است.

نرم‌افزار دسکتاپ SciAps Profile Builder به کاربران اجازه می‌دهد تا کالیبراسیون‌های خود را ایجاد کنند. برای آنالیز کربن، استفاده از حداقل ۴ نقطه کالیبراسیون (یک نقطه می‌تواند بدون آهن باشد) و یک برازش خطی را توصیه می‌کنیم. این کار از تأثیر منفی آماده‌سازی ناقص نمونه برای کالیبراسیون جلوگیری می‌کند. اگر یک نمونه کالیبراسیون با آماده‌سازی نادرست در نظر گرفته شود، روی یک برازش خطی قرار نخواهد گرفت.

داده‌های حاصل از تکرارپذیری آنالیز برای گریدهای کم کربن و معمولی

شرکت SciAps اخیراً یک مطالعه به نام R&R را با استفاده از چندین دستگاه و اپراتور روی طیف وسیعی از فولادهای ضد زنگ و کربنی انجام داده است. در این مطالعه، "۳" به معنای تکرارپذیری با یک دستگاه یکسان و "R" به معنای بازتولیدپذیری داده‌ها با اپراتورها/دستگاه‌های مختلف است. دقت دستگاه برای تکرار داده‌ها روی یک دستگاه و تکرار داده‌ها توسط اپراتورها/دستگاه‌های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. برای این نتایج از کالیبراسیون جهانی استیل ضد زنگ/کربن استفاده شده است.

فولادهای کربنی - کالیبراسیون جهانی کربن

کالیبراسیون چیست و چه زمانی از آن استفاده کنیم؟

منحنی کالیبراسیون جهانی برای پایه آهن در شکل ۲ نشان داده شده است. این منحنی جهانی طیف گسترده‌ای از فولادهای مختلف کربنی و کم‌آلیاژ را در بر می‌گیرد، از جمله فولادهای کربنی 10 XX و 1117، فولادهای کم‌آلیاژ (LAS) شامل Cr-Mo 41XX، 4340، 4620، 4820، 8620 و چندین گرید فولاد دیگر، به علاوه برخی فولادهای

منحنی جهانی برای تفکیک فولادهای کربنی که با ۰٫۱ درصد کربن یا بیشتر تفاوت دارند (مانند تفکیک ۴۱۳۰ از ۴۱۴۰ یا ۱۰۱۰ از ۱۰۲۰) انتخاب عالی‌ای است. این منحنی انواع مختلفی از ماتریس‌های فولادی را پوشش می‌دهد و نیاز به استفاده از کالیبراسیون‌های type را از بین می‌برد. همانطور که در مورد هر کالیبراسیون جهانی صادق است، پوشش دادن پایه‌های عنصری مختلف باعث ایجاد مقداری خطا (bias) در کالیبراسیون می‌شود. برای این دستگاه، این خطا معمولاً در محدوده ۰٫۰۲ درصد است. کالیبراسیون جهانی را برای تفکیک کربن به میزان ۰٫۱ درصد یا بیشتر توصیه می‌کنیم.

کالیبراسیون برای زیرمجموعه‌های فولاد کربنی چگونه است و چه زمانی از آن استفاده کنیم؟

برای تفکیک دقیق‌تر فولادهای کربنی - آن‌هایی که با ۰,۰۵ درصد کربن یا کمتر تفاوت دارند - توصیه می‌کنیم منحنی و محدوده کالیبراسیون را به یک خانواده از آلیاژها که فولادهای مورد نظر را در بر می‌گیرد، محدود کنید. به عنوان مثال، برای تفکیک مجموعه‌ای از فولادهای کربنی مانند ۱۰۱۰، ۱۰۱۵ و ۱۰۲۰، منحنی کالیبراسیون جهانی را با فعال کردن فقط فولادهای کربنی در این محدوده غلظت، اصلاح کنید. نتایج مربوط به همان منحنی جهانی، محدود به فولادهای کربنی بین نمونه بدون کربن و ۰,۰۵ درصد، در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که نشان داده شده است، با این منحنی اختصاصی تر، Z-902 Carbon تفکیک قابل اعتماد تری از این فولادهای کربنی را ارائه می‌دهد.

Material	OPERATOR A		OPERATOR B	
	C.E.	C(%)	C.E.	C(%)
TypeCal-X45	0.34	0.09	NR*	0.09
TypeCal-X45	0.315	0.083	0.333	0.091
TypeCal-X45	0.345	0.102	0.337	0.087
TypeCal-X45	0.332	0.092	0.326	0.084
TypeCal-X45	0.311	0.088	0.339	0.088
Avg	0.329	0.091	0.334	0.088
Stdev	0.015	0.007	0.006	0.003
RSD	4.50%	7.70%	1.70%	2.90%

Table 4. r & R data for X-45 steel using type standardization

Operator A		Operator B	
316L C%	347 C%	316L C%	347 C%
0.018	0.0564	0.015	0.0475
0.014	0.0497	0.018	0.0446
0.016	0.0481	0.017	0.0524
0.012	0.0525	0.016	0.0588
0.019	0.0501	0.016	0.0616
0.016	0.051	0.016	0.053
0.0028	0.0032	0.0013	0.0072
17.7%	6.3%	7.7%	13.6%

دقت دستگاه : مواد خط لوله

مطالعه R&T که قبلاً ذکر شد، برای چندین شرکت تست خط لوله، روی برخی آلیاژهای رایج خطوط لوله نیز انجام شد. اندازه گیری‌ها با تکرار تست‌ها در طول چند ساعت انجام شد. هدف در اینجا بدست آوردن هرگونه خطای ناشی از تغییرات دما در دستگاه، بدون انجام هیچ گونه اصلاح خطا بود. نتایج با کالیبراسیون‌های جهانی کربن به دست آمد و خطاهای کوچک را مشخص می‌کند. به یاد داشته باشید که کالیبراسیون جهانی کربن، فولادهای کربنی، طیف وسیعی از فولادهای کم آلیاژ و همچنین فولادهای Cr-Mo تا ۵ درصد کروم و ۱ درصد مولیبدن را پوشش می‌دهد. داده‌های مربوط به ۲ اپراتور در این مرحله نشان داده شده است. نتایج مربوط به دو اپراتور برای یک فولاد API 5L و ۱۰۱۸ در جدول ۳ نشان داده شده است. این جدول مقدار کربن و عدد CE را نشان می‌دهد CE. با استفاده از فرمول AWS محاسبه شد. سایر عناصر تشکیل دهنده (CE منگنز، سیلیسیم، کروم، مولیبدن، وانادیم، مس و نیکل) نیز اندازه گیری شدند. (داده‌های مربوط به عناصر اضافی در یادداشت فنی به وسیله نرم افزار ما ارائه شده است.) دقت کربن و CE هر دو خوب هستند. اندازه گیری کربن برای هر دو مجموعه برای فولاد خط لوله حدود ۰,۱ درصد با دقتی بهتر از ۰,۰۱ درصد بود. اندازه گیری‌ها به ۱۲ ثانیه زمان نیاز داشت که شامل آماده سازی اولیه سطح نمونه نیز می‌شود. اگرچه بین میانگین دو مقدار CE به ترتیب ۰,۳۶ و ۰,۲۷، برای فولاد خط لوله X-45 خطا وجود دارد اما تغییر چندانی در نتیجه نهایی وجود ندارد. اندازه گیری‌های کربن بین دو اپراتور فقط ۰,۰۱ درصد اختلاف داشت. بنابراین در این مورد، خطا از اندازه گیری سایر عناصر آلیاژی ناشی شده است. در روش آنالیز OES، تکنیک (type standardization) اغلب برای کاهش خطا در اندازه گیری‌ها استفاده می‌شود. داده‌های مربوط به آنالیز همان ماده X-45 نیز با استانداردسازی "type" تست شد و در جدول ۴ نشان داده شده است. استفاده از استانداردسازی "type"، خطا را کاهش می‌دهد. میانگین مقادیر CE از ۰,۳۶ به ۰,۳۳ (اپراتور A) و از ۰,۲۷۵ به ۰,۳۴ (اپراتور B) تغییر کرد. بنابراین، استانداردسازی "type" خطایی را که عمدتاً در سایر آزمایش‌های اپراتور B وجود داشت، از بین برد و مقادیر CE را به هم نزدیک‌تر کرد (۰,۳۳ در مقابل ۰,۳۴). محدود کردن مجموعه کالیبراسیون فقط به فولادهای کربنی (مثلاً حذف فولادهای کم آلیاژ) یا استفاده از کالیبراسیون "type"، این خطاها را کاهش داده یا از بین می‌برد.

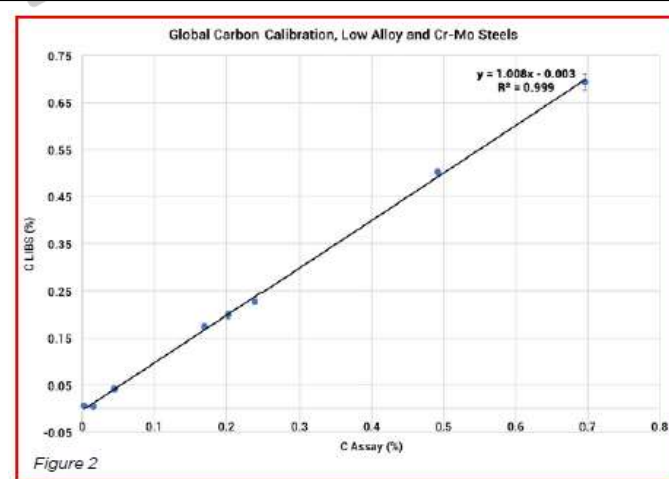
آماده سازی نمونه و جزئیات روش تست

قبل از آنالیز شما نیازمند آماده سازی نمونه با فرزهای خاص و صفحه های سنباده هستید و سپس با دستگاه Z-902 Carbon آماده سازی شما تست می شود. ما از یک فرزندستی با سرعت بیش از ۵۰۰۰ دور در دقیقه و صفحه سنباده سرامیکی حداقل ۵۰ گرید آلومینوم اکسید یا زیرکونیوم اکسید استفاده می کنیم. روش های سنباده کاری با این دستگاه مشابه با روش OES به کار گرفته می شود. برای آنالیز گرید کم کربن، صفحه سنباده را بیشتر تعویض کنید، مثلاً بعد از هر ۵ دفعه سنباده کاری یا بیشتر. اگر ماده ای با کربن بالا را سنباده می زنید، بهتر است قبل از رفتن به سراغ ماده ای با کربن پایین، صفحه سنباده را عوض کنید تا از آلودگی متقابل جلوگیری شود.

جزئیات روش تست

این کار یک تست واحد از ماده با آنالیزگر LIBS است. برای هر آزمایش، لیزر روی شش مکان مختلف روی ماده آلیاژ حرکت می کند و میانگین نتیجه هر شش مکان را محاسبه می کند. این کار ۳ ثانیه طول می کشد. هدف از انجام این شش تست، میانگین گیری هر گونه ناهمگنی به صورت موضعی در ترکیب آلیاژ است زیرا قطر پرتو لیزر کمتر از ۱۰۰ میکرومتر است. روش اسکن (Rastering) با دستگاه های LIBS رایج است، اما با دستگاه های OES اینطور نیست زیرا سوختن سطح به وسیله OES بسیار بزرگ تر از سوختن به وسیله لیزر است. "نتیجه داده ها" پاسخ نهایی است که معمولاً از دو یا سه تست LIBS تشکیل شده است که به طور خودکار توسط نرم افزار آنالیزور میانگین گیری می شود. هر تست ۳ ثانیه طول می کشد، بنابراین یک نتیجه به طور معمول ۹ تا ۱۵ ثانیه بسته به تعداد تست های میانگین گیری شده، زمان می برد. همانطور که قبلاً ذکر شد، اپراتورها می توانند Z-902 Carbon را در حالت دستی یا مجموعه ای از حالت های خودکار اجرا کنند. عملکرد دستی یک بار پیش آماده سازی و سپس ۳ تست متوالی ۳ ثانیه ای انجام می دهد. تعداد تست ها توسط کاربر تنظیم می شود. هر تست به همراه میانگین بدست آمده به صورت زنده روی صفحه نمایش نشان داده می شود. کاربر می تواند روی یک یا چند تست ضربه بزند تا آن ها را از میانگین گیری حذف کند. همچنین کاربر ممکن است دکمه تست را برای اضافه کردن تست های اضافی فشار دهد. اپراتورهای با تجربه OES که آماده سازی نمونه را به خوبی انجام می دهند، معمولاً بعد از پیش آماده سازی ۲ یا ۳ تست انجام می دهند. از دو تست برای تأیید نتیجه اولیه یا ۳ تست برای محاسبه میانگین استفاده می شود. اپراتورهای کم تجربه تر تشویق می شوند که با ویژگی رد خودکار تست شروع کنند. دو گزینه تست خودکار وجود دارد: رد داده پرت و رد بر اساس تغییرات شدید در هر یک از شش نقطه اسکن. رد داده پرت به پنج تست نیاز دارد. این روش بالاترین و پایین ترین تست ها را رد می کند و میانگین سه تست باقی مانده را محاسبه می کند.

(توجه: دستگاه بر اساس ورودی کاربر، روش های رد خودکار بیشتری را اضافه خواهد کرد)



تعریفی از تست

یک «تست» به عنوان یک آنالیز واحد روی ماده تعریف می‌شود و شامل پیش آماده سازی و داده‌های طیفی از ۶ ناحیه رستر (raster) مختلف است. تصویری از یک تست که شش محل برخورد لیزر با ماده را نشان می‌دهد، در شکل ۵ آمده است.

رد خودکار تست مبتنی بر بالارفتن دقت

رد خودکار تست مبتنی بر بالارفتن دقت، حتی برای اپراتورهای کم تجربه نیز مناسب است. این روشی مفید برای شناسایی آماده‌سازی ناکافی نمونه یا صفحه‌های سنبله آلوده است. همانطور که در طول یک تست ۳ ثانیه‌ای ذکر شد، لیزر داده‌های طیفی را از شش مکان مختلف جمع‌آوری می‌کند. برای رد خودکار مبتنی بر دقت، دستگاه در طول یک تست، لیزر را روی شش موقعیت مجزا حرکت می‌دهد. پردازنده FPGA و پردازنده اندروید، داده‌های طیفی را آنالیز کرده و نسبت‌های مقدار کربن را از شش مکان مقایسه می‌کند. این دستگاه در صورتی که انحراف نمودار در نسبت مقدار کربن از شش مکان از آستانه از پیش تعیین شده‌ای فراتر رود، تست را رد می‌کند. نرم‌افزار از کاربر می‌خواهد تا تست‌های بیشتری انجام دهد تا به ۳ تست خوب مورد نیاز برسد. برای اپراتورهای کم تجربه‌تر، به خصوص در مورد آماده‌سازی دقیق نمونه که برای آزمایش کربن مورد نیاز است، تنظیم رد خودکار گزینه‌ی عالی‌ای به شمار می‌رود. آماده‌سازی بهتر نمونه به معنای رد شدن تست‌های کمتر است.

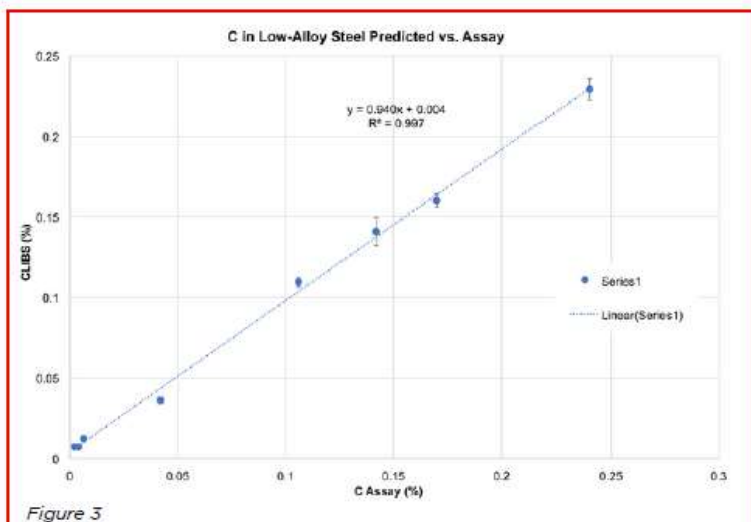
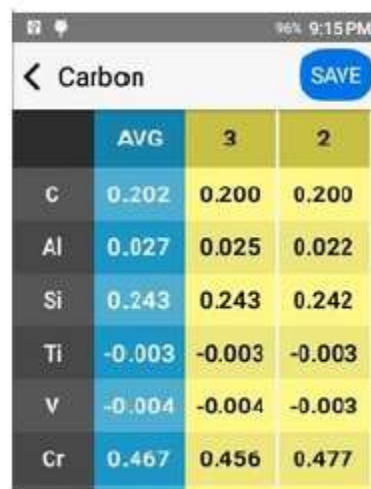
تفاوت بین OES و LIBS

معیار رد خودکار مبتنی بر دقت در آنالیز کربن SciAps، ابزاری عالی برای اپراتورهای کم تجربه است زیرا آماده‌سازی ضعیف مواد را آشکار می‌کند. رد خودکار مبتنی بر دقت از ماهیت گسسته (discrete) پالس لیزر استفاده شده با روش LIBS بهره می‌برد. لیزر به چندین مکان مختلف شلیک می‌کند و نسبت‌های شدت را در شش مکان مجزا و گسسته ارائه می‌دهد. جرقه OES با یک جرقه تصادفی با قطر زیاد به ماده برخورد می‌کند و داده کلی را بدون داده موقعیت‌های مجزا ارائه می‌دهد. دقت پایین از طرف تست‌های متوالی LIBS تقریباً همیشه نشان‌دهنده سنبله کاری نامناسب نمونه است. به احتمال زیاد لیزر به ناحیه‌ای با آلودگی سطحی کربن بالا برخورد کرده است که با سنبله کاری پاک نشده است. اگر تست حاصل رد نشود، نتیجه کلی به طور نامعمول به سمت بالا متمایل خواهد شد. اگر در حین اندازه‌گیری کربن، صفر یا حداکثر یک تست رد شود، به این معنی است که نمونه به درستی سنبله شده است. بنابراین، روش LIBS می‌تواند برای آموزش آماده‌سازی صحیح نمونه به اپراتورهای کم تجربه‌تر، ابزار عالی‌ای باشد.

نتیجه نهایی داده ها

یک «نتیجه» به عنوان میانگین ۵ تست معتبر تعریف می شود. نتیجه، درصد کربن اندازه گیری شده و در صورتی عدم قطعیت اندازه گیری را نشان می دهد. این قابلیت توسط روش OES قابل ارائه نیست، زیرا سوختن به وسیله جرقه در یک مکان بزرگ منفرد است، نه ۶ مکان مجزا.

آنالیزهای دستی LIBS مدل Z-902 Carbon از شرکت SciAps، اندازه گیری غلظت کربن را در فولادهای کربنی، چدن ها و فولادهای ضد زنگ ارائه می دهند. این روش نیازمند سنباده زدن نمونه و سپس انجام یک تست (معمولاً) ۹ تا ۱۲ ثانیه ای است. زمان تست شامل زمان پیش آماده سازی نمونه نیز می شود. به شرطی که اپراتورها از رویه های شرح داده شده پیروی کنند، دستگاه به طور قابل اعتمادی فولادهای کربنی و ضدزنگ را آنالیز می کند، از جمله غلظت کربن با حد تشخیص ۰,۰۸ درصد برای گریدهای کم کربن. دستگاه بسته به تجربه کاربر، امکان رد خودکار و دستی داده های تست را ارائه می دهد. آماده سازی نمونه و پاکسازی فضا با آرگون به طور مداوم و خوب برای آنالیز کربن با روش LIBS بسیار مهم است. شرکت SciAps همچنین یک رگلاتور خارجی برای اپراتورهایی که می خواهند برای کاربردهای تست ثابت یا جابه جایی و حمل کم دستگاه، از مخزن آرگون بزرگ تری استفاده کنند، ارائه می دهد.

	AVG	3	2
C	0.202	0.200	0.200
Al	0.027	0.025	0.022
Si	0.243	0.243	0.242
Ti	-0.003	-0.003	-0.003
V	-0.004	-0.004	-0.003
Cr	0.467	0.456	0.477

Figure 4. Results from repeat tests shown on display. User may tap a column to remove the test from the averaging at far right.