چهارمین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب‌یابی ماشین‌آلات
ایران، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، اسفند ۱۳۸۸

عیب‌یابی و پایش وضعیت سیلندرهای CNG به وسیلهٔ دستگاه خودکار آزمون فراصوتی

اسد باباخانی[۱]، فریدون عبدالله میانجی[۲]، ناصر راستخواه[۳]، امیر موافقی[۴]، محمدرضا کاردان[۵]

سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای ، انتهای کارگر شمالی

ababakhani@aeoi.org.ir

چکیده

در این مقاله طراحی و ساخت اولین دستگاه خودکار آزمون فراصوتی سیلندرهای گاز فشرده ویژه سوخت خودروها موسوم به سیلندرهای CNG در کشور مورد بررسی قرار گرفته است. انجام دستی این آزمون بدلیل حساسیت و تعداد اسکن های لازم نیاز به زمانی حدود ۱۰۰ دقیقه دارد که انجام صحیح و حقیقی آنرا غیر ممکن می‌سازد. دستگاه خودکار ساخته شده این امر را با دقت و تنها در ۲ دقیقه به انجام رسانیده و علاوه بر کاهش بسیار قابل ملاحظه زمان آزمون، کلیه اطلاعات مربوط به آزمون هر سیلندر را در سیستم کامپیوتری ذخیره می‌نماید. همچنین در بازرسیهای ادواری و پایش وضعیت، امکان مقایسه با اطلاعات قبلی و بررسی‌های آماری را فراهم می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: آزمون فراصوتی، عیب‌یابی خودکار سیلندرهای CNG ، استاندارد ISO-11439.

مقدمه

سیلندرهای گاز فشرده ویژه سوخت خودروها که به سیلندرهای CNG معروف می‌باشند، پایه و اساس پروژه ملی گازسوزکردن خودروها در کشور بوده و در حال حاضرعلاوه بر واردات آن ،تعداد قابل توجهی نیز در داخل کشور تولید می‌گردد. با توجه به فشار بالای کاری این کپسول‌ها که تا حدود ۲۵۰ اتمسفر می‌تواند باشد، اطمینان از بی‌عیب بودن محصول تولیدی که معمولا با روش Hot Spining انجام می‌گیرد، امری ضروری به شمار می‌رود. علاوه بر آن در مراحل پایش وضعیت در بازرسی‌های ادواری نیز، این سیلندرها باید بازرسی گردند. جهت سهولت استاندارد ISO-11439 در کشور ما بعنوان استاندارد اجباری برای تولید سیلندر مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱]. این استاندارد در کنار برخی استانداردهای دیگر نظیر ISO-19078 (کد ملی ISIRI-9426) اساس روشهای بازرسی و پایش وضعیت این مخازن را تشکیل می‌دهند [۲-۳]. آزمون‌های مخرب و غیر

---

[۱]- استادیار، عضو هیأت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

[۲]- کارشناس ارشد

[۳]- مربی، عضو هیأت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

[۴]- استادیار، عضو هیأت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

[۵]- استادیار، عضو هیأت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

مخرب (DT- Destructive Testing & NDT: Non-Destructive Testing) از مهمترین ابزارهای پایش وضعیت این مخازن به شمار می‌روند. در استاندارد ISO-11439 تعیین حداقل نیازمندی‌ها در تولید سیلندرهای کم وزن، تحت فشار با گاز خنثی و جهت نصب ثابت روی اتومبیل ها مورد توجه قرار میگیرد. جنس بکار رفته برای این نوع سیلندرها می تواند استیل، آلومینیوم یا مواد کامپوزیتی غیر فلزی بوده و بر اساس نوع مواد اولیه آنها به چهار رده مطابق جدول ۱ تقسیم می‌شوند.

جدول ۱: انواع سیلندر های تحت فشار

نوع ۱	کاملا فلزی و از آلیاژ 34CrMo4 و یا خانواده آنها	Metal
نوع ۲	فلز دیواره با یک نوع رزین احاطه شده است	Hoop wrapped
نوع ۳	فلز دیواره و سر و ته سیلندر با یک رزین احاطه شده است	Fully Wrapped
نوع ۴	رزین، کل مجموعه سیلندر را که از یک نوع ماده غیر فلزی ساخته شده دربرمی‌گیرد.	All Composite

.در این استاندارد دو دسته آزمونهای کیفی حین تولید و آزمونهای تایید ایمنی برای تست مخزن تولید شده بکار می‌رود. آزمونهای کیفی حین تولید بصورت اجباری برای هر یک از سیلندرهای تولید شده و آزمونهای تایید ایمنی در هنگام اخذ تاییدیه برای طراحی جدید سیلندر و بر روی یک نمونه از بچ در حال تولید بکارمی‌رود. نمونه‌هایی از انواع آزمون‌های این استاندارد در جدول شماره ۲ آورده شده است.

جدول ۲: انواع آزمونهای تایید ایمنی پیش بینی شده در استاندارد

نوع آزمون		مثال ها
آزمون حین تولید		تست سختی، تست التراسونیک، تست هیدرواستاتیک
آزمون‌های تایید ایمنی	آزمون تحمل آسیب	آزمون گلوله، آزمون سقوط، آزمون تحمل خرابی، آزمون تصادف
	آزمونهای محیطی	آزمون مایعات خورنده، آزمون دماهای حدی بالا و پایین، آزمون تسریع گسیختگی تحت تنش و قرار گیری در معرض آتش Bonfire
	آزمونهای چرخه عمر	ترکیدن ، چرخه فشار در دمای محیط ، نشت پیش از شکست LBB ، چرخه گاز طبیعی

یکی از مهمترین روش‌های آزمون حین تولید که در استاندارد ISO-11439 بکارگیری آن توصیه شده است، بازرسی با آزمون فراصوتی یا اولتراسونیک می‌باشد. آزمون التراسونیک از جمله روشهای اصلی آزمون‌های غیر مخرب می‌باشد که قابلیت شناسائی عیوب عمقی و استفاده در سیستم‌های تست خودکار را دارد [۴-۵]. در شکل ۱ روش تست فراصوتی یک سیلندر CNG به روش دستی نشان داده شده است، در این مثال از یک سیلندر برش خورده هم به منظور راستی آزمائی تست استفاده می‌گردد. سیستم اولتراسونیک با اعمالی چون تولید امواج فراصوتی، ارسال آن به داخل قطعه با استفاده از پروب و کوپلنت، دریافت پالس برگشتی و تحلیل آنها، تقویت سیگنالها و نمایش آنها؛ به ما امکان را می دهد که با استفاده از استانداردهای موجود اقدام به بررسی عیوب قطعات بنمائیم. از جملهٔ معایب روش دستی اولتراسونیک وابسته‌بودن زیاد آن به مهارت اپراتور و پائین بودن سرعت انجام تست می‌باشد. به عنوان مثال ارتفاع پالس‌های برگشتی شدیداً با فشار پروب‌ها در

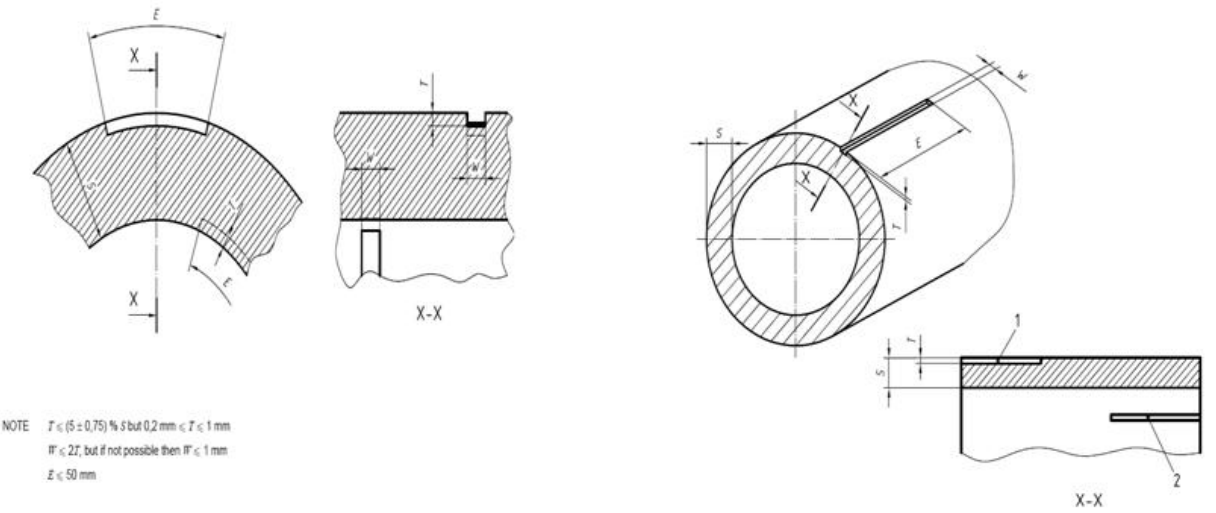
روی قطعه مورد تست بستگی دارد. بنابراین در روش دستی، باید همیشه سعی شود که در حین هر نوع آزمایش مقدار فشار دست یکنواخت باشد. همچنین با توجه به کندی روش دستی، برای تست تعداد زیادی نمونه آزمون باید به سمت استفاده از روش‌های خودکار سوق یابد.

طبق استاندارد ISO-11439 این تست باید بر روی تک تک سیلندرها اجرا شود. یک سیستم تست التراسونیک باید قادر باشد ناپیوستگیهای ایجاد شده در بلاک استاندارد را مشخص و پیدا نماید. عملکرد دستگاه باید توسط کاربر آموزش دیده دارای مدرک سطح ۲ آزمون‌های غیر مخرب از روش ISIRI-ISO-9712 کنترل شود [۶]. البته لایه بیرونی و داخلی سیلندر باید صاف و در حدود تلرانس ساخت باشد تا امکان تست های قابل تکرار و با دقت فراهم گردد. برای پیدا کردن عیوب لازم است از روش بازتابی و برای اندازه گیری ضخامت می توان از روش بازتابی و یا رزنانسی استفاده شود. نحوه تماس پراب با سطح سیلندر می‌تواند از روش تماسی ویاغوطه‌وری باشد. استفاده از کوپلنت باید به گونه‌ای باشد که از تماس پروب و سطح سیلندر مطمئن باشیم. لازم به ذکر است تمام رویه های این استاندارد برای تست دیواره های استوانه ای بوده و تست التراسونیک سر و ته سیلندر با توجه به تغییر ضخامت آن از بررسی این استاندارد خارج است.

شکل ۱: تست فراصوتی یک سیلندر CNG به روش دستی، یک سیلندر برش خورده هم در تصویر مشاهده می‌گردد.

شکل ۲ نحوه ساخت شکاف‌ها را طبق استاندارد ISO-11439 نشان میدهد . این شکاف‌ها هم در سطح داخلی و هم در سطح بیرونی سیلندر ها ایجاد و اسکنر التراسونیک باید قادر باشد از شکافهای داخلی و بیرونی پالسهایی با دامنه های بلند، واضح و تقریبا مساوی تولید و در طول کل شکاف دیده شوند. دامنه کمترین پیک معمولا به عنوان سطح آلارم تعریف شده و می تواند به کامپیوتر وصل شود. در هنگام اسکن، سیلندرهایی که ناپیوستگی با طول مساوی و یا کمتر از شکافهای استاندارد هستند باید مورد توجه بیشتر قرار گیرند، هر نوع مشکلات ظاهری روی سیلندرابتدا باید برداشته شده و در صورت نیازسیلندر مورد بررسی مجدد قرار گیرد. از لحاظ بررسی ضخامت باید سطح سیلندر مورد بررسی قرار گیرد وضخامت نباید کمتر از حد مجاز گردد.

با توجه به شرائط ذکر شده، استفاده از روشهای تست خودکار در کارخانجات سازندهٔ سیلندر CNG یک ضرورت به شمار می‌آید [۷-۱۰]. تولید این سیلندرها در کشور، نیاز به توسعه و ساخت دستگاه‌های خودکار آزمون فراصوتی را به امری حیاتی تبدیل نموده، بویژه که امکان وارد نمودن چنین دستگاهی از منابع غربی بدلیل تحریم‌های موجود وجود ندارد.



شکل ۲: شیارهای مورد استفاده برای تایید عملکرد دستگاه تست اولتراسونیک [۱]

روش‌ها و توصیف عملکرد دستگاه

در مجموعه مکانیکی این سیستم سیلندر ها بصورت افقی روی مکانیزم چرخنده ای بنام رولر قرار می‌گیرند یک سه نظام نگهدارنده گلویی سیلندر را گرفته و مانع از جابجایی سیلندر در حین عملیات اسکن می‌گردد. بمحض شروع حرکت دورانی سیلندر مجموعه پرابها پایین آمده وبصورت آرام روی سیلندر قرار و اسکن التراسونیک را از ابتدا شروع و به آرامی تا انتهای آن ادامه میدهد. ساختار مکانیکی سیستم التراسونیک شامل یک بازوی فنردارروی یک محور جلو برنده است که مجموعه پراب هلدر را نگه می‌دارد وامکان تماس و لغزش کفشک پرابها را بر روی سیلندر فراهم می‌کند. این مکانیزم دارای یک سیستم لغزنده‌ای است که در تمام جهت ها امکان حرکت داشته ومی تواند فاصله پرابها ودیواره را بهنگام بالا و پایین رفتن‌هایی که در هنگام چرخش سیلندر بوجود می آید، حفظ کند. این مکانیزم باعث تکرارپذیری آزمون وجلوگیری از پیغام خطا می‌شود.

مجموعه نگهدارنده پراب شامل محفظه نگهدارنده آب است که ۵ پراب را بصورت یک مجموعه نگه می دارد ۲ عدد از این پرابها برای ناپیوستگی های طولی، ۲ عدد برای ناپیوستگیهای عرضی و یکی از انها پراب تعیین ضخامت می باشد.یک کفشک قابل تعویض با توجه به منحنی مقطع سیلندردر انتهای این محفظه در نظر گرفته شده است. با گذشت زمان و سایش سطح کفشک علاوه بر تنظیم ارتفاع سیستم نگهدارندۀ پراب که با یک چرخ دنده و بصورت دستی امکان پذیر می‌شود، می توان نسبت به جایگذاری کفشک نو نیز اقدام نمود. محلهای شروع و توقف، چرخش سیلندر ها و سرعت‌های اسکن همگی تحت کنترل کامپیوتری بوده و سطح رویی سیلندرکه با یک هم پوشانی ۱۰٪ ای در هر گام با گام قبلی حفظ می‌شود، مورد پایش قرار میگیرد. زمان اسکن بین ۱/۵ تا ۲ دقیقه و زمان بارگذاری و تخلیۀ سیلندر حدودا ۲ دقیقه است. کل مجموعه التراسونیک در یک ظرف از جنس فولاد ضد زنگ قرار گرفته و آب بعنوان ماده واسط (کوپلنت) اولتراسونیک از طریق یک واحد فیلتراسیون جمع آوری و دوباره جهت ارسال به گردش درمی‌آید. شکل ۳ دو مجموعه مکانیکی متفاوت که برای تست سیلندرها طراحی شده اند را نشان می‌دهد. عملیات بارگزاری و برداشت سیلندر از انتهای سیستم و به صورت اتوماتیک صورت می‌گیرد.

شکل۳: دو نمونه متفاوت برای ساختار مکانیکی

سیستم الکترونیک وکنترل دستگاه

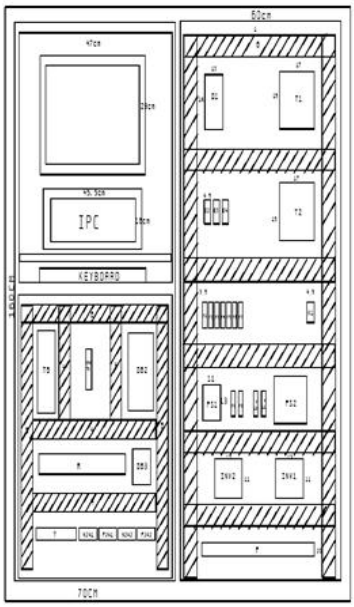
مجموعۀ سیستم الکترونیکی و کنترل دستگاه در دو تابلوی برق صنعتی قرار داده شده است (شکل ۴):

۱-کامپیوتر صنعتی برای پردازش و کنترل کلیه حرکتهای دورانی و افقی بصورت اتوماتیک و دستی، بهمراه یک پانل اپراتوری برای فرمانهای دستی کاربر .

۲-دستگاه چند کانال اولتراسونیک برای آنالیز سیگنال‌های دریافتی ازپرابها

۳-بردهای واسط برای کنترل دور موتور، مناسب سازی سیگنالها و سنسورها

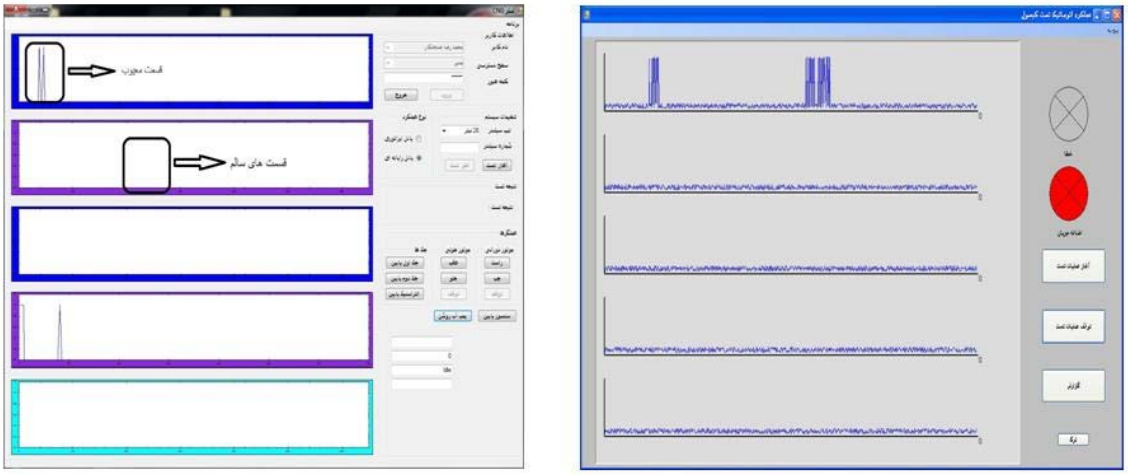
۴- مانیتور صنعتی، صفحه کلید و ماوس برای ارتباط با کاربران.



شکل ۴: مجموعۀ سیستم الکترونیکی و کنترل دستگاه

دستگاه چند کانال التراسونیک حاوی سخت افزار لازم برای اتصال، پردازش و نمایش سیگنال از ۶ کانال التراسونیک می‌باشد. این دستگاه، امکان برنامه ریزی مستقل برای هر کانال با توجه به نوع پراب، تعریف ۳ گیت مستقل برای اعلام آلارم با قابلیت

تنظیم عرض ، طول و موقعیت گیت ،تعریف منحنی DAC وTVG ، نمایش ضخامت روی نمایشگر و ارسال آلارم در صورت تجاوز از میزان تعیین شده با دقت ۱۴ میکرومتر، امکان اتصال به کامپیوتر صنعتی و ارسال لحظه ای اندازه‌گیری‌های انجام شده را دارد. برای کنترل دور موتورهای دورانی و افقی ، کنترل جک های پنوماتیکی، کنترل موقعیت حرکت افقی و دورانی از برد های واسط مناسب سیگنال‌ها، اینورتر ،انکودر و ... استفاده شده است. نرم افزار با برنامه ویژوال سی و تحت ویندوز نوشته شده است در این محیط امکان نمایش لحظه ای اسکن بصورت گراف، تعیین محلهای وجود خطا، طول تقریبی محل خطا با تعیین نوع و شماره سیلندر، امکان اندازه‌گیری قطرهای خارجی و داخلی با استفاده از پراب تعیین ضخامت، تغییر سرعت‌های دورانی و طولی، تعیین نام کاربر ونتیجه تست سیلندر قرار داده شده است. بعلاوه بانک اطلاعاتی این نرم افزار امکان رویت کلیه تست های انجام شده بصورت جدول و قابلیت رویت آن به فرمت اکسل را داراست. در این بخش امکان اضافه شدن کلیه در خواست‌های کاربران وجود دارد. شکل ۵ نمایی از نرم افزار بکار رفته را نشان می دهد.

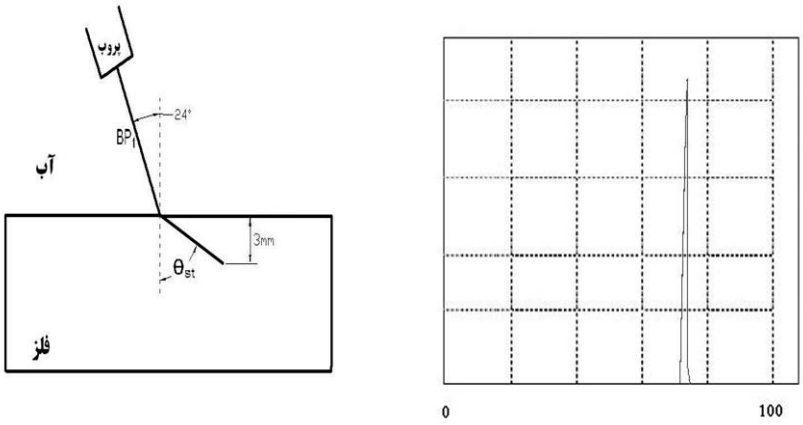


شکل ۵: مجموعهٔ نرم افزار دستگاه، محل ناپیوستگی بصورت پالس دیده می‌شود.

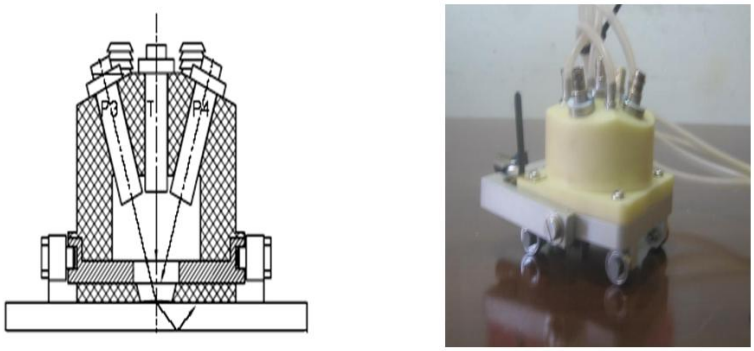
نتایج

پروب‌های غوطه‌وری (Immersion)

در این روش ۴ پروب نرمال امواج طولی را بصورت مایل از محیط آب بر سطح سیلندر می فرستد با توجه به تبدیل موج به دو نوع طولی وعرضی در داخل دیواره سیلندر، زاویهٔ مایل برخورد موج طولی طوری انتخاب شده است که زاویه موج طولی برای محیط دوم (دیواره سیلندر) از ۹۰ درجه بیشتر شده و در نتیجه در دیواره سیلندر تنها موج عرضی منتشر خواهد شد. در صورت بروز هر گونه مشکل دردیواره سیلندر نتیجه به صورت شکل موج گوسی شکلی در صفحه نمایش قابل رویت خواهد بود. برای اندازه گیری ضخامت یک پراب نرمال موج طولی را بصورت قائم بر دیواره تابانده و بازتاب موج از انتهای دیواره سیلندر را به دستگاه برمیگرداند. شکل ۶ نحوه عبور موج از آب و برخورد آن با یک ترک فرضی در داخل لوله و پالس خروجی را نشان می دهد. شکل ۷ نمای پراب هلدر را که در بر گیرنده ۵ پراب بکار رفته می باشد نشان می‌دهد.



شکل ۶: نمایش عبور صوت در آب و نمایش آن در صفحه کالیبره شده برای فلز



شکل ۷: مجموعهٔ نرم افزار دستگاه، محل ناپیوستگی ها بصورت پالس دیده می‌شود

پروب‌های تماسی

در این حالت با استفاده از ۴ پروب زاویه ای ناپیوستگی طولی و عرضی اسکن شده و یک پروب نرمال وظیفه اندازه گیری ضخامت را بعهده خواهد داشت. برای هر یک از پروبها کفشک های محدبی طراحی شده تا بر سطح سیلندر قرار گیرند برای اطمینان از تماس پروب با سیلندر ، مکانیزم فنر ی فشاری را بصورت دائمی بر پروبها اعمال می کند . کوپلنت در این نوع تست آب بوده و در طراحی مکانیکی کفشک آب به طور مجزا به سمت زیرین هر پراب هدایت می شود (شکل ۸).

شکل ۸: پراب هلدر از روش تماسی

نادوری سیلندر

کارخانجات تولید سیلندر معمولا از لوله، بیلت و ورق بعنوان مواد اولیه برای تولید سیلندر استفاده می‌کنند. در تولید به روش بیلت و ورق همواره لازم است با کمک دستگاه‌های کشش نسبت به تغییر شکل تدریجی ورق یا بیلت به لوله اقدام نمود. علاوه بر خطاهای بوجود آمده در هنگام تولید لوله، اجرای عملیات حرارتی برای بالا بردن سختی سیلندر نیز باعث می‌شود سطح مقطع سیلندرهای تولیدی در مقاطعی دایره‌ای نبوده و اصطلاحا نادور باشند . همچنین بخاطر کم‌بودن دقت در ساخت سر سیلندر، گلویی کاملا در مرکز سیلندر قرار نداشته و در هنگام حرکت دورانی به سه نظام نگهدارنده آن نیروی نا همگنی وارد و موجب بالا و پایین‌رفتن سیلندر می‌گردد. مشکلات نادوری و در مرکز نبودن گلویی باعث نمایش پالس‌های خطا در دستگاه اولتراسونیک بخاطر تغییرفاصله هوایی پرابها از سطح سیلندر، خوردگی نامتقارن کفشک های مجموعه پراب و کاهش طول عمر آن، استهلاک زودرس مجموعه اسکنر و حرکت دهنده سیلندر و ... شود.

بهمین خاطر در هنگام آزمون دو جک با غلتک های دورانی در جلو و عقب پراب هلدر، با آرامی روی سیلندر قرار می‌گیرند و از بالا و پایین رفتن سیلندردر هنگام دوران جلوگیری می‌کند. همچنین در طراحی پراب هلدر و سه نظام دستگاه امکاناتی برای بازی کردن مجموعه در نظر گرفته شده است، بطوریکه ارتعاشات نادوری و نابالانسی توسط سیلندر به مجموعه پراب هلدر منتقل شده و فاصله هوایی بین پرابها و سطح قطعه همواره ثابت می‌ماند. برای جلوگیری از خوردگی نامتقارن کفشک از مواد با مقاومت ساییدگی بالا استفاده گردیده است. ضمنا برای کاهش سطح تماس با تعبیه چرخک‌های ریزی در زیر کفشک میزان اصطکاک کاهش یافته و در عین حال از حضور و پر بودن آب در محفظه بین مجموعه پراب و سطح سیلندر اطمینان حاصل گردید.

نویز

ابعاد متنوع سیلندرها و اجبار به حرکت پرابها ایجاب می‌کند فاصله بین پراب هلدر و دستگاه چند کانال اولتراسونیک نسبتا زیاد و در حدود ده متر باشد. سیگنالهای اولتراسونیک که ماهیتا ضعیف و در حدود میلی‌ولت هستند باید با عبور از این فاصله و در کنار مدارات قدرت مربوط به موتورهای سه فازبه دستگاه التراسونیک برسند. خاموش و روشن شدنهای متوالی موتورها و جک ها خود از عوامل تولید کننده نویز است. بهمین خاطر در حالت معمولی پالسهای التراسونیک ناشی از خطا با سیگنال های نویز مخلوط و در عملکرد صحیح دستگاه اختلال ایجاد می‌کند. برای رفع مشکلات فوق استفاده از انواع تکنیک‌های کاهش نویز نظیر استفاده از کابل های کم نویز و شیلد دار، جداسازی زمین سیگنالها و مدارات قدرت در تابلو برق، حفر مناسب چاه زمین و.... باید رعایت شود. بدیهی است خطاهای ناشی از نویز درهنگامی که دستگاه مولتی کانال اولتراسونیک در گین بالاتری مورد استفاده قرار می‌گیرد بیشتر می‌شود. پس یکی از عامل‌های مهم در کاهش نویز استفاده از پراب‌هایی است که به گین کمتری برای نمایش مناسب پالسهای برگشتی از عیوب نیاز داشته باشند.

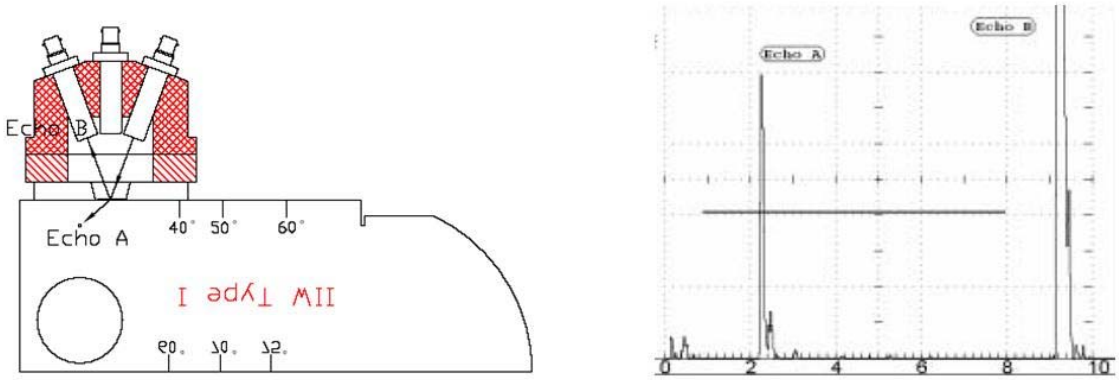
کالیبره کردن پرابها

برای پرابهای غوطه‌وری باید کالیبراسیونهای زاویه، تاخیر پراب، حساسیت، بیم اندیکس اعمال شود. وجود تقارن در قرارگیری پرابها موجب نمایش یک پالس برگشتی از پراب روبرو در کانال پراب در حال کالیبره می شود (شکل ۹). از طرفی با توجه به اینکه صوت از دو مسیر آب و فلز عبور می‌کند و سرعت ذخیره شده در دستگاه عمدتا سرعت صوت در فلز است، معادل مسافتی که صوت در آب طی می‌کند در صفحه نمایش نشان داده می‌شود. بعنوان مثال چنانچه صوت از پراب غوطه‌ور در آب با زاویه ۲۴ درجه بعد ازطی ۳۰ میلیمتر به سطح سیلندر خورده و پالس برگشتی از عیبی در عمق ۳ میلیمتری به دستگاه برگردد، و فرض کنیم دستگاه با استفاده از بلاک V1 برای ۱۰۰ میلیمتر کالیبره شده است با احتساب سرعت صوت در آب و سرعت عرضی صوت در فلز که به ترتیب ۱۴۷۳ و ۳۲۵۱ متر بر ثانیه هستند(مطابق شکل ۶) و
مطابق روابط ۱ تا ۳، پالس برگشتی از عیب در ۷۳ میلیمتری در صفحه دستگاه دیده می شود [۴-۵].

$$\frac{\sin 24°}{1473} = \frac{\mathrm{Sin}\,\theta_{st}}{3251} \rightarrow \theta_{st} = 63.8° \qquad BP_{2st} = \frac{3mm}{\cos 63.8°} = 6.8mm \tag{۱}$$

$$\frac{BP_{1w}}{V_w} - \frac{BP_{1t}}{V_{sst}} \rightarrow BP_{1st} - \frac{3251}{1473} \times 30 - 66.2mm \tag{۲}$$

$$BP_{total} = 66.2mm + 6.8 = 73mm \tag{۳}$$



شکل ۹: پالس ناشی از سوراخ بلاک استاندارد و پالس برگشتی از پراب روبرو

بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله ساختار و عملکرد دستگاه آزمون خودکار التراسونیک در خط تولید سیلندرهای تحت فشار مورد بررسی قرار گرفت. اگر چه با استفاده از هر دو نوع مکانیزم پرابهای تماسی و غوطه وری از سیستم پاسخ مناسبی بدست می آید، ولی با توجه به مشکل نادوری سیلندرها، استفاده از پرابهای غوطه‌وری بعنوان راه حل نهایی انتخاب گردید، سیستم موجود امکان تعیین عیوب طولی، عرضی و اندازه‌گیری ضخامت و اندازه گیری قطر داخلی و خارجی مطابق با استاندارد ISO-11439 را داشته و می تواند کل دیواره سیلندر را در مدت تقریبی ۲ دقیقه تست نماید. این تست برای سیلندرهای از قطر ۲۳۲ تا ۴۰۶ میلیمتر که طول آن حداکثر تا ۱۴۰۰ میلی‌متر بوده قابلیت کاربرد دارد. عملیات بارگزاری وبرداری سیلندر از انتهای سیستم و به صورت اتوماتیک صورت می‌گیرد. خوشبختانه با رفع مشکلات سخت افزاری و نرم افزاری، این دستگاه در خط تولید سیلندرهای دو کارخانه سیلندرسازی در حال استفاده بوده و قابلیت عیب یابی خود را در نمونه‌های واقعی نشان داده است. با عنایت به حضور روز افزون استفاده از پراب‌های Phased array تیم طراح در نظر دارد برای استفاده از آنها و امکان ارایه C-scan در مجموعه‌های آینده اقدام نماید.

مراجع

[1] ISO-11439, “Gas cylinders - High pressure cylinders for the on-board storage of natural gas as a fuel for automotive vehicles”, International Standard Organization, 2000.

[2] ISO-19078, “Gas cylinders - Inspection of the cylinder installation, and requalification of high pressure cylinders for the on-board storage of natural gas as a fuel for automotive vehicles, International Standard Organization”, 2006.

[3] استاندارد ملی ایران-۹۴۲۶، "مخازن گاز-بازرسی نصب و بازسنجی کیفیت مخازن فشار بالای نصب شده بر روی خودرو به منظور ذخیره گاز طبیعی به عنوان سوخت"، سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۷.

[4] P E More, “Non-destructive Testing Handbook, Vol. 7, Ultrasonic Testing”, American Society for Nondestructive Testing, Inc, USA, 2007.
[5] IAEA TECDOC 462, “Ultrasonic Testing of Materials at Level 2”, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1988.
[6] استاندارد ملی ایران ISIRI-ISO-9712، ″آزمون غیرمخرب - احراز شرایط و گواهی‌کردن کارکنان″، سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۸.
[7] ح .شیر آلی، شرکت آسیا ناما، ″بررسی استانداردهای ایمنی در بکارگیری CNG″، اولین کنفرانس بین المللی سی ان جی تهران ، مرداد ۸۷.
[8] امیر ترابی و جواد عرب، ″تخمین عمر مخزن CNG خودرو های دوگانه سوز در دوره های بازرسی ادواری، ″دومین کنفرانس بین المللی سی ان جی مرداد ۸۸.
[9] اشرف قند چی ، امیر قاسمی ، ″معرفی روش جدید TOFD جهت بازرسی مخازن CNG″ دومین کنفرانس بین المللی سی ان جی، مرداد ۸۸.
[10] M. Willcox, “Ultrasonic Inspection Equipment for Seamless Gas Cylinders”, insight NDT equipment Co, http://www.insight-ndt.com, Accessed April 2009.