



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

طراحی دستگاه تست اولتراسونیک جهت بازرسی میله های سوخت زیر کونیومی با قطرهای مختلف

حمید رضا سلطانی، میثم حمیدی تبار، جلیل رضازاده
سازمان انرژی اتمی، شرکت سوخت راکتورهای هسته‌ای،

چکیده:

لوله‌های مورد استفاده در راکتورهای هسته‌ای به عنوان غلاف سوخت باید عاری از هر گونه عیوب ساختاری باشند تا قادر به تحمل شرایط کاری راکتور باشند. یکی از روش‌های غیرمخرب برای شناسایی عیوب داخلی استفاده از آزمون فراصوتی^۱ می باشد. در این پروژه با توجه به شرایط خاص غلاف های سوخت (قطر و ضخامت کم و طول زیاد) سیستم مکانیزه ای برای تست غلاف ها به روش غوطه وری^۲ طراحی شده، که قادر است به طور پیوسته غلاف های سوخت با محدوده قطر ۹ الی ۱۶ میلی متر و تا ضخامت های ۱ میلی متری را از لحاظ وجود عیوب داخلی بررسی نموده و همچنین مشخصات هندسی شامل قطر، ضخامت، میزان بیضوی بودن^۳ غلاف و راستی^۴ آن را اندازه گیری و گزارش نماید.

کلمات کلیدی: آزمون فراصوتی، غلاف سوخت، زیرکونیوم، غوطه وری

مقدمه

در طی فرایند تولید لوله های زیرکونیومی در صنعت هسته ای پس از آلیاژسازی و شمش ریزی امکان ایجاد عیوب ریزی مانند حفره در شمش وجود دارد که در مراحل بعدی تولید یعنی فورجینگ، اکستروژن و در نهایت نورد لوله، این عیب به صورت عیبی طولی در آمده و در صورت عدم تشخیص می تواند عملکرد بهینه غلاف سوخت در راکتور را تحت تاثیر قرار داده و منجر به بروز خطرات احتمالی شود. یکی از روش های غیرمخرب برای تشخیص عیوب ریزی چون ترک^۵، تخلخل^۶، خراش^۷ و ... استفاده از آزمون فراصوتی می باشد. در این روش از امواج با

^۱Ultrasonic Test

^۲ Immersion

^۳Ovality

^۴Straightness

^۵Crack



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

فرکانس 100KHz الی 50MHz استفاده می شود. این فرکانس های بالا باعث می گردد موج صوتی از سطوح ریز عیوب داخل قطعات بازتابیده شود و امکان تشخیص عیوب را فراهم می نماید. برای بازرسی به روش آزمون فراصوتی می توان از امواج طولی^۸ و یا برشی^۹ استفاده نمود. امواج طولی، امواج فشاری هستند که حرکت ذرات در آن ها با جهت انتشار موج یکسان است در حالی که در امواج برشی (عرضی) جهت حرکت ذرات عمود بر جهت انتشار موج می باشد [۱].

سرعت انتشار امواج طولی و عرضی طبق روابط (۱) و (۲) بیان می شود که E مدول الاستیسیته، ρ چگالی و μ مدول برشی نیز طبق رابطه (۳) با مدول الاستیسیته (E) و ضریب پواسون (ν) ارتباط دارد.

رابطه (۱)

رابطه (۲)

رابطه (۳)

با جایگذاری ضرایب مربوط به فلز زیرکونیوم در روابط بالا سرعت موج طولی برابر با 4600m/s و موج برشی 2300m/s به دست می آید. همانطوری که می دانیم اندازه کوچکترین عیبی که توسط آزمون فراصوتی قابل تشخیص است نصف طول موج می باشد و طبق رابطه $\lambda = \frac{V}{f}$ به این نتیجه می رسیم که در فرکانس یکسان موجی که سرعت کمتری دارد قادر است عیوب کوچکتری را تشخیص دهد و در نتیجه طی این پروژه از امواج برشی استفاده خواهد شد [۲].

روش کار

الف- طراحی بخش فراصوتی

برای تشخیص عیوب ریزتر بهتر است از پراب هایی استفاده کرد که امواج برشی (عرضی) ایجاد می نمایند. از طرفی طبق قانون اسنل و اصل تغییر حالت موج می دانیم اگر موج طولی با زاویه ای غیر قائم به سطح قطعه برخورد کند پس از ورود به آن قطعه به مولفه های طولی و برشی (عرضی) تفکیک می شود که با انتخاب صحیح این زاویه می توان همواره در محیط مورد آزمایش تنها موج برشی (عرضی) داشت. در قسمت عیب یاب^{۱۰} برای همپوشانی کامل

^۶ Porosity

^۷ Scratch

^۸ Longitudinal Wave

^۹ Shear Wave

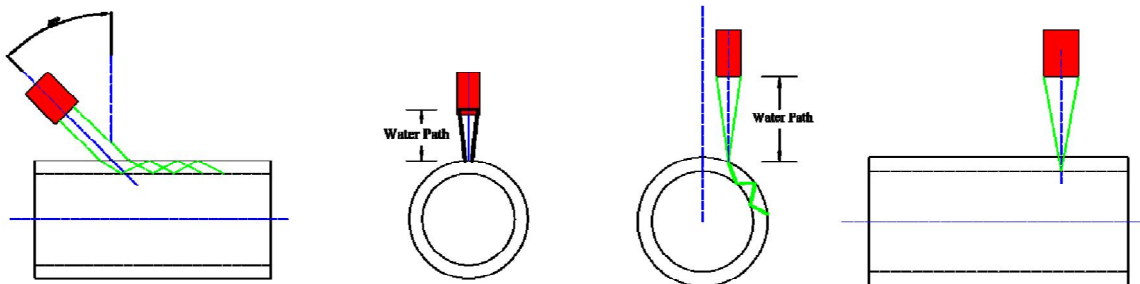
^{۱۰} Flaw Detection Unit



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

از دو عدد پراب نرمال با فرکانس 15MHz و تمرکز نقطه ای (جهت تشخیص عیوب طولی) و دو عدد پراب نرمال با فرکانس 15MHz و تمرکز خطی (برای تشخیص عیوب عرضی) استفاده شده است. همچنین در بخش اندازه گیر^{۱۱} از دو عدد پراب نرمال با فرکانس 15MHz و تمرکز نقطه ای (جهت اندازه گیری ضخامت و قطر لوله) و یک عدد پراب نرمال با فرکانس 10MHz و تمرکز نقطه ای (جهت اندازه گیری سرعت صوت در آب) بهره گرفت شده است. همانطوری که در شکل ۱ برای قسمت عیب یاب مشاهده می شود پراب های نرمال با تمرکز نقطه ای نسبت به محور عمود بر لوله آفست می گیرند تا در نهایت موج ورودی به لوله تنها موج برشی باشد. در شکل ۲ نیز پراب های نرمال با تمرکز خطی نسبت به محور عمود بر لوله زاویه می گیرند تا در نهایت موج ورودی به داخل لوله تنها موج برشی (عرضی) باشد و با این چیدمان پراب ها می توان تمام عیوب موجود در لوله را تشخیص داد [۳].



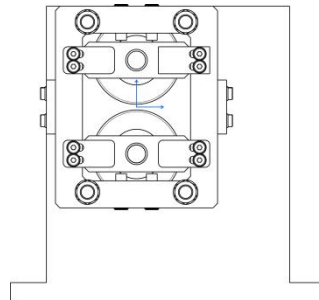
شکل ۲- چیدمان پراب جهت تشخیص عیوب عرضی

شکل ۱- چیدمان پراب جهت تشخیص عیوب طولی

ب- طراحی بخش مکانیکی

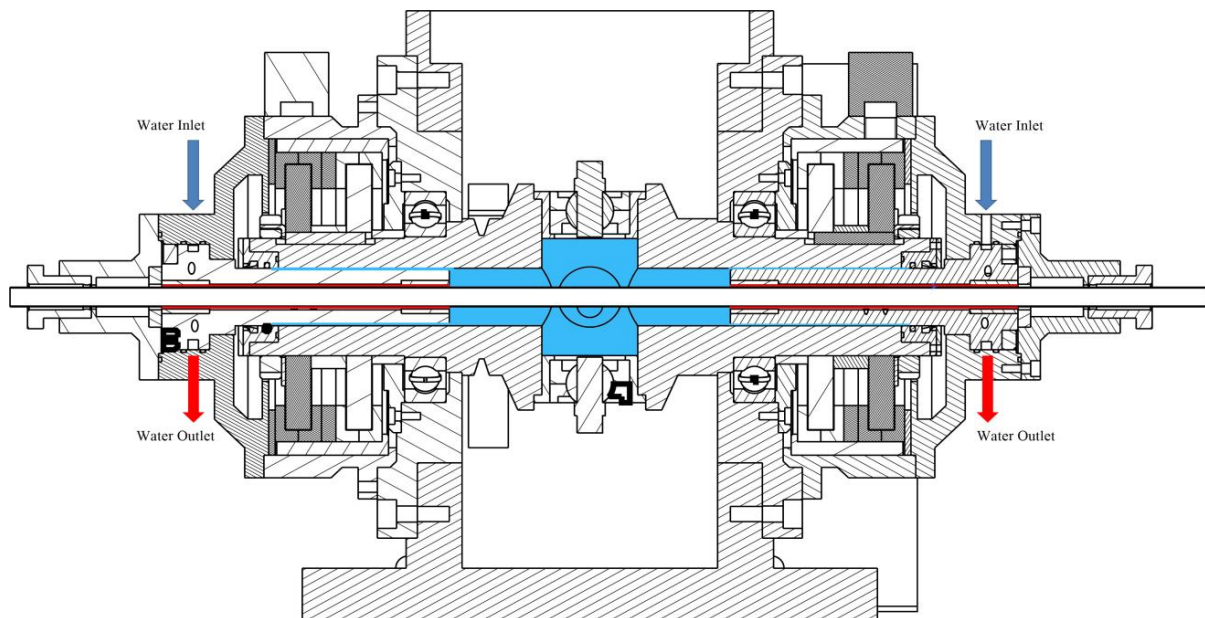
بخش مکانیکی این دستگاه از سه قسمت کشنده، عیب یاب و اندازه گیر تشکیل شده است. از آنجایی که طول غلاف های سوخت زیاد می باشد و با توجه به اینکه آزمون باید به صورت پیوسته در طول کل لوله انجام شود، نیاز به استفاده از دو نوع حرکت همزمان می باشد. حرکت طولی توسط واحد کشنده و حرکت چرخشی توسط مکانیزم تعبیه شده در واحدهای اندازه گیر و عیب یاب ایجاد می شود. واحد کشنده شامل دو عدد پولی با قابلیت تنظیم فاصله محورها از یکدیگر می باشد که لوله را گرفته و به سمت جلو می کشند. یکی از پولی ها هرزگرد و دیگری محرک می باشد. فاصله ی بین دو پولی قابل تنظیم بوده ولی موقعیت محور اصلی بین دو سطح خارجی پولی همواره ثابت بوده و دقیقاً در راستای محور چرخش واحدهای اندازه گیر و عیب یاب می باشد (شکل ۳).

^{۱۱}Measuring Unit



شکل ۳- قسمت کشنده

واحد عیب یابی شامل یک محفظه‌ی دوار توخالی و مجموعه قطعاتی که با این مجموعه در ارتباط هستند، می‌باشد. روش کار مجموعه‌ی عیب‌یاب اینگونه است که غلاف به طور پیوسته با سرعت معین درون محفظه وارد می‌شود. محفظه در حالی که پر از آب است با سرعت زیاد پرابها را حول محور غلاف چرخانده و امواج فراصوت را به سطح آن ارسال کرده و سپس داده‌های دریافتی را به واحد پردازشگر ارسال می‌نماید. (شکل ۴).



شکل ۴- قسمت عیب یابی

واحد اندازه‌گیر، دقیقاً مشابه واحد عیب‌یاب می‌باشد، فقط با توجه به تفاوت در ماهیت آزمون، تعداد و نوع پرابها با واحد عیب‌یاب متفاوت است. در این دستگاه یک سیستم گردش آب شامل تانک، فیلتر آب، الکتروپمپ، شیر یکطرفه، هیتر و چیلر (جهت ثابت نگاه داشتن دمای آب) نیز جهت تامین شرایط و الزامات غوطه وری استفاده شده است.

ب- طراحی بخش الکتریکی



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

در طراحی دستگاه آزمون فراصوتی برای هریک از قسمت های اندازه گیر، عیب یاب و کشنده^{۱۲} غلاف های سوخت یک موتور مجزا در نظر گرفته شده است. مشخصات الکتریکی موتورها مطابق با جدول ۱ می باشد.

جدول ۱- مشخصات الکتریکی موتورها

TAG NO.	Power(Kw)	Voltage(V)	Current(A)	Speed(rpm)	Frequency(Hz)	Ingress protection(IP)
M1 (Measurement Unit)	0.75	380	2.3	910	50	44
M2 (Flaw Detection Unit)	1.5	380	3.4	2840	50	44
M3 (Pulling System)	0.55	380	1.5	1390	50	44

در دستگاه مذکور به منظور کنترل سرعت حرکت رفت، برگشتی و چرخشی میله های سوخت از موتورهای مجهز به اینورتر استفاده شده است. اینورتر این قابلیت را دارد که با استفاده از روش کنترل $\frac{V}{f}$ ثابت، با تنظیم ولتاژ و فرکانس منبع تغذیه سرعت موتورها را از صفر تا سرعت نامی تغییر دهد. اینورتر این امکان را در اختیار بهره بردار قرار می دهد که موتورها را هم از طریق سیستم کنترل و هم بصورت دستی کنترل نماید. موتور بخش مذکور علاوه بر کنترل دور به منظور حرکت رفت و برگشتی میله های سوخت به صورت چپ گرد، راست گرد نیز فرمان پذیر بوده و اپراتور هم از طریق سیستم کنترل و هم از طریق سلکتور سوئیچ و پتانسیومتر که روی پنل محلی^{۱۳} (LCP) که در کنار دستگاه قرار می گیرد می تواند موتور را بصورت چپ گرد، راست گرد با سرعت متغیر کنترل نماید.

نتایج

استفاده از سیستم مذکور منجر به شناسایی عیوب با کوچکترین اندازه ۷۵ میکرومتر می شود. استفاده از روش غوطه وری برای تست قطعاتی که ضخامت اندکی دارند بهترین روش می باشد و در این پروژه نیز از آن جایی که غلاف سوخت قطر و ضخامت دیواره کمی دارند از مکانیزمی استفاده شد که شرایط غوطه وری همواره فراهم باشد و به طور پیوسته بتوان غلاف های سوخت را از لحاظ وجود عیوب داخلی بررسی نمود.

^{۱۲}Pulling System

^{۱۳}Local Control Panel



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

بحث و نتیجه گیری

پروسه تولید غلاف های سوخت که پروسه ای هزینه بر می باشد به علت مراحل مختلف، احتمال ایجاد عیوب ساختاری در غلاف سوخت را بالا می برد و از آن جایی که این غلاف های سوخت در شرایط عملیاتی تحت تنش های حرارتی و مکانیکی و خوردگی شدید می باشند، باید عاری از هر گونه عیب داخلی باشند. بهترین روش برای حصول اطمینان از سالم بودن غلاف های سوخت، آزمون فراصوتی می باشد. استفاده از چهار عدد پراب فرکانس بالا به همراه مکانیزم طراحی شده می تواند منجر به تشخیص کلیه عیوب داخلی در غلاف های سوخت شود. همچنین مکانیزم استفاده شده امکان بررسی غلاف های سوخت با دامنه قطر متفاوت را فراهم می سازد.

مراجع

- [1] Ajit K. Mal, University of California, Los Angeles, ASM Handbook, P 231, 1994.
- [2] A. Savin, L. Udpa, R. Steigmann, R. Grimberg, S. Udpa, NONDESTRUCTIVE EXAMINATION OF FUEL CHANNELS INPHWR NUCLEAR POWER PLANTS, 2005.
- [3] Standard Specification for Wrought Zirconium Alloy Seamless Tubes for Nuclear Reactor Fuel Cladding, ASTM B811-02, 2005.