تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۰۹
تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲۲

بازرسی غیر مخرب مولدهای بخار(PGV-1000 M) نیروگاه‌های هسته‌ای روسی مدل VVER-1000

سید فاضل قاضی اردکانی [۱]، رضا کاظمی اقدم [۲]
[۱] نیروگاه اتمی بوشهر fazelghazi@yahoo.com
[۲] نیروگاه اتمی بوشهر aghdamreza50@gmail.com

چکیده

تستهای غیر مخرب به عنوان یکی از مولفه های عمده تامین ایمنی در نیروگاه‌های هسته‌ای جایگاه ویژه ای دارند. با عنایت به اهمیت ایمنی و یکپارچگی مدارهای نیروگاه‌های هسته‌ای، بخصوص تجهیزات و خطوط لوله مدار اول، اعمال یک سلسله تستهای غیر مخرب می تواند اطمینان از عملکرد این تجهیزات را بالا برد. نباید فراموش کرد که با بازرسی های به موقع می توان از وقوع حوادث بسیار ناگوار ملی، منطقه ای و جهانی جلوگیری به عمل آورد. به عنوان مثالLOCA یا از دست دادن آب مدار اول که در واقع شکست عرضی لوله های مدار اول می باشد و یکی از عمده ترین خطرات در نیروگاه‌ها هسته‌ای به شمار می آید قابل پیشگیری است. تجهیزات مدار اول مانند راکتور، مولد بخار، فشارنده، پمپهاو لوله های اصلی مدار اول، بر اساس برنامه عمومی بازرسی حین بهره برداری بصورت دوره ای و منظم تحت تستهای غیر مخرب قراردارند. از تجهیزات فوق مولد بخار دارای جایگاه ویژه ای است. این تجهیز به عنوان مرز مدار اول و دوم نقش حساس و پیچیده ای در کارکرد نیروگاه دارد. وجود تقریبا ۱۱۰۰۰ تیوب U شکل جهت تبادل حرارتی بین مدار اول و دوم مؤید اهمیت کنترل این سطوح است. وجود منفذ در این تعداد لوله و سطح تبادل حرارتی می تواند مشکلات زیست محیطی و اقتصادی زیادی به همراه داشته باشد . از این رو کنترلها و بازرسی های دقیق و کارآمد غیر مخرب بر روی این تجهیز می تواند مشکلات زیادی را مرتفع نماید.

واژگان کلیدی: مولد بخار،M PGV-1000، VVER-1000 ، نیروگاه هسته‌ای بوشهر

مقدمه

در مقدمه بطور اختصار، اصول کار مولدهای بخار[۱] نیروگاه هسته‌ای را بررسی می‌کنیم.

مولد بخار جهت انتقال حرارت خنک‌کننده مدار اول[۲] به آب تغذیه مدار دوم[۳] و گرم کردن آن تا رسیدن به درجه حرارت نقطه جوش ، تبدیل آب تغذیه مدار دوم به بخار اشباع ، جذب رطوبت بخار و تولید بخار اشباع خشک، طراحی و ساخته می شود.

مولد بخار دارای دو کلکتور آب سرد و گرم است. آب گرم مدار اول (خنک‌کننده که تا دمای ۳۲۰درجه سانتیگراد در راکتور گرم شده است) توسط لوله های اصلی با قطر ۸۵۰ میلی متر (به اصطلاح خط گرم) به کلکتور گرم مولد بخار ارسال می‌شود.در کلکتور است که آب گرم که حرارت را از قلب راکتور با خود به همراه دارد، وارد تعداد ۱۱۰۰۰ لوله U شکل می‌شود و با گذر از این مسیر (حد فاصل کلکتور گرم تا کلکتور سرد) حرارت خود را به آبمدار دوم در مولد بخار می‌دهد. خنک‌کننده مدار اول تا۲۹۰ درجه سانتیگراد سرد می‌شود و در ادامه از طریق کلکتور سرد وارد خط سرد و سپس راهی پمپ اصلی مدار اول می‌شود (مدار بسته). در سوی دیگر آب مدار دوم می‌باشد که برای برداشت حرارت از آب مدار اول و تبدیل شدن به بخار از سمت مدار دوم وارد مولد می‌شود. آب تغذیه از طریق لوله ورود اصلی، وارد مولد بخار می‌شود و توسط توزیع کننده، پخش می‌شود. چرخش آب تغذیه درون مولد بخار به صورت طبیعی صورت می‌گیرد. در اثر تبادل حرارت، آب تغذیه به جوش آمده، بخار می‌شود. بخار تولید شده به سمت کلکتورهای بخار خروجی می‌رود. این بخار با چرخاندن توربین و روتور ژنراتور تولید برق را ممکن می سازد(شکل ۱و۲)[1] .

بدنه محفظه مولد بخار از ۶ قسمت تشکیل می‌شود که توسط جوش به یکدیگر متصل می‌شوند. این قسمتها شامل

[1] Steam generator
[2] Coolant
[3] Cooler

www.SID.ir

کف‌های بیضوی شکل دو طرف، کناره‌ها و مرکز بدنه می‌باشد.مشخصات فنی مولد بخار در جدول شماره (۱)ذکر شده است[2].

جدول (۱) مشخصات فنی مولد بخار[2].

ردیف	مشخصات فنی	مقادیر و ابعاد
۱	قدرت حرارتی	750+50 Mwt
۲	مقدار بخار تولیدی	ton/h 1470+103
۳	فشار بخار تولید شده	6.3 MP
۴	حرارت بخار تولید شده	278.5 °C
۵	حرارت آب تغذیه مدار دوم	164-220 °C
۷	حرارت آب ورودی مدار اول به مولد بخار	320 °C
۸	حرارت آب خروجی مدار اول از مولد بخار	290 °C
۹	فشار آب مدار اول در ورود به مولد بخار	15.7 MP
۱۰	دبی آب در گردش هر مولد بخار (مدار اول)	21200 m³/h
۱۴	فشار تست مولد بخار (قسمت مدار اول)	24.50 MP
۱۵	فشار تست مولد بخار (قسمت مدار دوم)	10.8 MP
۱۷	تعداد لوله‌های U شکل	11000
۱۸	ضخامت لوله‌های U شکل	1.5 mm
۱۹	قطر لوله‌های U شکل	16 mm

روش تحقیق

برنامه عمومی بازرسی قبل از بهره برداری[1] کلیه تستهایی که جهت کنترل وضعیت فلز پایه ، اتصالات جوشکاری، تجهیزات و لوله ها وتمامی سیستمهایی که روی ایمنینیروگاه اتمی تاثیر گذار هستندرا شامل می شود .بر اساس این برنامه کلیه قسمتهای مولد بخار و حجم کنترلها و پریود تکرار این تستها معرفی می گردد.بر اساس این برنامه عمومی،تستها شامل سه مرحله[3] :

۱-کنترل ورودی[2]: این تستها از ورود تجهیز به نیروگاه تا پایان مونتاژ انجام می شود.

۲- بازرسی اولیه[3]: این تستها پس از تستهای هیدرولیک مدار اول در فشار ۲۴/۵ مگا پاسکال و تست هیدرولیک مدار دوم در فشار ۱۰/۸ مگا پاسکال انجام می پذیرد تا عیوب بوجود آمده مشخص شود.

۳- بازرسی ثانویه: این تستها پس از تستهای گرم مدار[4] اول و دوم انجام می پذیرد.

پس از انجام بازرسی های فوق و اطمینان از صحت وضعیت تجهیزات و خطوط لوله ،ورود به بهره برداری آغاز می شود. براساس برنامه فوق مولد های بخار نیروگاه اتمی از زمان ساخت، انتقال و پذیرش در نیروگاه بوشهر، نگهداری، نصب و مونتاژ و پس از کلیه تستهای استحکامی مورد نیاز، تحت بازرسی های غیر مخرب متنوع و متعدد قرارمی گیرد. مباحث مطروحه نتایج میدانی حاصله از کنترلهای این تجهیز توسط تجهیزات بازرسی اتوماتیک روسی و اروپایی در بازرسی قبل از بهره برداری می باشد که مقایسه و تحلیل اجمالی بر آنها صورت گرفته است.

نتایج و بحث

تستهای غیر مخرب انجام گرفته بر مولد بخار از منظر نحوه انجام تستهای غیر مخرب، شامل دو دسته هستند. دسته اول تستهایی که بصورت دستی و غیر اتومات انجام می شود و دسته دوم شامل انجام تستهای غیر مخرب با استفاده از تجهیزات اتومات و کنترل از راه دور است.

دسته اول عمدتا شامل کنترلهایی است که از سمت مدار دوم و بدنه بیرونی مولد بخار انجام می پذیرد. بدلیل عدم آلودگی مدار دوم در شرایط نرمال و انجام کنترلهای دقیق دزیمتری در این مناطق در حین بازرسی ها ،انجام بازرسیهای غیر مخرب می تواند به صورت دستی با رعایت دقیق موارد ایمنی تشعشعی انجام گیرد.

این کنترلها شامل بازرسی چشمی، التراسونیک، مایع نافذ، ذرات مغناطیسی، تستهای نشتی می باشند که بر اساس برنامه بازرسی قبل از بهره برداری و برنامه های کاری[5] تهیه شده توسط لابراتوار مواد نیروگاه به فراخور حال قرار گرفته

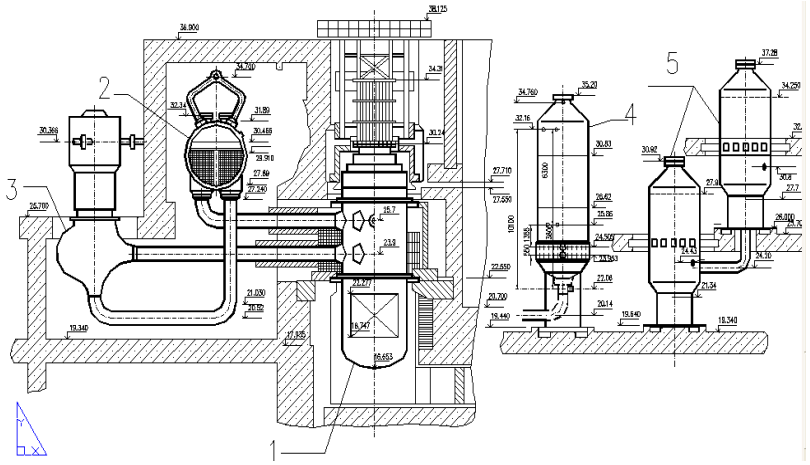
[1] Typical Program of Pre-Service Inspection
[2] Incoming Control
[3] Inspection 1
[4] Hut Run
[5] Working Program

www.SID.ir

است. نتایج بدست آمده حاکی از شرایط مناسب این تجهیز دارد.

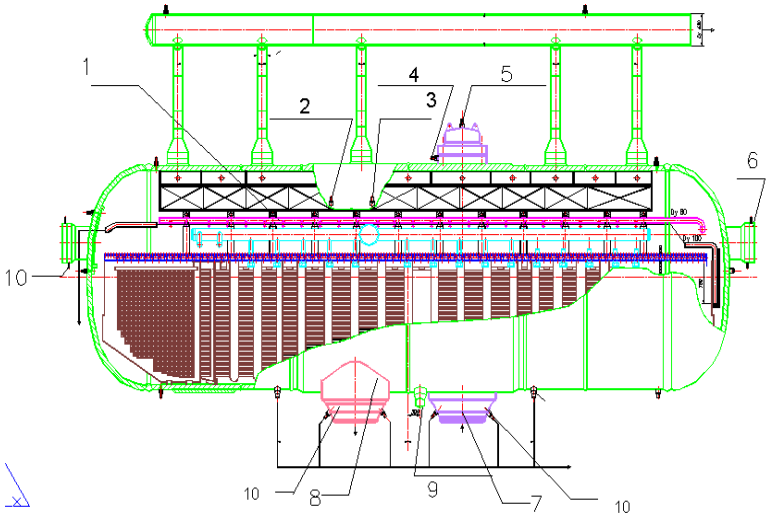
بازرسی چشمی و مایع نافذ تقریبا کلیه مناطق و خطوط جوش مولد بخار را با حجم ۱۰۰٪ پوشش می دهد. علاوه بر آن ناحیه ای در حدود ۱۰۰۰*۵۰۰میلی مترمربع از بدنه مولد بخار و از سمت درون آن در منطقه مرز آب و بخار توسط تست چشمی کنترل می گردد و بر اساس این بازرسی و در صورت نیاز تستهای مکمل مانند ذرات مغناطیسی و مایع نافذ نیز در این مساحت انجام می شود.این ناحیه مستعد بروز عیوب، بخصوص خوردگی حفره ای می باشد[1,3].

پیچهای محکم کننده سرهای کلکتور مدار اول و دوم با توجه به اینکه تحت فشار زیادی قرار می گیرند نیز توسط متدهای چشمی ، التراسونیک، مایع نافذ تست می شوند و در صورت تشخیص عیوب خطی بخصوص در رزوهای انتهایی هر دو سر مردود اعلام شده و تعویض می گردند. تمام مناطق آب بندی در هر باز و بسته شدن تحت تست چشمی و در صورت نیاز تستهای مکمل دیگری بخصوص مایع نافذ قرار می گیرد[1,3].



شکل۱- تجهیزات اصلی مدار اول

(۱-راکتور ۲-مبدل بخار ۳-پمپ اصلی ۴-فشارنده ۵-مخازن سیستم ایمنی غیر فعال[2,1])



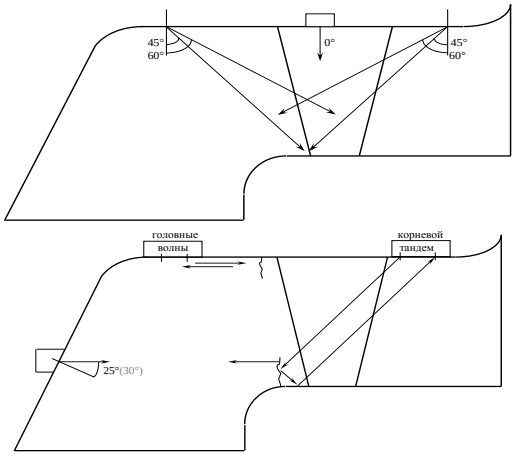
شکل۲- محفظه مولد بخار

(۱-هدر اب تغذیه اضطراری ۲-کنترل عدم نشتی فلانچ از مدار اول ۳-هواکش مدار اول ۴-کنترل عدم نشتی فلانچ از مدار دوم ۵-هواکش مداردوم ۶-دریچه ۷-ورود اب گرم ۸-خروج اب سرد ۹-درین ۱۰-خط جوش ۱۱۱[2]

www.SID.ir

خط جوش موسوم به خط جوش ۱۱۱ یکی از حساس‌ترین خطوط جوش مولد بخار محسوب می شود. این خط جوش محل اتصال بدنه مولد بخار با کلکتورهای مدار اول در قسمت پایینی کلکتورهای سرد و گرم است. بالغ بر ۱۰ نیروگاه تاکنون وجود ترکهای عرضی و طولی در اطراف این خط جوش را تجربه کرده و با چالش روبرو شده اند. قسمت معیوب معمولا از مولد بخار جدا شده و با جوشکاری محل مورد نظر را ترمیم می نمایند. با استفاده از متد التراسونیک معمولی و روش خاص، این ناحیه حساس تست می شود. این ناحیه در نیروگاه بوشهر کاملا بی عیب بوده است(شکل ۲,۷)[4] .

برای تست التراسونیک این خط جوش از پروبهای مستقیم، زاویه ای ۲۵ ،۳۰، ۴۵ و۶۰ درجه و پروبهای تاندوم[1] وموج سطحی[2] با زاویه ۱-۱۵ درجه استفاده می شود(شکل ۳و۷)[4] .



شکل ۳- نمایی از نحوه تست التراسونیک خط جوش ۱۱۱[4].

دسته دوم شامل تستهایی است که توسط دستگاههای اتوماتیک انجام می پذیردکه شامل کنترلهایی که از سمت مدار اول که در تماس با مواد و سیال آب آلوده و بعضا حاوی ذرات اکتیو مدار اول است انجام می پذیرد که عبارتند از:

۱-بازرسی چشمی- ویدئویی، ۲-بازرسی التراسونیک خط جوش کلکتور ، ۳-بازرسی ادی کارنت تیوپها و دیواره لوله ها. این مناطق شامل بدنه داخلی کلکتور سرد و گرم، تیوپهای U شکل تبادل حرارتی و محل اتصال این تیوپها به کلکتورها می باشند[5].

در نیروگاه هسته‌ای بوشهر دستگاه مذکور ساخت کشور روسیه و توسط انستیتوNIKIMTطراحی و ساخته شده است. این انستیتو ساخت و طراحی دستگاههای اتوماتیک نیروگاه تیان وان چین را نیز بر عهده داشته است. این دستگاه اصطلاحا 38CK016M نامیده می شود که شامل ۵ بازوی قابل نصب بر روی پایه اصلی است که هرکدام وظیفه بخصوصی را ایفا می کند[5].

۱- بازوی تست التراسونیک: این بازو شامل ۱۱ پروب می باشد. امواج ارسالی التراسونیک در دو صفحه (یکی عمود و دیگری موازی با محور خط جوش) و در هر صفحه در دو جهت ارسال می گردد. در صفحه عمود بر محور خط جوش پروبهای زاویه ای با موج عرضی ۴۵ و۵۰ درجه و موج طولی۷۰درجه با فرکانس ۱/۸ مگا هرتز استفاده می شود. در صفحه موازی با محور خط جوش پروبهایی زاویه ای با موج عرضی با زاویه ۵۰ درجه و با موج طولی ۷۰ درجه با فرکانس ۱/۸ مگا هرتز استفاده می شود. همچنین یک پروب دو قلو[3] با فرکانس ۲/۵ مگا هرتز نیز به کار میرود(شکل ۴).

وظیفه این بازو انجام تست التراسونیک بر روی خط جوش کلکتور مولد بخار و بررسی عدم تورق روکش ضد زنگ آن می باشد. با این تجهیز عیوبی با مساحت موثر ۵ میلی مترمربع و بزرگتر قابل تشخیص می باشد. این کلکتور توسط فولاد ضد زنگ اوستنیتی پوشش ضد خوردگی داده شده است و مرز این روکش با فلز اصلی جهت تشخیص تورق[4] کنترل می گردد. قابل ذکر است که عیوب درون پوشش ضد خوردگی مد نظر نبوده و کنترل نمی گردد در مرز فلز اصلی و پوشش ضد خوردگی عیوب با مساحت موثر۱۰ میلی مترمربع و بیشتر قابل تشخیص است[5].

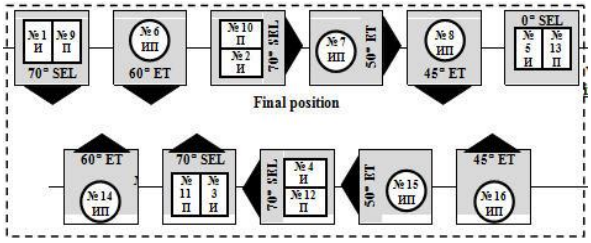
۲- بازوی تست ادی کارنت: وظیفه این بازو تست تیوپها و سر تیوپهای مولد بخار است. استفاده از پروبهای مناسب، تاثیر چشمگیری بر نتایج و دقت تستها دارد.کارایی این بازو شدیدا وابسته به نوع پروبهای استفاده شونده و توانایی نرم افزاری دستگاه دارد.این تست در نیروگاه اتمی بوشهر به حجم تقریبی۲۰٪ کل تیوپها توسط دو شرکت روسی و کراوات با تجهیزات متفاوت انجام گرفت. نتایج بدست آمده

[1]Tandom techniques
[2] Lamb wave Probe
[3]Dual Element Probe
[4] Lamination

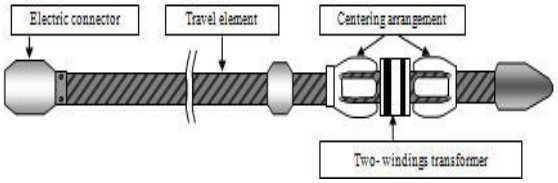
www.SID.ir

از هر دو تجهیز تا درصد بسیار بالایی همخوانی دارد. پروبهای بوبینی، چرخان و صلیبی در این تجهیزات استفاده می گردند[6]. دستگاه 38CK016M تنها قادر به استفاده از پروبهای بوبینی جهت تست تیوپها است.

در این نوع پروب‌ها(بوبینی)، دو سیم پیچ بر روی بدنه پروب بسته شده‌است(شکل ۵). این دو سیم‌پیچ از نظر عبور جریان الکتریکی خلاف جهت هم هستند. به همین دلیل به صورت تفاضلی عمل می‌کنند. حجم و عمق عیب با استفاده از این نوع پروب‌ها و با استفاده از قطعات کالیبراسیون قابل تشخیص است. اگر عیوبی به طور محیطی دور تیوب قرار داشته باشند، با استفاده از این نوع پروب، امکان تشخیص آن‌ها وجود ندارد[7]. علاوه بر آن، امکان تعیین محل عیب بر روی تیوب به طور شعاعی وجود ندارد. به علت سرعت بالا و قابلیت اطمینان این روش، معمولا کل طول تیوب‌ها ابتدا با این نوع پروب تست می‌شود. در مواردی با توجه به عدم امکان تشخیص عیوب توسط پروبهای بوبینی، از پروبهای چرخان و صلیبی استفاده گردیده است. در این نوع پروب‌ها، از یک یا چند سیم‌پیچ استفاده می‌شود. سیم‌پیچ، تنها در یک قسمت پروب قرار گرفته و در نتیجه برای تست کامل قطری تیوب، باید پروب داخل تیوب بچرخد (شکل ۵). از پروب‌های چرخان جهت تشخیص دقیق عیب همچنین محل و جهت عیب به صورت محیطی بر روی تیوب و محلهایی مانندخم‌ها و محل تکیه‌گاهها استفاده می‌شود[7].



شکل ۴- آرایش پروبهای التراسونیک بازوی دستگاه 38CK016M[



شکل ۵- بوبین پروب دستگاه 38CK016M[5].

یکی از موارد مهم تشخیصی در مولدهای بخار ، ضخامت باقی مانده تیوپها می باشد.نرم بندی این کاهش ضخامتها به این شکل است که تا قبل از بهره برداری کاهش ضخامت تا عمق بیشتر از ۰/۰۵میلیمترعیب محسوب می گردد.تا سال پانزدهم از کارکرد این مولدها کاهش ضخامت تا عمق بیشتر از ۰/۶میلیمترو بعد از سال پانزدهم تا سال سی ام کاهش ضخامت تا عمق بیشتر از ۰/۶۵میلیمترعیب محسوب می شود[8].

در مواقعی که رسوب بر بدنه تیوپها نشسته است یا ذرات فلزی بر بدنه لوله، سیگنالهای اشتباه را ارسال می کند از پروبهای مخصوص چرخان همراه با لرزش استفاده می گردد.در این شرایط لرزش ایجاد شده ذرات را از بدنه داخلی لوله جدا کرده و پس از شلیک دوباره پروب ، که منجر به تمیزی لوله می گردد سیگنال مربوطه ثبت و آنالیز می گردد.علاوه بر این وجود آب درون تیوپها، سیگنالهای اشتباه را همراه با تداخل نامفهوم آنها موجب می شود لذا می بایست کاملا تیوپها خشک باشند.در نیروگاه بوشهر با بستن لاستیک به سر پروبهای بوبینی و ارسال آنها به درون تیوپها، لوله هاخشک گردید.تفاوت اختلاف پتانسیل بین پروب و تیوبها عامل سیگنالهای اضافی است.

با توجه به نگهداری مناسب مولد های بخار در نیروگاه بوشهر این مولدها در وضعیت کاملا مناسبی قرار داشتند.نتایج کنترلهای ادی کارنت این مطلب را به اثبات رسانید.در نیروگاه تیان وان چین نگهداری اشتباه مولدهای بخار موجب مشکلات زیادی گردید.

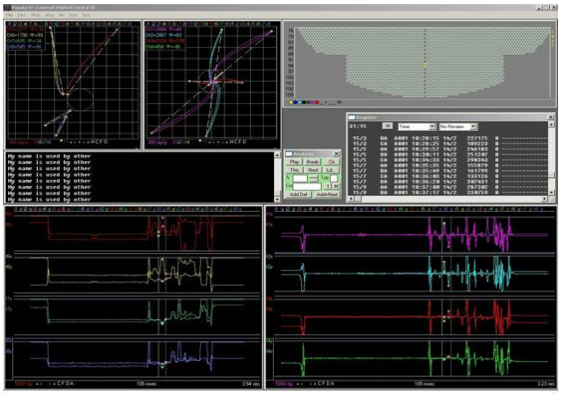
۳- بازوی تست چشمی: جهت بازدید چشمی بدنه کلکتور و سرلوله های تیوبهای مولد بخار مورد استفاده قرار می گیرد. نوع دوربین و بخصوص توانایی این تجهیز جهت مشخص کردن دقیق اندازه های عیب و بخصوص عمق، حایز اهمیت است.

۴- بازوی براده برداری و آماده سازی جهت جوشکاری لوله های Uشکل: در مواقعی که تیوبهای مولد بخار می بایست بسته شود قبل از عملیات جوشکاری می بایست آماده سازی سر لوله هاجهت انجام جوشکاری انجام پذیرد. لازم به ذکر است که در حال حاضر جوشکاری سر تیوبها تقریبا جای خود را به بستن مکانیکی[1] داده است. لذا در دستگاههای ساخت غرب در حال حاضر این بازو کاربردی ندارد.

[1]Mechanical plugging technique

www.SID.ir

۵- بازوی جوشکاری و پلاگ کردن لوله های معیوب: در دستگاه 38CK016M پس از قرار دادن بوش فلزی درون تیوبی که بایستی بسته شود و پس ازآماده سازی محل سر لوله های تیوبهای معیوب با قرار دادن یک بوش فلزی و جوشکاری آن از دو سمت کلکتور سرد و گرم، تیوب مذکور کاملا بسته می گردد. در دستگاههای غربی بستن لوله به روش مکانیکی انجام می گیردکه این فرایند ساده تر و با ریسک کمتری خواهد بود. علاوه بر آن جوشکاری، تنشهای حرارتی را به دیواره لوله ها و اطراف محل جوشکاری وارد می کند که مناسب ارزیابی نمی گردد. در نیروگاه بوشهر هیچ تیوپی نیاز به پلاگ کردن نداشته است.



شکل ۶- نمایی از مانیتور دستگاه 38CK016M[5].

شکل ۷- نمایی از خط جوش ۱۱۱ و ترک بوجود آمده درون آن در نیروگاه زاپاروسکی اکراین سال ۲۰۱۰.

نتیجه گیری

۱- انجام بازرسی های چشمی توسط دوربینهای دستگاه اتوماتیک زمانی کارآمدی کامل را خواهد داشت که بتواند عمق عیب سطحی یا خراش دیده شده سطحی را برآورد نماید.

۲- با توجه به اهمیت پیشگیری از خروج آلودگی مواد رادیواکتیو از مدار اول و همچنین کوتاه بودن زمان تعمیرات نیروگاه استفاده از تجهیزات دقیق در زمینه تست ادی کارنت بسیار سرنوشت ساز است. توانایی تجهیزات بکار گرفته شده جهت مشخص کردن عیوب با کمک پروبهای بوبین، چرخان و صلیبی، بسیار حایز اهمیت است. این ساختار به روز و دقیق توسط دستگاههای ساخت کشور کرواسی و چند کشور غربی دیگر بکار گرفته شده است. در نیروگاه بوشهر تشخیص دقیق عیب توسط پروبهای مخصوص این تجهیزات مرتفع گردید. همچنین امکان شلیک همزمان دو پروب(دو پوشر)[1] در این تجهیزات و سادگی کار با آنها سرعت عملکرد را بالا برده و منافع اقتصادی را رقم می زند. دستگاه38CK016Mدارای یک پوشر می باشد.

۳-در صورت کم شدن ضخامت تیوپها و یا نشتی از آنها دوسر تیوپها می بایست بسته شود. این عمل توسط دستگاه 38CK016M با متد جوش اتوماتیک ذوبی بدون الکترود انجام می پذیرد. دستگاهها و متدهای اروپایی از روش پلاگ مکانیکی و اتومات و بدون عمل جوشکاری استفاده می نمایند که این روش با اطمینان بیشتر همراه است و تاثیرات نامطلوب جوشکاری را بر بدنه کلکتور به همراه ندارد.

۴- خط جوش شماره ۱۱۱ به دلیل جمع شدن مواد حاصل از خوردگی(عدم سیرکوله مناسب درون مولد بخار در این ناحیه) و تسریع انتشار ترک، می بایست با فواصل کوتاه تری تحت تست قرار گیرد.ساخت و مونتاژ صحیح و بهره برداریمناسب می تواند تا حدود زیادی در طول عمر مولد بخار موثر باشد.

۵- آنچه که نباید مورد غفلت واقع شود حضور کارشناسان خبره در تمام مراحل تست است.آنالیز سیگنالهای التراسونیک و ویدئویی و بخصوص ادی کارنت نیازمند تجارب بالا است که این مهم باید توسط نیروگاه قبل از اجازه انجام تستها، توسط نمونه های امتحانی تایید گردد.توانایی دستگاه و شایستگی فنی کارشناسان اپراتور و آنالیزاتور معمولا توسط نمونه های استاندارد امتحانی تایید می شود.

[1]Dual pusher system

www.SID.ir

مراجع

[1] ОКБ “Гидропресс”, ОАЭИ, АЭС «Бушер», Блок №1, " парогенератор ПГВ-1ОООМ(В) С ОПОРІ",Руководство по эксплуатации, Часть1.446.05Рэ, 1999.

[2] قاضی اردکانی،سید فاضل، "بررسی دقیق سیستمهای ایمنی-اضطراری نیروگاه های هسته‌ای نسل(V-320)VVER-1000 و مقایسه آن با نیروگاه هسته‌ای بوشهر(V-446)VVER-1000 "،پایان نامه کارشناسی ارشد،دانشگاه شیراز،۱۳۸۷.

[3] ВНИИ АЭС "Typical pre-operational test program of base metal and welded joints of BNPP unit 1 safety-related equipment and pipelines”. 53.BU.10.0.AB. PM. ATEX0077.

[4] ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»," МЕТОДИКАУЛЬТРАЗВУКОВОГОКОНТРОЛ Я УЗЛА ПРИВ АРКИКОЛЛЕКТОРАКПА-РОГЕНЕРАТОРУ ВВЭР-1000",МЦУ-11-98п,с изменением № 1, 2007.

[5] Research and Development Institute of Construction Technology, NIKIMT, "inspection system for steam generator’s" 38–СК 016М.00.00.00.00. Д1, Д4.

[6] IAEA, "Strategy for Assessment of WWER Steam Generator Tube Integrity", IAEA-TECDOC-1577, December 2007.

[7] OH. Columbus, " Nondestructive Testing Handbook, Vol. 10", Nondestructive Testing Overview, American society for Nondestructive Testing, ASNT, second edition, 1996.

[8] ВНИИ АЭС, "нормы дефектов теплообменных трубок парогенераторов реакторной установки типаВВЭР-1000",РД-ЭО-0157-99,1998.

Nondestructive Inspection of Russian Steam Generators (PGV-1000M) Model VVER-1000a

Seyed Fazel Ghazi Ardekani[1], Reza kazemi Aghdam[1]

[1]Busher NPP

Abstract

Nondestructive testing has a special status as one of the main safety components in nuclear power plants. Given the importance of safety and integrity of nuclear power plant circuits, especially the primary circuit equipment and pipelines, the application of a series of Nondestructive tests can be assured improved performance of these equipment. It should not be forgotten that timely inspections can prevent very disastrous national, regional and global events. For example, the LOCA, or the loss of coolant accident, which is the first failure of the primary circuit prevented. The first circuit equipment, such as the generator, steam generator, pressurizer, pumps and main circuit pipes, are based on a general inspection plan during operation periodically and regularly under Nondestructive testing. Based on the above-mentioned equipment, the steam generator has a special position. This equipment as the first and second circuit boundary plays a critical and complex role in the power plant's operation. There are approximately 11,000 U-shaped tubes for heat exchange between the first and second circuits, which confirms the importance of controlling these levels. The presence of pores in this number of tubes and the heat exchanger level can have many environmental and economic problems. Therefore, accurate and efficient Nondestructive checks and inspections on this equipment can solve many problems

Keywords: Steam generator, M PGV-1000 ، VVER-1000, BNP

www.SID.ir