جمهوری اسلامی ایران
وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی
معاونت روابط کار

مرکز تحقیقات و تعلیمات
حفاظت فنی و بهداشت کار

دستورالعمل فنی آزمایش ایمنی ادواری ظروف تحت فشار

تهیه شده در مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار

بسم الله الرحمن الرحيم

جمهوری اسلامی ایران
وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی
معاونت روابط کار

دستورالعمل فنی

آزمایش ایمنی ادواری ظروف تحت فشار

تهیه شده در مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار با همکاری دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مولفان و گردآورندگان: جیران نفردستگردی
و ملیحه خواجه زاده

مرکز تحقیقات و تعلیمات
حفاظت فنی و بهداشت کار

چاپ اول
۱۴۰۰

سرشناسه : نفردستگردی، جیران، ۱۳۶۲-
عنوان و نام پدیدآور : دستورالعمل فنی آزمایش ایمنی ادواری ظروف تحت فشار/ مولفان و گردآورندگان جیران نفردستگردی، ملیحه خواجه‌زاده ؛ تدوین و گردآوری مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار با همکاری دانشگاه صنعتی امیرکبیر. مشخصات نشر : تهران: مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری : ۱۸۷ص.
۱-۲۰-۶۲۰۳-۶۰۰-۹۷۸ : شابک وضعیت فهرست نویسی : فیپا
یادداشت : کتابنامه: ص.۱۸۵ - ۱۸۷. موضوع : مخزنهای تحت فشار -- پیشبینی‌های ایمنی
Pressure vessels -- Safety measures : موضوع : ایمنی صنعتی
Industrial safety : موضوع شناسه افزوده : خواجهزاده، ملیحه، ۱۳۶۱-
شناسه افزوده : مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار
شناسه افزوده : دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)
Amir Kabir university of technology Tehran polytechnic
رده بندی کنگره : TS۲۸۳ رده بندی دیویی : ۶۸۱/۷۶۰۴۱
شماره کتابشناسی ملی : ۸۵۲۰۳۱۷
اطلاعات رکورد کتابشناسی : فیپا

دستورالعمل فنی آزمایش ایمنی ادواری ظروف تحت فشار

پدیدآورندگان: مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار با همکاری دانشگاه صنعتی امیر کبیر
ناشر: مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار
نوبت چاپ: اول / پاییز ۱۴۰۰
قیمت: رایگان
شمارگان: ۱۰۰ نسخه

ISBN:978-600-6203-20-1
۱-۲۰-۶۲۰۳-۶۰۰-۹۷۸:شابک

مرکز پخش: تهران، بزرگراه آیت الله سعیدی، چهارراه یافت آباد
بلوار معلم، نرسیده به میدان معلم کد پستی: ۱۳۷۱۶۱۳۵۱

کلیه حقوق مادی و معنوی برای این مرکز محفوظ است
و هرگونه سوء استفاده و فروش به غیر پیگرد قانونی دارد.

مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار

سخنی از معاون محترم روابط کار

در رویکردهای نوین جهانی حق داشتن محیط کار ایمن و سالم یک انتخاب نیست، بلکه یکی از مهم‌ترین حقوق پایه هر انسان محسوب می‌گردد؛ تحقق کار شایسته زمانی میسر است که بنگاه‌های اقتصادی اصول ایمنی و بهداشت کار را به‌عنوان یکی از اولویت‌های مهم خود در نظر گرفته و بر آن اهتمام جدی ورزند. در این بین نقش بی‌بدیل آموزش ایمنی کار به صورت نظام‌مند و فراگیر در پیشگیری از بروز حوادث شغلی با اجرای آموزش‌های هدفمند و موثر بیش از پیش آشکار می‌گردد. بر همین اساس معاونت روابط کار پس از سالیان متمادی، با اتخاذ سیاست‌های نوین و بروز آموزشی؛ از طریق مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار و به واسطه کارشناسان و اساتید مجرب آن مرکز و با بهره‌مندی از دانش تخصصی وکارشناسی مراکز دانشگاهی و علمی و پژوهشی کشور و با حمایت‌های جناب آقای دکتر عبد الملکی وزیر محترم تعاون، کار و رفاه اجتماعی، جناب آقای دکتر شریعتمداری، وزیر محترم وقت و جناب آقای دکتر پناه، معاون محترم توسعه مدیریت و منابع؛ اقدام به تهیه و تدوین محتواهای آموزشی یکپارچه و استاندارد منطبق با نیازسنجی‌های آموزشی و همچنین دستورالعمل‌های فنی با موضوعات مختلف در زمینه ایمنی و حفاظت فنی نموده‌است. امید است با تکیه بر آموزش‌های اثربخش و بهینه بتوانیم در جهت تحقق شعار «انسان سالم محور توسعه پایدار» و اعتلای فرهنگ ایمنی و تقلیل حوادث و کاهش بیماری‌های ناشی از کار در بنگاه‌های اقتصادی کشور گام‌های بزرگ و موثری در جهت صیانت از سلامت نیروی کار برداریم. ان شاء الله.

حاتم شاکرمی

معاون وزیر تعاون، کار و رفاه اجتماعی

مقدمه ناشر

بی‌شک یکی از نشانه‌های بارز توسعه پایدار در هر کشور، ایجاد و ارتقای فرهنگ ایمنی است که به صیانت از نیروی انسانی و حفظ منابع مادی و معنوی منجر خواهد شد. به طور یقین دستیابی به چنین هدفی نیازمند رشد همه جانبه علمی و فرهنگی در زمینه ایمنی و بهداشت کار است، که از این مجمل تهیه و انتشار کتب و استانداردهای ایمنی یکی از راهکارهای موثر در بسترسازی مناسب در این خصوص به شمار می‌رود که در نتیجه نیازسنجی‌های علمی تهیه و تدوین شده باشد.

مرکز تحقیقات وتعلیمات حفاظت فنی وبهداشت کاروزارت تعاون کارورفاه اجتماعی، در سال ۱۳۴۸ با هدف تامین ایمنی وسلامت نیروی انسانی شاغل در واحدهای صنعتی، تولیدی، خدماتی، کشاورزی و معدنی کشور تاسیس ومستند به قانون کار جمهوری اسلامی ایران، بعنوان مرکز تخصصی ایمنی وبهداشت کاراقدام به خدمت رسانی به جامعه کار وتلاش کشور می‌نماید. این مرکز از سال ۱۳۸۸ ودر راستای توسعه و رسالت خطیر و وظایف قانونی آموزشی وپژوهشی خودورفع خلاء ناشی از کمبود کتب فنی وتخصصی در زمینه ایمنی وبهداشت کار، اقدام به تاسیس واحد انتشارات با هدف، هدایت، راهبری وانتشار این کتب در سطح کشور نمود. در همین راستا این مرکز اقدام به استانداردسازی منابع آموزشی ایمنی وحفاظت فنی و تقویت میزان اثربخشی آموزش‌های مرتبط و به تبع آن ایجاد نظام یکپارچه در فرآیندهای آموزشی و همچنین تدوین دستورالعمل‌های حفاظت فنی و ایمنی، به عنوان یک حرکت پویا و نوین و با تکیه بر آخرین دستاوردهای حوزه ایمنی و حفاظت فنی از طریق بهره‌گیری از دانش اساتید و متخصصان مراکز دانشگاهی، علمی و تحقیقاتی کشور نموده است. امید است بهره‌مندی از محتواهای آموزشی و دستورالعمل‌ها و منابع علمی جدید بتواند در ترویج و ارتقای فرهنگ ایمنی کار، افزایش بهره وری، کاهش حوادث و بیماری‌های ناشی از کار نقش موثری ایفا نماید. در این میان برخود لازم می‌دانم ضمن تشکر از گردآورندگان محترم این دستورالعمل دکتر جیران نفردستگردی و سرکار خانم مهندس ملیحه خواجه زاده، از تلاش‌های عموم همکاران ارزشمند خود در مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار از جمله آقایان مهندس آرش گودرزی، مهندس علی قنادان ، مهندس غلام‌حسین حسینی و دکتر مهدی حسین آبادی و نیز همه عزیزانی که در تولید و تدوین این دستورالعمل ما را یاری نموده‌اند تشکر و سپاسگزاری نمایم.

درپایان؛ مرکز تحقیقات وتعلیمات حفاظت فنی وبهداشت کار با چاپ اثر مزبور به عنوان نسخه اولیه منتشر شده؛ آمادگی بهره‌مندی مستمر از بازخوردها و نظرات و پیشنهادات اصلاحی و سازنده کلیه اساتید، متخصصان و فعالین این عرصه؛ به منظور بروزرسانی ورفع نواقص احتمالی، وهرچه پربارتر شدن محتوای آن را خواهد داشت.

امیرعباس پرکنی

رئیس مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار

فهرست

عنوان — شماره صفحه

فصل ۱- تعاریف، مفاهیم و اهمیت موضوع..... ۱۱

۱-۱ مفاهیم و اهمیت موضوع..... ۱۳

۱-۲ بازرس شخص سوم..... ۱۳

۱-۲-۱ تعیین صلاحیت بازرس شخص سوم..... ۱۴

۱-۲-۲ محدوده کار بازرس شخص سوم ۱۴

۱-۲-۳ صدور انواع گواهینامه‌ها ۱۴

۱-۲-۵ مسئولیت بازرس ۱۵

۱-۳ تعاریف..... ۱۷

۱-۴ پیوست..... ۱۹

۱-۴-۱ آشنایی با انواع ظروف تحت فشار..... ۱۹

فصل ۲ -دستورالعمل‌های بازرسی قبل از راه‌اندازی..... ۲۵

۲-۱ پیش‌نیازها و ایمنی کار..... ۲۸

۲-۲ بازرسی پیش از ساخت..... ۲۹

۲-۳ بازرسی حین ساخت و نظارت بر تست‌ها ۳۳

۲-۳-۱. بازرسی..... ۳۴

۲-۳-۲ تشریح موارد کلی بازرسی در مراحل جوشکاری..... ۳۷

۲-۴ بازرسی پس از ساخت..... ۳۹

۲-۴-۱ جمع‌بندی پس از بازرسی‌ها..... ۴۴

۲-۵ بازرسی جوش و انواع تست‌های غیرمخرب..... ۴۶

۲-۵-۱ منابع استاندارد جوشکاری..... ۴۶

۲-۵-۲ عملیات حرارتی پس از جوش PWHT Post-Weld Heat Treatment..... ۴۸

۲-۵-۳ الزامات بازرسی جوش..... ۵۰

۲-۵-۴ تست‌های غیر مخرب ((NDT)Non-Destructive Testing)..... ۵۱

۲-۶. نحوه‌ی بررسی، حمل و تایید محل استقرار ظروف تحت فشار..... ۹۰

۲-۶-۱ آماده سازی برای حمل..... ۹۰

۲-۶-۲ مدارک نهایی برای تحویل تجهیز..... ۹۱

۲-۶-۳ نصب دیگ..... ۹۱

۲-۶-۴ پیوست..... ۹۲

فصل ۳- بازرسی ادواری حین کارکرد ظروف تحت فشار..... ۹۵
۳-۱ انواع بازرسی دوره‌ای در ظروف تحت فشار و مراحل آماده‌سازی آن..... ۹۷
۳-۱-۱ بازرسی در حین سرویس انواع مخازن..... ۹۹
۳-۱-۲ اقدامات اولیه و امکانات مورد نیاز ۹۹
۳-۱-۳ ابزارهای بازرسی..... ۱۰۲
۳-۲ بازرسی ظاهری..... ۱۰۳
۳-۳ نحوه‌ی انجام تست ضخامت‌سنجی..... ۱۰۷
۳-۴ نحوه‌ی انجام تست هیدرواستاتیک..... ۱۰۸
۳-۵ نحوه‌ی آزمایش ایمنی ادواری برای صدور تاییدیه در ظروف تحت فشار با تعمیرات اساسی..... ۱۱۶
۳-۶ دستورالعمل ایمنی بازرسی فنی..... ۱۱۷
۳-۷ ضمیمه..... ۱۲۱
۳-۷-۱ آشنایی مختصر با تنش‌های داخلی در ظروف تحت فشار..... ۱۲۱
۳-۸ جداول..... ۱۲۴
فصل ۴ -آزمایش‌های ادواری متعلقات جانبی ظروف تحت فشار..... ۱۳۱
۴-۱ نحوه‌ی آزمایش عملکرد متعلقات حفاظتی ظروف تحت فشار و نحوه‌ی احراز کالیبراسیون آنها..... ۱۳۴
۴-۱-۱ شیر اطمینان..... ۱۳۵
۴-۱-۲ پرشر سوییچ‌ها و گیج‌های فشار..... ۱۴۶
۴-۱-۳ کنترل کننده‌های سطوح سیال..... ۱۴۹
۴-۱-۴ ترموستات اگزوز و نظایر آن..... ۱۵۰
۴-۲ نحوه‌ی آزمایش ایمنی سیستم آب‌رسانی..... ۱۵۶
۴-۲-۱مشکلات آب دیگ..... ۱۵۷
۴-۲-۲ مواد شیمیایی برای تصفیه آب..... ۱۵۷
۴-۲-۳ وظایف مواد شیمیایی..... ۱۵۸
۴-۲-۴ روش‌های تصفیه آب..... ۱۵۹
۴-۲-۵ نگهداری از دیگ‌های رزرو..... ۱۶۰
۴-۲-۶ سختی آب..... ۱۶۱
۴-۳ نحوه‌ی آزمایش ایمنی سیستم اگزوز دود و حذف آلاینده‌های ناشی از احتراق..... ۱۶۵
۴-۳-۱ روش‌های کنترل NOx..... ۱۶۶
۴-۴ نحوه‌ی آزمایش ایمنی سیستم سوخت رسانی و مشعل..... ۱۶۷
۴-۴-۱ آزمون‌های دوره‌ای سیستم سوخت رسانی..... ۱۶۸

۴-۴-۲ انتخاب سوخت..... ۱۷۱
۴-۵ تعیین مفاد آموزش‌های ایمنی لازم برای ارایه به متصدی تاسیسات..... ۱۷۳
۴-۵-۱ تمیزکاری و آماده سازی یک دیگ جدید..... ۱۷۵
۴-۵-۲ راه اندازی عادی دیگ..... ۱۷۶
۴-۵-۳ افزودن یک دیگ به سیستم قبل..... ۱۷۹
۴-۵-۴ بازرسی دوره‌ای دستگاه‌های ایمنی و کنترل‌گر..... ۱۷۹
فصل ۵ -معرفی آیین‌نامه‌ها و استانداردها..... ۱۸۱
۵-۱ تعریف استاندارد..... ۱۸۳
۵-۲ آشنایی با انواع استانداردها..... ۱۸۴
۵-۳. نهادهای قانون‌گذار ۱۸۹
۵-۳-۱ شورای‌عالی حفاظت فنی کشور..... ۱۹۰
۵-۳-۲ آشنایی با مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار ۱۹۰
منابع ۱۹۱

۱

فصل اول

تعاریف، مفاهیم و اهمیت موضوع

تعاریف، مفاهیم و اهمیت موضوع

۱-۱ مفاهیم و اهمیت موضوع

هدف از تدوین این دستورالعمل تشریح الزاماتی است که باید در هنگام بازرسی مخازن تحت فشار و دیگ‌های بخار توسط بازرسان رعایت گردد. این دستورالعمل تمامی الزامات بازرسی و آزمون‌های مورد نیاز، قبل از راه اندازی و حین کارکرد مخازن تحت فشار شامل: آزمایش‌های غیر مخرب، آزمایش هیدرواستاتیک، ضخامت‌سنجی و ... را مشخص و معین می‌سازد. همچنین این دستورالعمل، آزمایش‌های ادواری مورد نیاز برای متعلقات جانبی مخازن تحت فشار را نیز مشخص و معرفی می‌نماید.

دامنه کاربرد: با توجه به دامنه کاربرد سیستم و ماهیت فعالیت بازرسی، این دستورالعمل در مورد بازرسی مخازن تحت فشار و دیگ‌های بخار کاربرد دارد.

۱-۲ بازرس شخص سوم

بازرس، شخصی است که از طرف مرجع بازرسی برای انجام عملیات بازرسی مطابق دستورالعمل‌ها و استانداردها، انتخاب می‌گردد. مرجع بازرسی، شخص یا نماینده سازمانی است که از تولیدکننده، طرف قرارداد، مالک و کاربر مستقل می‌باشد. احراز صلاحیت بازرس با وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی است.

شرکت بازرسی شخص سوم برای پروژه‌های گسترده در فرآیند مناقصه تعیین می‌گردد تا مطابق فرآیند پیش‌بینی شده، بر صحت کیفیت کالا از نظر تطابق با مشخصات فنی و استانداردهای مربوطه نظارت داشته

باشد و نسبت به تأیید، صدور مدارک و گواهی‌های مربوطه اقدام نماید. مناقصه مذکور توسط کارفرما و یا پیمانکار اصلی پروژه و از بین شرکت‌های شخص سوم مورد تأیید برگزار می‌گردد. بازرس این شرکت مطابق برنامه بازرسی (Inspection Test Plan(ITP)) تأیید شده و بر اساس درخواست و هماهنگی فی مابین سازنده و کارفرما یا پیمانکار اصلی پروژه صورت می‌پذیرد. شرکت بازرسی شخص سوم در پروژه ذینفع نمی‌باشد و برای حصول اطمینان کارفرمای اصلی از صحت فعالیت‌های کنترل کیفی سازندگان به‌کارگیری می‌شود. همچنین پس از نصب و راه اندازی تجهیزات، شرکت بازرسی شخص سوم بنا به درخواست کارفرما بازرسی‌های ادواری حین کارکرد تجهیزات را نیز انجام می‌دهد. داشتن و ارائه گواهی نامه‌ها و مدارک تایید شده توسط بازرس شخص سوم مبنی بر انجام بازرسی‌های ادورای حین کارکرد تجهیزات در هنگام مراجعه بازرس وزارت کار به‌کارخانجات و صنایع مختلف از طرف کارفرما الزامی است.

■ ۱-۲-۱ تعیین صلاحیت بازرس شخص سوم

بازرس فنی شخص سوم باید دانش و تجربه لازم در خصوص دیگ بخار و ظروف تحت فشار را دارا باشد. فرآیند بازرسی فنی شخص سوم معمولاً برای ۲ منظور اصلی: ۱) احراز استاندارد بودن ماشین (qualified) است که در هنگام و بعد از ساخت توسط مجریان استاندارد انجام می‌شود و ۲) احراز ایمن بودن ماشین (verified) است که در زمان بهره‌برداری توسط مجریان وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی به صورت ادواری صورت می‌پذیرد. احراز صلاحیت هر گروه از مجریان بنا به تشریفات قانونی در هر یک از مبادی، حسب شرح وظایف انجام می‌شود.

■ ۱-۲-۲ محدوده کار بازرس شخص سوم

بازرسی شخص سوم (مورد تایید کارفرما) برای ارائه خدمات بازرسی بر روی کالاهای یا تجهیزات تولید شده (که در این کتاب بالاخص ظروف تحت فشار می‌باشند) در هنگام تحویل توسط پیمانکار یا سازنده و پس از راه‌اندازی در حین کارکرد مأمور می‌گردد. فعالیت‌های زیر شامل خدمات بازرسی شخص سوم می‌باشد.

■ ۱-۲-۳ صدور انواع گواهینامه‌ها

بازرسی استاندارد شخص سوم باید نسبت به صدور گواهینامه برای کلیه‌ی مواد، تجهیزات و واحدهای پروژه پس از اتمام عملیات ساخت و قبل از تحویل کالا در ساخت اقدام نماید. این مدرک به مفهوم گواهی انطباق محصول با مشخصات فنی و کدها و استانداردهای طراحی و ساخت از طرف شرکت بازرسی استاندارد شخص سوم می‌باشد که در طی پروژه و در انتها در کتابچه نهایی کنترل کیفیت قرار داده شده و به‌کارفرمای اصلی تحویل می‌گردد. محدوده وظایف بازرسی استاندارد شخص سوم برای صدور هر نوع گواهینامه‌ای منوط به آگاهی و اشراف بر مدارک مهندسی، بررسی اقلام سفارش شده، بررسی و تایید رویه‌های تست و بازرسی

می‌باشد. این رویه‌ها قبل از ساخت توسط سازنده بر مبنای استاندارد و مشخصات فنی پروژه تهیه و تدوین گردیده و به تایید پیمانکار، شرکت بازرسی استاندارد شخص سوم و کارفرمای اصلی رسیده است. پس از تحویل و راه اندازی تجهیزات، بازرس شخص سوم ایمنی به درخواست کارفرما اقدام به انجام بازرسی‌های ادواری حین کارکرد ظروف تحت فشار و متعلقات جانبی آنها نموده و نسبت به صدور گواهینامه‌ها اقدام می‌نماید.

■ ۴-۲-۱ فعالیت‌های ساخت در کارگاه سازندگان

پیمانکار باید بازبینی و تأیید بازرسی استاندراد شخص سوم بر روی کلیه‌ی فعالیت‌های ساخت در کارگاه سازندگان را اخذ نماید. اجرای این امر مشتمل بر فعالیت‌های زیر می‌باشد:

- بررسی و تأیید شرح روش جوشکاری‌ها، گواهی مهارت جوشکاران
- روش انجام عملیات حرارتی
- روش انجام تست‌های فشار
- روش انجام تست‌های غیر مخرب
- روش اجرای تست‌های عملکردی
- دستورالعمل آماده‌سازی سطح، رنگ و پوشش
- مرور مدارک کالیبراسیون تجهیزات تست و بازرسی
- مرور کتابچه نهایی کنترل کیفیت و غیره...
- فعالیت‌های ساخت در سایت

پیمانکار باید بازبینی و تأیید شخص سوم استاندارد بر روی کلیه‌ی فعالیت‌های ساخت در سایت را پیگیری نماید. اجرای این امر مشتمل بر فعالیت‌های زیر می‌باشد:

- بازبینی و تأیید شرح روش جوشکاری
- بررسی، تأیید و صدور گواهی مهارت جوشکاران (در صورت نیاز)
- رویه‌ی اجرای عملیات حرارتی و مدارک مرتبط با تجهیزات مربوطه
- روش اجرای تست‌های غیر مخرب، مدارک مرتبط با تجهیزات NDT و تأیید اپراتورهای مرتبط
- روش اجرای تست‌های هیدرواستاتیک و تأیید تجهیزات مرتبط
- گزارشات NDT، گزارشات هیدرواستاتیک و غیره...
- حضور و نظارت بر تست‌های عملکردی اعمال بار بر روی تجهیزات نقل و انتقال در سایت
- حضور و نظارت بر کلیه‌ی تست‌های مرتبط با مولدها
- بازبینی و تأیید مدارک مرتبط با حمل و انتقال تجهیزات سنگین در سایت

■ ۵-۲-۱ مسئولیت بازرس

اجرای بازرسی مطابق با دستورالعمل و رعایت کلیه موارد بر طبق استاندارد از مسئولیت بازرسان می‌باشد و مسئولیت مدیر بخش بازرسی فنی، در اختیار قراردادن لوازم و تجهیزات بازرسی و فراهم کردن امکانات برای اجرای بازرسی می‌باشد. همچنین مسئولیت اطمینان از اجرای این دستورالعمل به عهده مدیر فنی بازرسی می‌باشد.

بازرس شخص سوم استاندارد، مسئول تأیید شرایط عملکردی ظروف تحت‌فشار است و دارای مسئولیت‌های زیر می‌باشد:

- کنترل اعتبار آخرین گواهی سازگاری
- بازرسی ظروف از داخل و خارج
- بررسی محاسبات، نقشه‌ها و روش‌های جوشکاری تعمیرات
- کنترل مواد تعمیر از لحاظ سازگاری با مقتضیات آیین‌نامه
- کنترل رویه‌های جوش کاری
- کنترل صلاحیت جوش کاری و متصدیان جوشکاری
- بازرسی کار تعمیرات پس از تکمیل آن
- امضای فرم تعمیر جوش
- تکمیل گزارش بازرسی
- ارائه گزارش بازرسی به مقامات قانونی در زمان مقتضی

بازرس شخص سوم تضمین می کند که کلیه بازرسی‌های لازم، مطابق با قوانین و مقررات قانونی انجام می‌شود.

اولین بازرسی: اولین بازرسی یک مخزن یا دیگ جدید توسط یک بازرس استاندارد شخص سوم به درخواست کارفرما انجام می‌شود. این بازرسی (بازرسی اولیه) یا (بازرسی پذیرش) نامیده می‌شود. اولین بازرسی کنترل می کند که آیا دیگ دارای نگهدارنده، لوله کشی، شیر ایمنی و شیرهای دیگر، ستون آب، گیج بخار و سایر دستگاه‌هایی که بر اساس قوانین و مقررات قانونی روی دیگ نصب می‌شوند، می‌باشد.

هرگونه تناقض با آیین‌نامه‌های مورد تایید باید قبل از بازرسی توسط بازرس اصلاح شود. ساخت و نصب باید بر اساس طرح‌ها و مشخصات مصوب قانونی باشد. اگر نتیجه بازرسی رضایت بخش باشد، یک گواهی بازرسی صادر می‌شود.

تمام بازرسی‌های ایمنی باید حداقل مطابق با خواسته‌های دستورالعمل مورد تایید وزارت کار بر مبنای استانداردهای ملی و بین المللی مانند مدارک قید شده به شرح زیر انجام پذیرد، مگر آن که موارد دیگری مورد توافق قرارگرفته باشند که قوانین سخت‌تر انجام خواهد گرفت.

- ASME BPV CODE SEC VIII- DIV 1
- ASME BVP CODE SEC II
- ASME BVP CODE SEC V
- ASME BVP CODE SEC IX
- ASME B 31.3
- ISIRI 4231

۳-۱ تعاریف

با توجه به نیاز به آشنایی با برخی مشخصه‌های فنی به‌کار برده شده در بازرسی‌های ایمنی و فرآیند ساخت ظروف تحت فشار، مناسب است تعاریف این مشخصه‌های فنی قبل از شرح دستورالعمل‌های بازرسی ارائه گردند. همه تعاریف ارائه شده مطابق با آخرین تجدید نظر استانداردهای معتبر ISIRI 4231 و ISIRI 7911 و ASME SEC VIII می‌باشند.

۱. کارفرما: سازمان یا شرکتی که صاحب کار می‌باشد و دارای حق مالکیت قانونی برای ظروف تحت فشار می‌باشد.

۲. پیمانکار یا تولیدکننده: سازمان یا شرکتی که مسئولیت اجرای ساخت ظروف را به عهده دارد. تولیدکننده ممکن است تمام یا بخشی از فعالیت یا کار (شامل طراحی یا مونتاژ) را پس از مطلع نمودن بازرس شخص سوم (در صورت کاربرد) به پیمانکاران فرعی واگذار نماید. تولیدکننده برای فعالیت یا کار واگذار شده به پیمانکاران فرعی کاملاً مسئول است.

۳. شرکت بازرسی: سازمان یا شرکتی که مسئولیت نظارت، بازرسی و تهیه گزارش کیفیت از فعالیت‌های اجرائی پیمانکار و نحوه‌ی عملکرد تجهیزات را مطابق با قرارداد به عهده دارد.

۴. دیگ یا مولد بخار: هر کجا از کلمه دیگ یا مولد بخار استفاده شده، منظور دیگ‌های از نوع پوسته‌های جوش شده می‌باشد.

۵. مخزن تحت فشار: محفظه یا ظرفی است که مطابق تعاریف و محدوده کاری ASME بخش۸ بوده که بر اساس فشار داخلی یا فشار خارجی طراحی می‌گردد. معیار تبعیت از این استاندارد بیشتر بودن فشار داخلی مخزن از ۱۵psi یا ۱atm می‌باشد.

ظروف تحت فشار به شکل استوانه‌ای با کلگی، تخت، مخروطی، بیضوی، نیمکره و یا به شکل کروی طراحی شده و انواع استوانه‌ای به دو صورت عمودی و یا افقی نصب می‌گردند. برج‌های فرآیندی، راکتورها، مبدل‌های حرارتی و... از انواع مخازن تحت فشار می‌باشند.

در جدول ۱-۱، دسته بندی دیگ‌های بخار بر اساس استاندارد ملی ISIRI 4231 و با توجه به محدودیت‌های فشار در ساخت انواع دیگ ذکر گردیده است.

جدول ۱-۱. دسته بندی دیگ‌های بخار بر اساس استاندارد ISIRI ۴۲۳۱

دسته‌بندی	محدودیت‌های کاربردی
گروه۱	هرگاه هریک یا هر دو محدودیت زیر را دارا باشند: الف: $0.725N/mm^2$ < فشار طراحی ب: ۹۲۰ < قطر متوسط پوسته دیگ (mm) × فشار طراحی (N/mm^2)
گروه۲	هرگاه هیچ یک از محدودیت‌های زیر را دارا نباشند: الف: $0.725N/mm^2$ < فشار طراحی ب: ۹۲۰ < قطر متوسط پوسته دیگ (mm) × فشار طراحی (N/mm^2)
گروه۳	هرگاه هیچ یک از محدودیت‌های زیر را دارا نباشند: الف: $0.38N/mm^{2'}$ < فشار طراحی ب: ۴۸۰ < قطر متوسط پوسته دیگ (mm) × فشار طراحی (N/mm^2)

قابل ذکر است که در شرح روش‌های اجرایی، در صورت مشابه بودن روش‌های بازرسی در انواع دیگ‌ها، فقط از کلمه دیگ استفاده شده است و در صورت موارد خاص برای هر دیگ، نوع دیگ بیان می‌گردد (مانند عملیات حرارتی در دیگ‌های بخار).

۶. فشار کاری(Operating Pressure): فشار کاری مخزن در حین کارکردن را گویند.

۷. فشار طراحی (Design Pressure): فشار تعیین شده در محاسبات طراحی توسط طراح و استانداردهای به‌کار گرفته شده که برای تعیین حداقل ضخامت مجاز برای اجزاء مختلف مخزن تحت فشار، در نظر گرفته می‌شود و معمولاً این فشار حدود۱۰ ٪ یا ۳۰psi بیشتر از فشار کاری (هر کدام که بزرگتر باشند) در نظر گرفته می‌شود. چنانچه مخزن دارای ارتفاع قابل توجهی باشد (بیشتر از ۱۱ متر) لازم است که فشار استاتیکی ناشی از وزن سیال نیز به رقم مزبور اضافه گردد.

۸. ماکزیمم فشار کاری مجاز(Maximum Allowable Working Pressure): به ماکزیمم فشار قابل تحمل برای ضعیف‌ترین قسمت مخزن گفته می‌شود. در واقع بیشترین فشار مجاز برای راه اندازی مخازن تحت فشار، مطابق با الزامات طراح و بر اساس محاسبات طراحی شده، فشاری است که تحت آن فشار، ضعیف‌ترین عضو مجموعه به نقطه نهائی تنش تسلیم خود می‌رسد و این در حالی است که مخزن در شرایط خوردگی، دمای طراحی، وضعیت جغرافیائی طبیعی، تأثیر بارگذارهای گوناگون از قبیل باد، فشار خارجی و فشار هیدرو استاتیک قرار داشته باشد.

۹. کلاسه‌بندی اتصالات جوش (Weld Joint Category): این کلاسه‌بندی در ساخت تجهیزات به‌کار می‌رود و کلاسه‌بندی اتصالات جوش بر اساس ASME بخش۸ و قسمت UW-3 می‌باشد. از این تعریف در مشخص نمودن درجه بازرسی، موقعیت جوش و تعیین نوع جوش در سربه سر، لبه‌ای و ماهیچه‌ای (Butt، Fillet، Lap Joint) استفاده می‌شود. در این دسته بندی از ۴ گروه نام برده می‌شود که عبارتند از:

- **گروه A:** بر روی مخزن یا اتصالاتی نظیر نازل‌ها و جوش پوسته به عدسی کاربرد دارد. این گروه شامل تمامی جوش‌های طولی می‌باشد.
- **گروهB:** این دسته تمامی جوش‌های محیطی به غیر از جوش محل اتصال پوسته به عدسی را شامل می‌شود.
- **گروهC:** تمامی جوش‌های فلنچ به نازل یا فلنچ به پوسته در این گروه جای می‌گیرند.
- **گروهD:** این گروه جوش‌های محل اتصال نازل به تجهیز را شامل می‌شود.

۱۰. ضریب کارآیی اتصال (Joint Efficiency): که توسط روش‌های قوسی و یا گازی برای اتصالات جوشی با نفوذ کامل انجام می‌شود. در UW-12 قید شده که ضریب اتصال فقط به نوع اتصال و درجه آزمون غیر مخرب (میزان تست رادیوگرافی) آن بستگی داشته و در محاسبات با حرف E نشان داده می‌شود. حداکثر مقدار آن برابر با ۱ می‌باشد. مهم‌ترین کاربرد ضریب کارآیی اتصال در تعیین ضخامت تجهیز می‌باشد.

۱۱. برنامه آزمون و بازرسی Quality Control Plan (QCP) **یا** Inspection Test Plan (ITP): سندی است که در آن برای کلیه فعالیت‌های تست و بازرسی برنامه‌ریزی شده است و در آن نقش کلیه سازمان‌های بازرسی، نوع تست و فعالیت‌ها، معیار و استاندارد مرجع آنها، مدارک لازم و گاهی مسئولیت‌ها و چارت سازمانی پروژه مشخص شده است. ITP یا QCP مدرکی است که توسط سازندگان، مشتریان و لایه‌های مختلف بازرسی استفاده می‌شود که فعالیت‌های ساخت، بازرسی و تست‌ها در آن مشخص می‌گردد.

۱۲. خوردگی مجاز: بیشترین حد مجاز خوردگی در طول مدت عمر کاری مخزن طراحی شده است که مقدار کمینه ضخامت طراحی شده را تحت کنترل خواهد داشت.

۱-۴ پیوست

۱-۴-۱ آشنایی با انواع ظروف تحت فشار

توضیحات کامل در مورد انواع ظروف تحت فشار در جلد دوم این مجموعه کتاب‌ها با عنوان ایمنی کار در بهره برداری از ظروف تحت فشار سطح بازرسان به تفصیل آمده است. در ادامه توضیحاتی درباره انواع این ظروف ارائه می‌گردد.

از مهمترین و پرکاربردترین انواع ظروف تحت فشار می‌توان به دیگ‌ها یا مولدهای بخار اشاره نمود. همزمان با نیاز به فشارهای بالاتر بخار توسط صنایع، روند ساخت دیگ‌های بخار نیز تحولات بیشتری را تجربه نمود. بدین منظور برای دستیابی به بازده حرارتی بیشتر، نیاز به تبادل حرارتی بیشتری احساس می‌شد، در نتیجه سطوح در معرض حرارت با در نظر گرفتن تعداد زیادی لوله باریک که در آن‌ها گازهای گرم، جریان داشتند و اطراف آنها آب وجود دارد، افزایش یافتند. این دیگ‌ها با داشتن حجم کمتر راندمان مناسبی داشتند. دیگ‌های بخار لوله دودی امروزی دو یا سه پاس، در حقیقت انواع تکامل یافته دیگ‌های مزبور می‌باشد.

تحول عمده دیگر در ساخت این نوع دیگ‌ها، تکامل از دیگ‌های لوله دودی سه پاس (عقب خشک) به ساخت دیگ‌های عقب مرطوب می‌باشد.

مولدهای بخار طبقه بندی‌های مختلفی دارند که در زیر به آنها اشاره شده است.

۱. طبقه بندی از نظر مصارف مولد بخار
۲. طبقه بندی از نظر سیکل آب و بخار
۳. طبقه بندی از نظر مصالح صنعتی و متالوژیکی
۴. طبقه بندی از نظر سطوح تبادل حرارتی
۵. طبقه بندی از نظر محتوای لوله‌ها
۶. طبقه بندی از نظر فشار کوره مولد بخار
۷. طبقه بندی از نظر نوع احتراق
۸. طبقه بندی از نظر منبع انرژی مولد بخار
۹. طبقه بندی از نظر نوع سیال عامل
۱۰. طبقه بندی از نظر نوع چرخش سیال عامل
۱۱. طبقه بندی از نظر نام سازنده مولد بخار
۱۲. طبقه بندی از نظر شکل و موقعیت مولد بخار

۱. طبقه بندی از نظر مصارف مولد بخار:

مولدهای بخار را از نظر نوع مصرفی که در صنایع مختلف دارند، می‌توان دسته بندی کرد:

بعضی از آنها برای تولید انرژی الکتریکی به‌کار می‌روند و برخی دیگر برای تهیه‌ی آب داغ یا بخار خشک و اشباع ساخته می‌شوند. در صنایع حمل و نقل (زمینی یا دریایی) به طرح‌های خاصی از مولدهای بخار نیاز است. همچنین در جوار واحدهای عظیم بخار ساز نیروگاهی، مولدهای بخار خاصی به عنوان مولد بخار کمکی نصب می‌شوند.

۲. طبقه بندی از نظر سیکل آب و بخار:

از نظر فشار کاری عموماً سه نوع مولد بخار وجود دارد:

- مولدهای بخار مینیاتوری با حداکثر فشار bar ۷ برای تولید آب داغ یا بخار خشک و اشباع با حداکثر سطوح تبادل حرارتی ۲ مترمربع می‌باشند.
- مولدهای بخار کم فشار برای تولید آب داغ و بخار خشک و اشباع به‌کار می‌روند، که اگر این مولدهای بخار برای تولید آب داغ به‌کار روند، طبق استانداردهای ASME برای حداکثر فشار bar ۱ و دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد ساخته می‌شوند.
- مولدهای بخار قدرتمند (Power Boilers) که برای تهیه‌ی بخار اشباع یا بخار داغ با فشار بالاتر از bar ۱۲

ساخته می‌شوند. اغلب مولدهای بخار نیروگاهی از این نوع هستند.

۳. طبقه بندی از نظر مصالح صنعتی و متالوژیکی:

ASME در این مورد استانداردهای دقیق و مبسوطی دارند که طبق آن، مولدهای بخار قدرتمند از انواع فولادهای کم کربن، آلیاژی و پر آلیاژی ساخته می‌شوند. همچنین مولدهای بخار کم فشار از چدن یا فولاد و مولدهای بخار مینیاتوری از مس یا فولادهای ضدزنگ ساخته می‌شوند.

۴. طبقه بندی از نظر سطوح تبادل حرارتی:

سطح تبادل حرارتی (سطح گرمایش) یک مولد بخار عبارت است از مساحت سطحی که در معرض محصولات احتراق قرار دارد. این طبقه بندی از طرف انستیتو مولدهای بخار فولادی آمریکا (SBI)، برای مولدهای بخار فولادی کم ظرفیت غیر نیروگاهی صورت گرفته که آنها را به سه دسته تقسیم می کنند:

- از ۱۳ تا ۳۵۰ مترمربع سطح تبادل حرارتی، با خروجی ۱۸۸۱۰-۶۴۸۰ کیلو ژول
- سطح تبادل حرارتی از ۲ تا ۳ مترمربع با خروجی حداکثر ۱۸۸ کیلو ژول
- مولدهای بخار با سوخت فسیلی حداکثر با خروجی ۱۸۸ کیلو ژول

البته روشن است که سطوح تبادل حرارتی مولدهای بخار نیروگاهی بسیار بیش از این مقادیر است.

۵. طبقه بندی از نظر محتوای لوله ها:

- دیگ‌های بخار لوله دودی
- دیگ‌های بخار لوله آبی

مولدهای بخار لوله دودی بخارساز حداکثر برای فشار ۱۷ bar و با خروجی $11.3m^3/hr$ ساخته می‌شوند (البته در موارد خاص و سفارشی امکان افزایش تا ظرفیت ۵۵ تن برساعت و فشار ۳۰ بار هم وجود خواهد داشت)، اما مولدهای بخار لوله آبی حتی برای فشارهای فوق بحرانی آب و تناژهای بسیار بالا طراحی و ساخته‌می‌شوند.

۶. طبقه بندی از نظر فشار کوره مولد بخار:

اگر فشار داخل کوره مولد بخار مورد نظر باشد، از این منظر مولدهای بخار به سه دسته تقسیم می‌شوند:

مولدهای بخار تحت فشار، مولدهای بخار با فشار اتمسفریک و مولدهای بخار تحت خلاباید به این نکته اشاره کرد که نوع کوره یک مولد بخار از نظر فشار درون آن، در پیدایش لوازمی نظیر دمنده هوای احتراق و مکنده دود و گازها دخیل است. همچنین با توجه به فشار کوره، سیستم تخلیه گازها از دودکش متغیر خواهد بود.

۷. طبقه بندی از نوع احتراق:

مولدهای بخار از نظر نوع احتراق به دو دسته تقسیم می‌شوند: مولدهای بخار با احتراق درونی و بیرونی

در مولدهای بخار با احتراق درونی، کوره دارای مشعل و لوازم لازم برای احتراق خواهد بود. اما در مولدهای بخار با احتراق بیرونی، ما حصل محصولات احتراق سیستم‌های دیگر تخلیه شده و از انرژی آنها برای جوشاندن آب استفاده می گردد، مانند سیکل‌های ترکیبی.

۸. طبقه بندی از نظر منبع انرژی مولد بخار:

انرژی مورد تبدیل در مولدهای بخار ممکن است از احتراق سوختهای فسیلی تامین شود. همچنین این مکان وجود داردکه تامین حرارت سیال عامل را تحول شیمیایی غیر از احتراق به عهده گیرد. در برخی از مولدهای بخار انرژی الکتریکی عامل افزایش دمای سیال عامل می‌باشد. حتی ممکن است این انرژی از منابع انرژی هسته‌ای تامین گردد. در این صورت ساختار مولدهای بخار تفاوت‌های عمده‌ای با یکدیگر خواهند داشت.

۹. طبقه بندی از نظر نوع سیال عامل:

سیال عاملی که در مولدهای بخار موجب جذب حرارت می‌شود و می‌جوشد، ممکن است آب، بخار آب، روغن یا جیوه باشد.

۱۰. طبقه بندی از نظر نوع چرخش (سیرکولاسیون) سیال عامل:

- مولد بخار با چرخش طبیعی
- مولد بخار با چرخش اجباری
- مولد بخار با چرخش مختلط: ممکن است مولد بخاری برای تولید بخار داغ در دو حوزه فشاری کار کند که در آن صورت، در فشار پایین، هنگامی که نیروی حاصل از اختلاف داتیسته‌ها کافی باشد، چرخش طبیعی، و هنگام افزایش تناژ (افزایش فشار) چرخش اجباری می‌شود.

۱۱. طبقه بندی از نظر نام سازنده مولد بخار:

نام سازنده مولد بخار یا ابداع‌کننده مولد بخار، نه تنها از نظر کیفیت طرح، بلکه از نظر شکل، چرخش سیال (سیرکولاسون) و... می‌تواند برای مصرف‌کننده مشکل‌گشا باشد.

۱۲. طبقه بندی از نظر شکل و موقعیت لوله‌های مولد بخار:

- مولد بخار با لوله‌های افقی
- مولد بخار با لوله‌های قائم
- مولد بخار با لوله‌های خمیده

چند مورد خاص از دیگ‌ها

۱۳. دیگ بخار عمودی(Vertical Steam Boiler):

- این محصول دارای راندمان حرارتی قابل توجه ۹۰٪ می‌باشد.
- دیگ بخار عمودی مجهز به سیستم پیش‌گرم هوای ورودی احتراق است. با استفاده از این سیستم، فرآیند احتراق سوخت در مشعل با هوای داغ انجام می‌شود که سبب انجام احتراق کامل‌تر، کاهش مصرف انرژی و در نتیجه افزایش راندمان حرارتی می‌گردد.
- استفاده از لوله‌های اسپیرال به جای لوله‌های افقی و عمودی موجب افزایش ضریب انتقال حرارت تا

حداقل ۲ برابر می‌شود. دمای گازهای خروجی از دودکش بدون به‌کارگیری سیستم‌های افزایش انتقال حرارت و بازیافت انرژی، کمتر از دمای بخار تولیدی می‌باشد.

- مدت زمان لازم برای تولید بخار در حدود ۱۵ دقیقه می‌باشد.

۱۴. دیگ آب گرم عمودی (Vertical Warm Water Boiler):

- این دیگ‌ها به‌منظور تأمین آب گرم مصرفی هتل‌ها، آپارتمان‌ها، بیمارستان‌ها، کارواش‌ها، ضایعات دام و طیور، پادگان‌ها، موتورخانه‌های کوچک و سایر کارخانجات صنعتی با آب تصفیه شده نرم با سختی (جزء بر میلیون)0-40 ppm کاربرد دارد.

۱۵. دیگ روغن داغ(Hot Oil Boiler):

- دیگ‌های روغن داغ از رقبای مهم دیگ بخار هستند.
- در سیستم‌های گرمایشی صنعتی، عمدتا از آب و بخار به عنوان سیال عامل و حامل گرما استفاده می‌شود اما در دماهای بالا کار کردن با بخار و آب نیازمند فشارهای کاری بالاتر می‌باشد که از نظر هزینه مقرون به صرفه نبوده و فاقد ضریب ایمنی بالا می‌باشد. به همین خاطر در کاربری‌های دما بالا مانند گرمایش گاز طبیعی، گرمایش نفت خام، گرمایش غیر مستقیم با بخار و مانند آن، از روغن داغ برای انتقال گرما استفاده می‌شود. روغن داغ تا دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد درفشاری نزدیک به فشار اتمسفر کار می‌کند. برای دستیابی به دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد بوسیله سیال آب و بخار نیازمند فشار کاری معادل ۸۵ bar می‌باشد. علاوه بر فشارهای کاری پایین‌تر، استفاده روغن داغ به جای آب و بخار در دماهای بالا، مزیت‌های متعدد دیگری نیز دارد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. حجم کوچک
۲. صرفه جویی در مصرف سوخت
۳. قابلیت نصب و راه اندازی در فضای ساده
۴. راهبری و اپراتوری آسان
۵. ظرفیت حرارتی نامحدود
۶. عدم وجود خطر خوردگی و صدمات ناشی از انجماد

۲

فصل دوم

دستورالعمل‌های بازرسی قبل از راه‌اندازی

دستورالعمل‌های بازرسی قبل از راه‌اندازی

هدف از بازرسی و ارزیابی تجهیزات تحت فشار، تطابق مشخصات ساخت با اصول استاندارد و خواسته‌های مورد نظر مشتری می‌باشد. برای نیل به این هدف بایدبازرسی‌ها به موقع و از محل‌های مناسب صورت پذیرد. معمولاً در انجام پروژه‌های بزرگ، از شرکت‌ها و زیرمجموعه‌های مختلفی برای ساخت و بازرسی مخازن استفاده می‌شود. بدین ترتیب شرکت‌های طراحی به ندرت سازنده تجهیزات نیز می‌باشند. لذا این مسئله باعث ایجاد مسئولیت‌های تجاری و قانونی مختلف در یک پروژه می‌گردد. برای اطمینان از تطابق تجهیزات با نیازمندی‌های استاندارد و خواسته‌های مورد نظر، انجام بازرسی و کنترل نمودن تجهیزات امری اجتناب ناپذیر است که این مسئولیت بر عهده شرکت‌های معتبر بازرسی می‌باشد. این شرکت‌ها با توجه به استاندارد ISO 17020 به اشکال مختلف قابل تعریف می‌باشند. (استانداردISO 17020 ابزاری کاربردی برای ارزیابی شرکت‌های بازرسی توسط مرکز ملی تائید صلاحیت ایران می‌باشد. این استاندارد نیز همانند سایر استانداردهای ارزیابی انطباق، کمک شایانی به شرکت‌های بازرسی برای مدون کردن و پیاده‌سازی هدفمند فرآیندهای جاری شرکت می‌نماید. استانداردISO 17020 یکی از استانداردهای سه گانه (از زیر مجموعه استانداردهای سری ۱۷۰۰۰) است که در حال حاضر از طرف مرکز ملی تایید صلاحیت ایران، امکان صدور گواهینامه برای آن وجود دارد.)

یکی از معتبرترین انجمن‌های تایید صلاحیت بازرسان غیر مخرب، انجمن ASNT در آمریکا است. این انجمن برای تایید پرسنل و بازرسان در صنایع مختلف، استاندارد SNT-TC-1A را تعریف کرده است. طبق این استاندارد، در حوزه تست غیر مخرب هر پرسنل یکی از سه رتبه یا level تعریف شده را خواهد داشت:

- دارندگان level 1 تنها اجراکننده آزمون‌ها بوده و توانایی تحلیل داده‌ها را ندارند.

- دارندگان level 2 علاوه برا اجرا، مجاز به تفسیر داده‌های بازرسی هستند.
- دارندگان level 3 که مهندس تست غیر مخرب شمرده می‌شوند، مجاز به دستورالعمل نویسی هستند.

بازرسان فعال در صنایع مختلف در ایران و سراسر دنیا همگی باید level ۲ داشته باشند و طبق استاندارد سازمان ASNT برای کسب این مدرک، باید سه مرحله آموزش، آزمون و تجربه را سپری کرده باشند.

مراجع و استانداردهای مربوط به دستورالعمل‌های بازرسی در ساخت و بازنگری ایمنی دیگ‌ها که در این فصل مورد استفاده قرار گرفته‌اند، به شرح زیر می‌باشند:

- ISIRI 4231
- ISIRI 7911
- BS 2790
- BS 855
- API RP 572

همچنین دامنه کاربرد دستورالعمل‌های بازرسی ظروف تحت فشار که در این فصل بیان می‌گردند، کلیه مخازنی است که فشار کاری آن‌ها بالاتر از فشار جو می‌باشد و مطابق با تعاریف و محدوده ذکر شده در ASME SECVIII می‌باشد. دلایل این بازرسی‌ها و تدوین دستورالعمل‌های مربوط به هر مرحله، ایمنی، افزایش بازدهی و تداوم کار می‌باشد.

مراحل بازرسی این فصل که به تفصیل در ادامه توضیح داده شده‌اند، شامل سه بخش زیر می‌باشد:

- بازرسی پیش‌از ساخت
- بازرسی در حین ساخت و نظارت بر تست‌ها
- بازرسی پس از ساخت و نحوه‌ی احراز اصالت مستندات مربوط به استاندارد بودن ظروف تحت فشار

۱-۲ پیش‌نیازها و ایمنی کار

از آنجایی که محیط کاری بازرسین مشابه محیط‌های کاری تکنسین تاسیسات و جوشکاران می‌باشد، این افراد نیز ممکن است در معرض خطرات زیادی قرار گیرند. این خطرات عبارتند از شوک الکتریکی، سقوط از ارتفاع، خطراتی که چشم و سیستم بینایی را تهدید می‌کنند، از جمله اشعه ماوراء بنفش، ذرات موجود در هوا، دود و بخار و در نهایت اشیائی که از ارتفاع سقوط می‌کنند. بازرسین ممکن است هر لحظه در معرض این خطرات قرار بگیرند، بنابراین نباید ایمنی نادیده گرفته شود. بازرسین در چنین شرایطی باید تدابیر ایمنی از جمله استفاده از عینک و کلاه ایمنی، لباس کار مناسب و سایر تجهیزات ایمنی را مدنظر قرار دهند. عملیات جوشکاری و برشکاری باید در مناطق امن صورت گیرد و چنانچه نیاز به اجرای کار در مناطق غیرایمن باشد، باید دستورالعمل‌های ویژه مورد استفاده قرار گیرد.

برای اطلاعات و آشنایی بیشتر، به استاندارد ایمنی در جوشکاری، برشکاری و فرآیندهای وابسته طبق

ANSI Z49. 1 که توسط انجمن جوشکاری آمریکا منتشر شده و همچنین سازمان ایمنی و سلامت شغلی آمریکا (OSHA) مراجعه گردد.

همچنین سه بند زیر قبل از مرحله ساخت ظروف باید تاکید و لحاظ گردد:

۱. مرجع معتبر بازرسی باید به کارگاه‌های سازنده دیگ مادامی که کار در حال انجام یافتن است، دسترسی داشته و باید در بازرسی از مراحل ساخت و در عدم تایید هر قسمتی که با استاندارد مطابقت نمی‌نماید، آزاد باشد.

۲. مرجع معتبر بازرسی باید قبل از شروع ساخت، سازنده را از مراحلی از ساخت که در آنها آزمایشات ویژه مواد انجام خواهد شد، آگاه سازد و سازنده باید مرجع معتبر بازرسی را از اینکه این مراحل چه زمانی فرا خواهند رسید، آگاه نماید. ولی عدم اطلاع بازرس، نباید مانع از انجام آزمایشات بازرسی در هر یک از مراحل گردد و یا از امکان عدم تایید نمودن مواد یا روش کار، در هر زمانی که تشخیص داده شوند، جلوگیری نماید.

۳. در تمام مراحل بازرسی، هر مرحله به تفکیک و به شرح کامل، با رجوع به استانداردهای ساخت عنوان شده از طرف کارفرما و یا مراجع مورد تایید اداره استاندارد، باید در فرم مربوطه گزارش گردد.

۲-۲ بازرسی پیش از ساخت

پیش از ساخت مخازن تحت فشار باید مستندات مربوطه آماده شوند. این مستندات حداقل باید شامل موارد ذیل باشند:

- **طرح کیفیت:** طرح کیفیت باید شامل جزئیات، ترتیب و توالی بازرسی‌های مربوط به ساخت مخازن تحت فشار باشد.
- **سیستم ثبت سوابق:** پیمانکار اجرایی باید سیستمی را برای شناسایی، جمع‌آوری و ثبت و نگهداری سوابق کیفیت برقرار نماید.
- **دستورالعمل‌های جانبی:** دستورالعمل‌های جانبی باید توسط پیمانکار تهیه شود و برای بررسی و اخذ تائید به سازمان یا شرکت بازرسی و یا کارفرما ارائه شود. این دستورالعمل‌ها حداقل باید شامل موارد ذیل باشند:

۱. تحویل گرفتن اجناس و مواد مصرفی جوشکاری
۲. کنترل اجناس و مواد مصرفی
۳. دستورالعمل‌های جوشکاری و عملیات ارزیابی این دستورالعمل‌ها
۴. آزمایش و ارزیابی توانایی و مهارت جوشکاران
۵. رول کردن ورق‌ها
۶. ترتیب و توالی جوشکاری
۷. آزمایشات غیر مخرب
۸. عملیات حرارتی پس از جوشکاری (در صورت نیاز)

۹. هیدرواستاتیک
۱۰. سند بلاست و رنگ آمیزی
۱۱. نوع عایق و فرآیند عایق کاری
۱۲. بسته بندی و ارسال در صورت نیاز

- **مستندات دیگر:** مشخصات فنی از مستندات مهم پروژه می‌باشند که از آن جمله می‌توان به تایید صلاحیت جوشکار (Welder Qualification Test) (WQT)و تایید کیفیت روش جوشکاری (Welding Procedure Qualification Record) (PQR)اشاره نمود. همان طور که در بند بالا اشاره شد، ثبت این تاییدیه‌ها و مسئولیت تهیه و ارائه آنها به شرکت بازرسی و یا کارفرما، به عهده پیمانکار اجرایی می‌باشد.
- **مستندات نهایی:** موارد زیر از جمله مواردی است که باید توسط پیمانکار تهیه و پس از اخذ تایید، به سازمان یا شرکت بازرسی و یا کارفرما به عنوان سوابق پروژه ارائه گردد و در آنجا نگهداری شود:

۱. گزارش‌های کنترل مواد مصرفی
۲. گزارش استاندارد بودن اتصالات
۳. گزارش‌های ابعاد قبل از جوشکاری
۴. گزارش‌های بازرسی چشمی و ابعادی جوش
۵. گزارش‌های آزمایش‌های غیر مخرب
۶. گزارش‌های عملیات حرارتی پس از جوشکاری (در صورت نیاز)
۷. گزارش‌های هیدرو تست
۸. گزارش‌های سند بلاست و رنگ آمیزی
۹. گزارش‌های عایق و عایق کاری (در صورت نیاز)
۱۰. گزارش‌های عدم تطابق با مشخصات فنی پروژه (در صورت وجود)

- **ابزارهای بازرسی:** ابزار بازرسی شامل و نه محدود به موارد ذیل می‌باشد.

۱. متر
۲. کولیس و ریزسنج
۳. آمپرمتر و ولت متر
۴. گیج‌های حرارتی یا تجهیزات نشان‌دهنده حرارتی دیجیتال
۵. گیج‌های جوشکاری
۶. فایبراسکوپ و بروسکوپ
۷. ذره بین
۸. چراغ قوه
۹. جلسه پیش‌از شروع بازرسی(Pre-inspection Meeting): ارائه نقطه نظرات و پیشنهادات در رابطه با موارد

مختلف مورد طرح در جلسه

۱۰. حضور در جلسه قرارداد و طرح کنترل کیفی و امضای صورت جلسه و تأیید آن

۱۱. بررسی و کنترل مستندات

۱۲. بررسی و کنترل نقشه‌ها

۱۳. بررسی و کنترل گواهینامه‌های مواد خام از قبیل ورق‌ها، فلنج‌ها، لوله‌ها و...

۱۴. بررسی و کنترل گواهینامه‌های مواد مصرفی

۱۵. بررسی و کنترل دستورالعمل‌های مونتاژ

۱۶. بررسی و کنترل دستورالعمل‌های جوشکاری(Welding Procedure Specification (WPS

۱۷. بررسی و کنترل تاییدیه‌های دستورالعمل‌های جوشکاریWelding Procedure Qualification Report (PQR)

۱۸. بررسی و کنترل دستورالعمل‌های تست‌های غیر مخرب

۱۹. بررسی و کنترل دستورالعمل‌های تعمیر

۲۰. بررسی و کنترل دستورالعمل‌های تنش‌زدایی

۲۱. بررسی و کنترل دستورالعمل‌های هیدرو تست

۲۲. بررسی و کنترل دستورالعمل‌های رنگ و سند بلاست

همچنین علاوه بر لیست بالا، باید اقدامات و بررسی‌ها به شکل زیر انجام گیرد و در صورتجلسه قید گردد:

- بررسی وضعیت عمومی کارخانه از لحاظ دارا بودن تجهیزات مناسب برای ساخت (از جمله جرثقیل‌های سقفی، غلطک‌های نورد، تجهیزات جوشکاری دستی و اتوماتیک و...) و تجهیزات مورد نیاز برای کنترل کیفی مراحل ساخت، مواد و محصول
- بررسی کارخانه به لحاظ دارا بودن سیستم کنترل کیفی مورد قبول (حتی الامکان داشتن گواهی‌نامه‌های کیفی)
- بازرسی مواد (تایید گواهی‌های مربوطه)
- تست جوشکاران (تایید لیست جوشکاران)
- تایید بازرسان آزمایش‌های غیر مخرب از لحاظ گواهی‌های مرتبط SNT-TC-IA Level II و داشتن حداقل مدرک
- بازرسی گواهی‌های کالیبراسیون دستگاه‌های جوشکاری، گرم کن‌های الکترود، تجهیزات ماشین کاری و...
- بازرسی گواهی‌های کالیبراسیون دستگاه‌های مورد استفاده گروه کنترل کیفی (و تایید آنها)
- مرور دستورالعمل‌های NDT، PQR، WPS، تست‌های هیدروستاتیک (یا نیوماتیک)، تست‌های PMI Hardness و... (در صورت لزوم)، دستورالعمل تنش‌گیری، دستورالعمل رنگ و سندبلاست و تایید آنها
- مرور گواهی‌ها یا تاییدیه‌های مواد (Material Certificates) همچون ورق‌ها، فلنج‌ها، لوله‌ها و... همچنین مواد مصرفی مثل الکترودها، رنگ و... (طبق جدول۱-۲)

جدول ۱-۲. تاییدیه‌های مواد

مواد	محل استفاده	استاندارد مربوطه	توضیحات
ورق	پوسته، کوره، صفحه لوله‌ها، پوسته محفظه برگشت آتش، صفحه لوله‌های محفظه برگشت آتش، کوره‌های چین‌دار، صفحات مقاوم	EN 10028 (P295GH) (yield stress: 295 MPa) Normalize - Fully Killed	DIN 17155 (17155) AStM A516 Gr 70 BS 1501 Type 151، 161)Gr (400، 430 B))
	پایه‌ها، قلاب گیرها	EN 10025 (S235GR)	DIN 17100 (RSt 37 Gr B) AStM A36- AISI 1008
لوله‌های دود (tube)	لوله‌های ساده لوله‌های مقاوم	EN 10216 BS 3059 (S1، S2) (360) DIN17175 (St 35. 8) A106-A192	بدون درز یا درز جوش به روش مقاومت‌الکتریکی لوله‌های عرضی باید از نوع بدون درز باشند.
سایر لوله‌ها (pipe)	نازل‌ها فریم دریچه سر رو فریم دریچه دست رو فریم دریچه آدم رو	BS 3602(410HFS، CFS BS 3601 (430S) AStM A106	فلنج نازل‌ها در کلیه قطرها، A۱۰۵ از حداقل رده PN16 و یا کلاس ۱۵۰
پیچ و مهره		BS 4882 DIN 931-933 Gr 8. 8	
میله‌ها	میله‌های مقاوم بین شبکه‌های اصلی میله‌های مقاوم انتهای محفظه برگشت آتش	BS 1502 DIN (CK22) EN 10272	مشخصات فولاد برای ظروف تحت فشار با آتش و بدون آتش: بخش‌ها و میله‌ها
موادی که تحت فشار نیستند و به پوسته دیگ جوش می‌شوند	قلاب گیرها، گیره‌ها و قطعات مشابه دیگر		– از هویتی تایید شده برخوردار باشند. – با موادی که به آنها اتصال می‌یابند سازگار باشند.
مواد جوشکاری	در کلیه جوشکاری ها		توافق بین سازنده و مشتری و مرجع بازرسی
مواد آهنگری	فلانچ‌ها بالشتک‌ها (pads)	BS 4504- Sec 3. 1 BS 1503	فلانچ‌های دایره‌ای برای لوله‌ها، شیرها و اتصالات با مشخصات فولاد فورج شده برای کاربری تحت فشار
مواد ریخته گری			استفاده از آن مجاز نمی‌باشد

- بازرسی مواد اولیه، قطعات و اجزاء: آزمایشات مختلف و متنوعی بر روی مواد مصرفی صورت می‌گیرد. برای اینکه بازرسی موفقیت‌آمیز باشد، باید با روش‌های تست و آزمون، مطابق استانداردهای مواد آشنا بود. به‌منظور تست‌های مورد نیاز می‌توان از استاندارد ASME SEC II Part A استفاده کرد. بخش UG4 و UG10 مواد مجاز مصرفی در تجهیزات تحت فشار را مشخص نموده است. با مطابقت نتایج حاصله از تست و مراجعه به استاندارد مربوطه می‌توان نسبت به پذیرش یا رد مواد اقدام نمود.
- برای بازرسی مواد باید پس از بازرسی چشمی (VT)، مدارکی نظیر گواهینامه‌ها و نتایج مدرک Mill Test Certificate بررسی شوند. در صورت ارائه مستندات کافی، بازرس می‌تواند تا ۱۰ ٪ از محموله را به عنوان نمونه‌های تست به‌منظور آزمایشات مورد نیاز مطابق استاندارد انتخاب نماید. (UG-10)
- در صورتی که نمونه‌های یک محموله (Lot) مساوی یا کمتر از ۳ عدد باشد، همگی باید تست شوند.
- ورق‌های فلزی که برای ساخت مورد استفاده قرار می‌گیرند و سمت نورد شده در آنها قابل تشخیص نمی‌باشد، باید دو نمونه طولی و عرضی از هر محموله ورق انتخاب شود. نتیجه تست باید نیازهای حداقل مشخص شده در برگه مشخصات را تأمین نماید.
- برای تمامی نمونه‌ها از کد مناسب برای شناسایی آنها استفاده شود.
- جدایش متریال‌ها از یکدیگر، باید انجام گیرد. برای مثال عدم تداخل فولادهای کربنی ساده با فولادهای زنگ نزن (Stainless Steel) چه در حالت خام و چه در حین عملیات نورد و فرم دهی، باید مدنظر قرار گیرد.
- ورق‌های فولادی منطبق با SA36 و SA283 نبایددر فرآیند Lethal (مواد سمی یا شیمیایی که برای موجودات زنده مضر می‌باشد) به‌کار گرفته شود. (UCS-6b)
- حداقل ضخامت ورق‌های به‌کار رفته در ساخت تجهیز برابر با ۶ mm می‌باشد (Pressure vessel H. B Page 158).
- تمامی ورق‌های مورد نظر برای ساخت بایدتوسط روش فراصوتی، تست تورق (Lamination) شوند.
- اتصالات ۲ اینچ و کوچکتر باید از کلاس ۶۰۰۰ انتخاب شوند(Pressure vessel H. B Page 157).
- کلیه فلنج‌های مورد استفاده در ساخت باید مطابق با استاندارد ANSI B۱۶. ۵ بوده و مطابق موارد زیر به‌کار رود: (Pressure vessel H. B Page 157)

۱- برای بازه تا ۶۰۰Lb و لوله‌های ۳ اینچ و کمتر، از فلنج Raised face استفاده شود.

۲- برای بازه بیشتر از ۶۰۰Lb و لوله های ۴ اینچ و بالاتر، از فلنج Ring Type Joint استفاده شود.

۳-۲ بازرسی حین ساخت و نظارت بر تست‌ها

این دستورالعمل تمامی الزامات بازرسی ساخت مخازن تحت فشار شامل: جوشکاری، آزمایش‌های غیر مخرب، آزمایش هیدروتست، سندبلاست و رنگ آمیزی و عایق کاری مخازن تحت فشار را مشخص و معین می‌سازد.

■ ۱-۳-۲ بازرسی

کارشناس معتبر بازرسی، برای نظارت در حین ساخت دیگ باید آزمایش‌ها را به ترتیب مراحل زیر انجام دهد:

۱. زمانی که ورق‌ها به کارگاه سازنده دیگ می‌رسد:

- علایم مشخصه روی ورق‌ها با آن‌هایی که در گواهی‌نامه سازنده ورق ثبت شده است، چک و بازرسی گردد.
- نتایج گزارش شده از خواص مکانیکی و شیمیایی در گواهینامه سازنده ورق با خصوصیات ارایه شده در استاندارد کنترل شود.
- نظارت برای علامت‌گذاری صفحات آزمایشی، برای شناسایی قبل از اینکه ورق‌های مادر بریده شوند.
- سایر پارامترهایی که در کنترل ورق باید به آنها توجه شود عبارت‌اند از: تمیزی ورق و ضخامت ورق که ضخامت ورق‌ها را معمولاً با کولیس اندازه می‌گیرند.

۲. زمانی که ورق‌های پوسته و صفحات انتهایی، شکل داده شده و لبه‌های ورق‌ها برای جوشکاری آماده شدند و زمانی که صفحات آزمایشی متصل می‌شوند، بر این فرآیند نظارت نماید.

۳. در خلال مراحل مختلف جوشکاری، بر استاندارد بودن روش جوشکاری، همان‌گونه که بین سازنده و مرجع معتبر بازرسی (PIM) توافق شده است، در موارد زیر نظارت نماید:

۳-۱. زمانی که اولین لایه جوش در امتداد درزهای اصلی و صفحات آزمایشی گذاشته می‌شود.

۳-۲. زمانی که این درز جوش‌ها در یک طرف کامل شده و برای جوشکاری طرف دیگر آماده می‌شوند.

۳-۳. به هنگام تکمیل شدن لایه جوش‌ها

۴. بازرسی فیلم‌های پرتونگاری و یا گزارشات آزمایش غیر مخرب.

۵. نظارت بر نمونه‌های آزمایش جوش، از صفحه آزمایشی که قبلاً انتخاب شده و برای گواهی آزمایشات مورد نیاز آماده شده‌اند.

۶. زمانی که دریچه‌ها آماده شده‌اند و زمانی که لوله‌های پایه و یا اتصالات مشابه در جای خود خال جوش شده‌اند، بر آنها نظارت نماید.

۷. به هنگام تکمیل ساخت دیگ و در طول آزمایش هیدرولیکی و دوباره پس از پایان آزمایش، برای بازرسی داخلی و خارجی، حضور داشته باشد.

۸. در زمان انجام آزمایش‌های فشار:

۸-۱. زمانی که تمامی جوشکاری‌ها تکمیل شده باشند و پس از عملیات حرارتی، در صورتی که آیین‌نامه مقرر بدارد، هر دیگ باید تحت فشاری مساوی ۱/۵ برابر فشار طراحی به طریق هیدرولیکی بدون نشانه‌ای از ضعف یا عیب آزمایش شود. مرجع معتبر بازرسی باید شاهد آزمایش باشد.

۸-۲. آزمایش فشار باید برای حداقل ۳۰ دقیقه ادامه یابد و موارد زیر رعایت گردد:

- از نقطه نظر ایمنی، مهم است که دیگ به روشی مناسب از هوا تخلیه شود تا از تشکیل حباب‌های هوا قبل از اجرای آزمایش فشار جلوگیری گردد.

- توصیه می‌شود که دمای آب، در طول آزمایش هیدرواستاتیک از ۷ درجه سانتی‌گراد کمتر نباشد.
- بعد از اتمام ۳۰ دقیقه توصیه می‌شود که قبل از نزدیک شدن به دیگ برای بازرسی از نزدیک، فشار به حداقل ۱/۱ فشار طراحی و حداکثر ۰/۹ فشار آزمایش هیدرواستاتیک کاهش داده شود.
- در پایان آزمایش هیدرواستاتیک، تخلیه فشار بایستی به صورت تدریجی باشد.

۳-۸. پس از بازرسی کامل دیگ، اگر معلوم شود که در طول و یا بعد از آزمایش هیدرواستاتیک به تعمیراتی احتیاج است، پس از تکمیل تعمیرات و پس از هرگونه عملیات حرارتی، دیگ را باید دوباره مطابق روش توصیف شده در بالا تحت آزمایش فشار قرار داد.

در جدول ۲-۲ عناوین مطالب بازرسی در زمان ساخت، به اختصار و به صورت چک لیست ذکر گردیده است.

جدول ۲-۲. چک لیست بازرسی در حین ساخت برای دیگ های تحت فشار

ردیف	عنوان بازرسی	تایید کار
۱	بررسی مواد خام مطابق گواهینامه مربوطه و در صورت نداشتن گواهینامه مواد، نمونه برداری و ارسال به آزمایشگاه اطلاعات شناسایی مواد	
۲	قبل از برش به قسمت‌های مختلف ورق (قسمت‌های تحت فشار)، نظارت بر انتقال نمونه (Stamp)	
۳	بازرسی ابعادی و علامت‌گذاری‌ها (Marking) پیش‌از برش ورق ها	
۴	کنترل بر رول کردن (نورد) ورق‌ها برای ساخت پوسته	
۵	نظارت و کنترل بر آماده‌سازی لبه‌های ورق (پخ زنی ها) طبق نقشه‌ها و WPS (در صورت نیاز) و تست مایعات نافذ (PT) بر روی لبه‌های ورق‌ها برای ضخامت‌های بالای ۱۲میلی‌متر	
۶	نظارت بر انجام تست‌های غیر مخرب	
۷	نظارت بر مونتاژ ورق و جوشکاری درز طولی آن طبق نقشه و WPS	
۸	بازرسی چشمی جوش طولی پوسته و علامت‌گذاری برای رادیوگرافی (ضخامت و ابعاد طبق نقشه و استاندارد)	
۹	بازرسی ورق‌ها از لحاظ Ovality (بیضی گونی) و Roundness (گردی)	
۱۰	نظارت بر آزمون غیر مخرب رادیوگرافی بر روی جوش طولی	
۱۱	علامت‌گذاری و بریدن ورق‌ها برای ساخت عدسی‌ها بعد از عملیات Forming و....	
۱۲	نظارت و کنترل ابعادی هدها (عدسی ها) از لحاظ ضخامت و انحنای موردنیاز طبق نقشه	
۱۳	نظارت بر مونتاژ و جوشکاری درزهای محیطی طبق نقشه و WPS	
۱۴	بازرسی چشمی جوش محیطی پوسته به عدسی و علامت‌گذاری برای تست رادیوگرافی	
۱۵	نظارت بر آزمون غیر مخرب رادیوگرافی بر روی جوش محیطی	

ردیف	عنوان بازرسی	تایید کار
۱۶	پیش از برش محل نازل‌ها، دریچه‌ها و کلیه اتصالات روی Shell کنترل بر علامت‌گذاری (Marking)	
۱۷	نظارت بر مونتاژ و جوشکاری نازل‌ها، دریچه‌ها و کلیه اتصالات طبق نقشه و WPS	
۱۸	بازرسی چشمی جوش کلیه اتصالات	
۱۹	نظارت بر انجام آزمون UT جوشکاری نازل به شل و یا عدسی	
۲۰	نظارت بر مونتاژ و جوشکاری فلنج به نازل	
۲۱	بازرسی چشمی جوش فلنج به نازل	
۲۲	نظارت بر انجام آزمون RT برای جوش فلنج به نازل (در صورت امکان)	
۲۳	کنترل چشمی و ابعادی ساخت Leg/Saddle/Skirt	
۲۴	نظارت بر مونتاژ و جوشکاری Leg/Saddle/Skirt	
۲۵	بازرسی چشمی جوش Leg/Saddle/Skirt به مخزن	
۲۶	نظارت بر انجام آزمون‌های PT یا MT جوش Skirt به عدسی Leg یا Shell به مخزن	
۲۷	مونتاژ و جوشکاری ورق تقویتی (Reinforcing)	
۲۸	بازرسی نهایی چشمی و ابعادی مخزن	
۲۹	نظارت بر تنش‌زدایی (عملیات حرارتی پس از جوشکاری)	
۳۰	نظارت بر انجام آزمون سختی سنجی	
۳۱	نظارت بر تمیز بودن و تمیزکاری سطوح داخلی مخزن	
۳۲	نظارت بر انجام تست فشار	
۳۳	بازرسی نهایی ابعادی و چشمی بعد از تست فشار	
۳۴	نظارت بر سند بلاست و رنگ مخزن	
۳۵	نظارت برساخت و نصب پلاک شناسایی (Plate Name)	

■ ۲-۳-۲ تشریح موارد کلی بازرسی در مراحل جوشکاری

در این قسمت لازم است تا به تفصیل، بازرسی در مرحله آماده‌سازی ورق برای جوشکاری و بازرسی در مراحل مختلف حین جوشکاری به‌طور کامل شرح داده شود.

۱-۲-۳-۲ برای بازرسی در مرحله آماده‌سازی ورق براساس استاندارد ۴۲۳۱ توجه به نکات زیر الزامی است:

- در علامت‌گذاری ورق برای جدا کردن و برش قطعه از آن، علامت استفاده از این ورق باید به نحوی قرار گیرد که پس از تکمیل نصب قطعات تحت فشار، علامت به‌طور واضح قابل رویت باشد. اگر این علامت روی ورق ناچاراً بریده شود باید توسط سازنده قطعات تحت فشار به قسمت دیگری از آن قطعه مطابق نظر مرجع بازرسی انتقال داده شود.
- اگر شعاع داخلی انحنا از ۱۰ برابر ضخامت ورق کمتر باشد، برای از بین بردن آثار عملیات سرد باید عملیات حرارتی مناسبی به‌کار گرفته شود.
- اگر صفحات تخت انتهایی برای اتصال به پوسته لبه‌دار شوند، شعاع داخلی لبه نباید از ۲ برابر ضخامت ورق یا حداکثر ۳۸ کمتر باشد.
- هرگاه ورق‌های محفظه برگشت یا جعبه دود برای اتصال به صفحه لبه‌دار شوند، شعاع داخلی لبه باید برابر ضخامت ورق یا حداقل ۲۵ میلی‌متر باشد.
- چنانچه حلقه‌های کوره به صورت سرد لبه‌دار شوند، باید پس از آن نرمالیزه شده و لبه‌ها در هر دو طرف توسط پودر مغناطیسی مورد معاینه ترک سطحی قرار گیرند. تاب‌گیری سرد برای حلقه‌های کوره مجاز نمی‌باشد.
- قاب‌های بیضی از نوع لبه‌دار باید به گونه‌ای شکل داده و نصب شوند که کاملاً با پوسته تطابق داشته باشند و سطح صافی را برای آب بندی درب فراهم نمایند.
- اندازه و شکل قسمت‌های ورق انتهایی که توسط هر کدام از تقویت‌کننده های صفحه‌ای مهار می‌شوند، باید به نحوی باشند که کل مساحت صفحه انتهایی در ناحیه تقویت‌کننده صفحه‌ای مهار شده باشد.
- در هنگام قراردادن تقویت‌کننده های صفحه‌ای، باید به میزان تغییر شکل صفحه انتهایی که ممکن است رخ دهد توجه شود به گونه‌ای که در مناطقی که در معرض بیشترین تغییر شکل هستند، مناسب‌ترین طرح در نظر گرفته شود.
- تقویت‌کننده های صفحه‌ای باید به‌طور شعاعی به صفحه انتهایی وصل شوند و زاویه بین آنها باید بین ۱۵ تا ۳۰ درجه باشد.
- به‌خاطر لبه‌دار شدن، هیچ‌گونه کاهشی در ضخامت صفحه انتهایی نباید صورت گیرد. اگر سوراخ‌ها لبه‌دار باشند شعاع لبه باید از ۲۵ میلی‌متر بیشتر باشد.
- وضعیت ورق‌هایی که برای شکل دادن تهیه می‌شوند، باید متناسب با نحوه شکل دادن بوده و مورد توافق سازنده و تهیه‌کننده مواد قرار گیرند.

- گاه به علت وجود سوراخی بزرگ بر روی صفحه انتهایی عدسی، از تقویت‌کننده‌هایی استفاده می‌شود که ممکن است شامل یک حلقه یا لوله جوش شده در سوراخ باشد. همچنین از ورق‌های تقویت‌کننده که در ناحیه سوراخ یا خارج آن و یا در داخل صفحه انتهایی جوش شده‌اند نیز استفاده می‌شود. بعضاً نیز ممکن است ترکیبی از این دو روش نیز استفاده شود که باید مورد بررسی قرار گیرند.
- ممکن است برای ورق‌ها و لوله‌های بدون درز و درز جوش که حد بالای محدوده مقاومت کششی آنها برابر ۶۴۰MPa می‌باشد، فولاد نیمه آرام (Semi-Killed Steel) به‌کار رود.
- فولاد جوشان یا اکسیژن زدایی نشده با نماد RSt، ممکن است برای لوله‌های جوش شده به روش مقاومت الکتریکی یا جوش شده به روش القایی به‌کار برده شوند. حد بالای محدوده مقاومت کششی آنها برای دماهای طراحی حداکثر تا ۴۰۰ درجه سلسیوس برابر ۴۹۰MPa می‌باشد.
- لوله‌های ساده و لوله‌های مقاوم باید یا از نوع بدون درز و یا درز جوش به روش مقاومت الکتریکی یا به روش القایی و لوله‌های عرضی باید از نوع بدون درز باشند.
- عمل اکسیژن زدایی باید مناسب با نوع فولاد سفارشی باشد، بالاخص در مواردی که اکسیژن می‌تواند بر خواص سطح فولاد در دمای بالا تأثیر بگذارد. فولادهای اکسیژن‌زدایی شده با نماد USt نشان داده می‌شوند.
- حداقل ضخامت صفحه انتهایی عدسی پس از شکل دادن، در هیچ شرایطی نباید از ۶ میلی‌متر کمتر باشد.

۲-۲-۳-۲ بازرسی در مراحل مختلف حین جوشکاری که برای بازرسی در این مرحله توجه به نکات زیر الزامی است:

- چنانچه ورق‌های تکیه‌گاه به پوسته و یا صفحات انتهایی جوش شوند، اتصال باید از نوع جوش‌های نواری پیوسته در هر طرف یا جوش‌های با نفوذ کامل باشد.
- به هنگام مشخص نمودن مقطع جوش‌ها باید دقت کرد که در تشکیل شکاف یا تغییرات ناگهانی دوره جوش اجتناب شود. جوش‌ها باید به‌طور یکنواخت با ورق اصلی یکی شوند.
- اتصال به دودکش توسط جوش لب به لب محیطی انجام گیرد.
- قاب‌های بیضوی و سوراخ‌های دور برجسته خارجی باید در یک قطعه بدون جوشکاری شکل داده شوند و یا از شکل دادن یک قسمت مناسب نورد شده که بوسیله جوش ذوبی ساخت شده، به وجود آیند.
- بالای جوش‌ها، در قاب‌های ساخته شده برای سوراخ آدم رو و سوراخ‌های مدور برجسته خارجی، باید طوری قرار گیرند که در صفحه عمود بر محور طولی دیگ باشند. پهنای سطح تماس قاب‌های سوراخ آدم رو نباید از ۵/۷ میلی‌متر کمتر باشد.
- طول مؤثر یک جوش، باید برابر آن طولی از جوش در نظر گرفته شود که در سراسر جوش از ابعاد معین برخوردار است. برای جوش‌های نواری انتها باز، طول مؤثر باید برابر کل طول جوش منهای ۲ برابر ضخامت گلوگاه در نظر گرفته شود.
- لوله‌ها باید توسط جوشکاری یا گشاد کردن لوله در داخل صفحه لوله قرار گیرند یا بوسیله ترکیبی از دو روش انجام پذیرند.

- قسمت جوش نشده لوله که در داخل سوراخ لوله رو قرار دارد، باید در تماس کامل با صفحه لوله باشد، مگر در مورد لوله‌های مقاوم با ضخامت بیش از ۶ میلی‌متر که ممکن است فقط جوشکاری شوند، مشروط بر آن که قسمت جوش نشده از چهار برابر ضخامت دیواره لوله تجاوز نکند.
- اگر لوله‌ها فقط گشاد شوند این عمل باید به‌وسیله گشادکن‌های غلطکی انجام شود و قسمت گشاد شده لوله باید تماماً موازی ضخامت صفحه لوله باشد. اضافه برگشاد کردن، سر لوله‌ها می‌تواند به صورت شیپوری یا گرده‌دار در آید.
- در مورد جوش‌های مرکب ضخامت مؤثر گلوگاه باید برابر مجموع قطعات تشکیل‌دهنده آن جوش می‌باشد.
- برای میله‌های مقاوم و سایر عضوهای دیگ که در فضای بخار یا آب دیگ، قرار دارند حد مجاز خوراکی در نظر گرفته نمی‌شود.
- برای اتصال سفت‌کننده به کوره باید از جوش‌های با نفوذ کامل استفاده شود.
- هر نوع جوش درون ورق تقویتی باید بر روی خط تقاطع با خط طولی باشد.
- اگر نشیمن‌گاه‌ها بوسیله جوشکاری ذوبی ساخته شوند و احتیاج به تنش زدایی داشته باشند، باید قبل از اتصال، تنش زدایی شوند مگر اینکه عملیات حرارتی روی تمامی دیگ انجام شود.

۴-۲ بازرسی پس از ساخت

برای بازرسی در هنگام تکمیل دیگ توجه به نکات زیر الزامی است:

- قاب‌ها، دهانه‌های مدور برآمده و درب‌ها باید از جنس فولاد باشند. دریچه‌های بیضی شکل ترجیحاً باید به نحوی قرار گیرند که محور کوچک آن با خط محور طولی دیگ موازی باشد.
- کلیه دیگ‌ها باید به سوراخ‌های کافی چه از نظر اندازه و چه تعداد مجهز شوند تا امکان دسترسی بر خطر برای ساخت، پاک کردن، بازرسی و تهویه داخلی به وجود آید.
- فلنج‌های اتصال سوراخ‌های مدور برجسته و در پوش‌های آنها باید در روی سطح و لبه‌ها و سطح اتکا سرپیچ‌ها و مهره‌ها ماشین کاری شوند. پیچ‌ها و مهره‌ها باید در جایی که با فلنج‌ها در تماس هستند ماشین کاری شوند.
- درب‌ها باید برای جفت شدن کامل، به سطح داخلی اتصال شکل داده شده و بوسیله میله‌های رزوه‌دار و مهره‌ها و میله‌های مورب وصل شوند.
- درب‌های سوراخ‌هایی که بزرگتر از ۱۷۵ میلی‌متر × ۲۵۰ میلی‌متر هستند، باید دارای دو میله رزوه‌دار باشند. برای سوراخ‌های برابر ۱۷۵ میلی‌متر × ۲۵۰ میلی‌متر یا کمتر، از یک یا دو عدد میله رزوه‌دار می‌توان استفاده نمود.
- همچنین درب‌های دریچه‌هایی که از ۹۵ میلی‌متر × ۱۲۵ میلی‌متر بزرگتر نیستند و دارای یک میله رزوه‌دار هستند، میله رزوه‌دار ممکن است همراه با درب آهنگری شود.

- میله‌های رزوه‌دار درب‌ها باید از جنس فولادی با کیفیت جوش پذیری بوده و با حداقل مقاومت کششی مشخص شده که از MPa ۳۶۰ کمتر نباشد و قطر این میله‌های رزوه‌دار برای سوراخ‌های آدم رو نباید از ۳۰ میلی‌متر کمتر باشد.
- هرگاه امکان وجود بخارهای خطرناک در داخل مخزن دیگ به حد مخاطره‌آمیزی برای افراد باشد فضای محبوس باید به یک سوراخ آدم رو مجهز گردد، که ممکن است مستطیلی، بیضوی یا دایره‌ای شکل باشد و نباید از ۴۵۷ میلی‌متر طول و ۴۰۶ میلی‌متر پهنا، یا در مورد مدور از ۴۵۷ میلی‌متر قطر کمتر باشد، مگر اینکه امکانات مناسب دیگری برای خروج داشته باشد.
- حد مجاز خوردگی در لوله‌ها و صفحه لوله‌ها باید برابر۰/۷۵ میلی‌متر در نظر گرفته شود. مگر این که بر روی عدد بزرگتری به‌خاطر در نظر گرفتن شرایط نامطلوب توافق شود.
- لوله‌های مقاوم لوله‌هایی هستند که دارای عمق جوش برابر ضخامت لوله به علاوه ۳ میلی‌متر می‌باشند.
- برای لوله‌های ساده‌ای که در معرض شعله یا محصولات حاصل از احتراق با درجه بیش از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار دارند، انتهای لوله‌های جوش شده باید هم تراز با جوش‌ها و انتهای لوله‌های گشاد شده قرار گیرند.
- اگر لوله‌های ساده زیاد در معرض شعله یا محصولات حاصل از احتراق با درجه بیش از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد نیستند، انتهای لوله‌های جوش شده باید حداکثر ۱۰ میلی‌متر پشت جوش یا در مورد لوله‌های گشاد شده، لوله‌ها باید تا حداکثر ۱۵میلی‌متر پشت صفحه انتهایی پیش‌برود.
- درز یا درزهای طولی می‌تواند در هر مکان مناسبی واقع شود. اما درزهای حلقه‌های پشت سر هم نباید در یک خط قرار گیرند. هرجا امکان‌پذیر باشد طرح باید به نحوی باشد که درزهای طولی به راحتی برای بازدید در دسترس باشند.
- ضخامت کوره‌های چین‌دار نباید از ۱۰ میلی‌متر کمتر و از ۲۳ میلی‌متر بیشتر باشد.
- اگر از برآمدگی حلقوی استفاده می‌شود، حداقل گام مراکز برآمدگی حلقوی نباید از ۵۰۰ میلی‌متر کمتر باشد.
- چنانچه سفت کننده‌ها از قسمت‌هایی از تسمه یا ورق ساخته شوند، لبه‌های مجاور آن باید به نحوی آماده شوند که از نفوذ کامل جوش اطمینان حاصل شود.
- طول کوره‌های ساده نباید از ۳ متر بیشتر باشد، مگر در مورد دیگ‌هایی که دارای کوره برگشت شعله هستند که ذاتاً انحناپذیر می‌باشند. در تمامی موارد دیگر، انحناپذیری در کوره باید بوسیله چین‌دار کردن، برآمدگی‌های حلقوی یا جدارهای موجی حلقوی تأمین گردد.
- چنانچه برای انحناپذیری از روش چین‌دار کردن استفاده گردد، حداقل ۱/۳ طول کوره می‌باید چین‌دار شود.
- اگر آتشدان مخروطی باشد، قطری که به‌کار برده می‌شود باید برابر متوسط قطر بالا و پایین باشد که به تقویت‌کننده محکمی از فلنج یا حلقه مجهز گردد.

- آتشدان‌های عمودی باید ترجیحاً مخروطی باشند.
- صفحات تخت شکل گرفته در آتشدان باید عاری از گوشه‌های تیز یا علامت‌های به جا مانده از ابزارآلات باشند و ورق نباید کمتر از ضخامت محاسبه شده نازک شود.
- فلنج زیگزاک، باید ترجیحاً در یک مرحله و بوسیله ماشینی مناسب شکل داده شود و باید اجازه داد تا برای اجتناب از تنش‌های درونی به تدریج سرد شود.
- دودکش‌ها باید از لوله‌های بدون درز یا با درز یا از ورق‌های لب به لب جوش شده ساخته شوند و باید بصورت لب به لب تا لبه بالایی فلنج سوراخ صفحه انتهایی بالای آتشدان جوشکاری شوند.
- دودکش باید در قسمت داخل با یک لایه آستری چدنی که زیر پایین‌ترین سطح آب امتداد می‌یابد مجهز شود.
- لوله‌های عرضی باید از لوله‌ای فولادی بدون درز ساخته شده باشند.
- قطر داخلی لوله‌های مورب نباید از ۳۰۰ میلی‌متر تجاوز نماید.
- کلیه مقاوم‌های میله‌ای یا مقاوم‌های محفظه آتش باید از میله نورد شده توپر بدون هیچ جوشی در طول ساخته شوند، مگر آنهایی که این مقاوم‌ها را به صفحات مهار شده توسط خود آنها متصل می‌نمایند. میله مقاوم‌هایی که در حین کار حرارت دیده‌اند باید متعاقباً نرمالیزه شوند.
- طرح پوسته‌های کروی برای اطمینان از ناپایداری الاستیک و وقوع تسلیم غشایی باید مورد بازبینی قرار گیرند.
- دیگ‌های با قطر پوسته ۱۵۰۰ میلی‌متر یا بزرگتر، باید طوری طراحی شوند که امکان ورود بی‌خطر یک فرد، بدون بیرون آوردن قطعات داخلی آن وجود داشته باشد و باید برای این منظور یک سوراخ آدم رو تعبیه شود. مگر در مورد دیگ‌های آب داغ که در آن‌ها فاصله میان پوسته و کوره به قدری کم است که حتی با بیرون آوردن لوله‌ها هم ورود بدون مشکل ممکن نمی‌باشد. در دیگ‌های آب داغ دریچه دسترسی باید به ترکیبی از سوراخ‌های رؤیت، دست روها و سر روها مجهز گردد. دیگ‌های با قطر پوسته کمتر از ۱۵۰۰ میلی‌متر که از قابلیت ورود بدون اشکال برای یک فرد برخوردار هستند، باید به یک سوراخ آدم رو مجهز شوند. دیگ‌های با قطر پوسته بین ۸۰۰ میلی‌متر و ۱۵۰۰ میلی‌متر باید به یک دریچه سر رو به عنوان یک ضابطه حداقل، مجهز شوند.
- اگر سوراخ آدم رو در قسمت پایین شبکه برای دیگ‌های چند لوله‌ای یا کوره‌های دیگ‌های از نوع کوره دوقلو قرار گیرد، لوله‌های مقاوم در ردیف‌های مرزی و یا مقاوم‌های صفحات برحسب امکان باید طوری قرار گیرند که تا جایی که ممکن است به سوراخ آدم رو نزدیک باشند.
- صفحات انتهایی جدا شونده یا درپوش‌ها ممکن است جانشین کلیه دریچه‌های بازدید شوند، به شرط این که ابعاد و موقعیت آن‌ها حداقل یک دید کلی از وضعیت داخلی دیگ، معادل با آنچه از دریچه‌های بازدید مورد نیاز بدست می‌آید، تأمین نمایند.
- ورق‌های تقویتی و نشیمن‌گاه‌های نازل‌ها که به بیرون دیگ وصل می‌شوند، حداقل باید دارای یک دریچه هشدار باشند.
- دریچه‌های بازدید باید حداقل دارای قطر داخلی ۵۰ میلی‌متر باشند، به شرط اینکه ارتفاع گلویی از ۵۰ میلی‌متر تجاوز نکند.

- سوراخ‌های دست رو باید حداقل دارای اندازه ۸۰ میلی‌متر × ۱۰۰ میلی‌متر یا قطر داخلی ۱۰۰ میلی‌متر باشند. به شرط اینکه ارتفاع گلویی یا ارتفاع حلقه از ۶۵ میلی‌متر یا در مورد یک شکل مخروطی از ۱۰۰ میلی‌متر تجاوز نکند. در صورتی که تنها یک سوراخ دست رو تعبیه شود، ابعاد نباید از ۱۰۰ میلی‌متر × ۱۲۰ میلی‌متر کمتر باشد.
- ابعاد سوراخ‌های سر رو باید حداقل ۲۲۰ میلی‌متر × ۳۲۰ میلی‌متر یا قطر داخلی ۳۲۰ میلی‌متر به شرط اینکه ارتفاع گلویی حلقه از ۱۰۰ میلی‌متر تجاوز نکند. اندازه سوراخ باید تا آن مقدار که امر بازرسی را تسهیل کند افزایش یابد.
- سوراخ‌های آدم‌رو بیضوی نباید از ۳۰۰ میلی‌متر × ۴۰۰ میلی‌متر کوچکتر باشند. قطر سوراخ‌های مدور آدم رو نباید از ۴۰۰ میلی‌متر کمتر باشد.
- درب‌های آدم رو، سر رو، دست رو و سوراخ دید داخلی باید تا حد امکان بسیار آسان جفت شوند و برای نصب واشر آب بندی و حصول اطمینان از آب بندی دریچه‌ها، برآمدگی در لبه دریچه‌ها تعبیه می‌شود. باید عمق برآمدگی کافی باشد و کل فاصله بین قاب و برآمدگی و یا تورفتگی چین درب‌ها نباید از ۳ میلی‌متر یا به عبارت دیگر ۱/۵ میلی‌متر از هر طرف تجاوز نماید.
- میله‌های عرضی باید فولادی یا آهنگری شده باشند و یا از ورقی که دارای حداقل مقاومت کششی ۳۶۰MPa می‌باشد، بریده شده باشد.
- شعاع داخلی قوس صفحه انتهایی نباید از ۱/۵ برابر قطر خارجی پوسته متصل به آن تجاوز نماید. شعاع داخلی زانوی قوس متصل‌کننده لبه استوانه‌ای به سطح کروی صفحه انتهایی نباید از سه برابر ضخامت ورق کمتر باشد، لیکن در هیچ حالتی نباید از ۶۴ میلی‌متر کمتر باشد.
- قطر مقاومت‌های شعاعی برای آتشدان‌ها نباید از ۲۲ میلی‌متر و نیز از دو برابر ضخامت ورق جعبه دود (هر یک بزرگتر باشند)، کمتر باشد. گام مقاوم‌ها در آتشدان نباید از ۱۴ برابر ضخامت ورق آتشدان تجاوز کند.
- مقاومت‌ها باید طوری قرار گیرند که فاصله تنفسی کافی در دور تا دور اتصالات کوره و شبکه سوراخ‌ها تأمین شود و باید مناطق مهار نشده را به‌طور مساوی تقسیم نماید.
- در مورد دیگ‌های چند لوله‌ی برای هر دوی اتصالات عقب و جلوی کوره‌ها، فاصله تنفسی بین کوره و شبکه سوراخ‌ها بین کوره و پوسته، باید حداقل برابر ۵۰ میلی‌متر یا ۵ درصد قطر داخلی پوسته، هرکدام که بزرگتر است با مقداری برابر حداکثر ۱۰۰ میلی‌متر باشد. فواصل آزاد بین کوره و ورق‌های لفاف محفظه برگشت دیگ‌های عقب مرطوب لزوماً به عنوان فاصله‌های تنفسی در نظر گرفته نمی‌شود.
- در مورد دیگ‌های شعله برگشتی، فاصله تنفس در سر جلویی بین کوره و شبکه سوراخ‌ها نباید کمتر از ۵۰ میلی‌متر باشد. همچنین حاصل جمع این فاصله تنفس با فاصله تنفسی که از سطح حلقوی بیرونی ورق عقب کوره به وجود می‌آید، نباید کمتر از ۵۰ میلی‌متر یا ۵٪ قطر داخلی پوسته، هرکدام بزرگتر است با حداقل مقدار ۱۰۰ میلی‌متر باشد. فاصله تنفس بین مقاوم‌های صفحه‌ای یا مفصلی و انتهایی لوله‌ها نیز نباید از ۱۰۰ میلی‌متر کمتر باشد.

- لزومی ندارد که فواصل آزاد بین لوله‌ها و ورق‌های لفاف محفظه برگشت دیگ‌های عقب مرطوب به عنوان فواصل تنفس در نظر گرفته شود.
- فاصله تنفسی بین لوله‌ها و پوسته‌ها نباید کمتر از ۴۰ میلی‌متر باشد.
- فاصله تنفسی بین مقاوم‌های صفحه‌ای یا مفصلی و کوره نباید از ۲۰۰ میلی‌متر کمتر باشند، مگر در دیگ‌های با قطر خارجی پوسته بیش از ۱۸۰۰ میلی‌متر و طول کوره بیشتر از ۶۰۰۰ میلی‌متر این فاصله‌ها نباید از ۲۵۰ میلی‌متر کمتر باشند و در دیگ‌های با قطر خارجی پوسته کمتر از ۱۴۰۰ میلی‌متر و طول کوره کمتر از ۳۰۰۰ میلی‌متر این فواصل نباید از ۱۵۰ میلی‌متر کمتر باشند.
- کلیه فاصله‌های تنفسی دیگر باید حداقل برابر ۵۰ میلی‌متر و یا ۳ درصد قطر داخلی پوسته با حداکثر مقداری برابر ۱۰۰ میلی‌متر (هرکدام که بزرگترند) باشند.
- در طراحی دیگ‌های آب گرم برای محاسبه فشار طراحی، فشار هیدرواستاتیک نیز باید در نظر گرفته شود. البته هرگاه فشار هیدرواستاتیکی کمتر از ۱۰٪ فشار کاری دیگ باشد، در نظر گرفتن آن لازم نیست.
- صفحات انتهایی تخت باید توسط میله‌های مقاوم با دودکش یا لوله‌های مقاوم یا ترکیبی از آنها مهار شوند.
- در مورد دیگ‌های آب گرم موقعیت دریچه‌های مسیر جریان باید به گونه‌ای باشند که هوا نتواند در پوسته دیگ یا آب روها محبوس شود.
- قطر هر میله مقاوم باید به اندازه‌ای باشد که تنش محاسبه شده در کمترین مساحت سطح مقطع بدست آمده با استفاده از قطر اسمی (بدون کم کردن از تلرانس منفی سازنده)، از حداقل مقاومت کشش معین شده تقسیم بر ۳/۵ تجاوز ننماید. در هیچ حالتی قطر اسمی میله مقاوم در هر نقطه نباید از ۲۵ میلی‌متر کمتر باشد.
- برای میله مقاوم‌های به طول ۵۰۰۰ میلی‌متر یا بیشتر، باید تکیه‌گاه‌هایی تعبیه شوند.
- در جایی که صفحه انتهایی دارای یک سوراخ آدم رو باشد، تقویت آن باید توسط فلنج کردن لبه‌های سوراخ و یا استفاده از یک حلقه سفت‌کننده صورت پذیرد.
- ضخامت قسمت برآمده قاب دریچه‌های آدم رو، در کلیه قسمت‌ها نباید از ۱۹ میلی‌متر و قطر داخلی آنها از ۴۰۰ میلی‌متر کمتر باشد. درب‌های مدور یا فلنج‌های اتصال با پیچ و مهره، باید با اندازه اسمی حداقل ۴۵۰ میلی‌متر و دمای طراحی ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و طبقه بندی فشار به شرح زیر باشند:
  ۱. PN10 برای فشارهای طراحی که از ۷ بار تجاوز ننماید.
  ۲. PN16 برای فشارهای طراحی بیشتر از ۷ بار که از ۱۳ بار تجاوز ننماید.
  ۳. PN25 برای فشارهای طراحی بیشتر از ۱۳ بار که از ۱۸ بار تجاوز ننماید.

  همچنین می‌توان از فلنج‌های روجوش شده که قطر داخلی آنها از ۴۰۰ میلی‌متر کمتر نباشد، استفاده نمود.
- جوش‌های اتصال‌دهنده انشعاب ورق‌های تقویتی باید از ابعاد کافی برای منتقل کردن نیروی وارده بر سطح تقویت شده و تمامی بارهای دیگری که ممکن است بر آنها وارد شوند، برخوردار باشند.
- شعاع داخلی قوس تاج نباید از قطر خارجی استوانه متصل به آن بزرگتر باشد.

- شعاع داخلی قوس قطعه‌ای که به پوسته یا آتشدان فلانج می‌شود، نباید از چهار برابر ضخامت ورق تاج کمتر و در هیچ حالتی از ۶۴ میلی‌متر کمتر باشد.
- شعاع داخلی قوس قسمتی که به دودکش فلانج می‌شود، نباید از دو برابر ضخامت صفحه تاج کمتر و در هیچ حالتی از ۲۵ میلی‌متر کمتر باشد.
- مواردی که تاج قوسی شکل دارای یک سوراخ آدم رو می‌باشد، سوراخ باید توسط لبه‌دار کردن تقویت گردد.
- برای دیگ‌های آب داغ، در صورتی که اختلاف دمای بین آب جریانی (خروجی از دیگ) و آب برگشتی (ورودی به دیگ) بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد باشد باید برای محدود کردن اختلاف دمای مؤثر در داخل دیگ به ۴۵ درجه سانتی‌گراد وسایل مخلوط‌کننده داخلی و یا خارجی مورد استفاده قرار گیرند.
- برای دیگ‌های آب داغ، اختلاف دمای اشباع مطابق با فشار کار دیگ و دمای آب برگشتی (ورودی به دیگ) باید کمتر از ۸۰ درجه سانتی‌گراد باشد.
- اگر نازل‌های فلنجی یا انشعابات مورد استفاده قرار گیرند، لبه فلنج‌ها باید ماشینکاری شده یا بوسیله ماشین از طریق حرارت بریده شوند. اما سطح آب بندی و پیچ مهره‌ها نیز باید ماشین کاری شوند.
- چنانچه از بالشتک استفاده شود، سطوح آب بندی باید ماشین کاری شوند. بالشتک‌ها باید دارای ضخامت کافی باشند تا بتوان سوراخ پیچ‌ها را برای متعلقات مته‌کاری نمود بدون اینکه سطح داخلی سوراخ شود. طول قسمت رزوه شده پیچ در بالشتک نباید از قطر خود پیچ کمتر باشد.
- تمام سوراخ‌های پیچ‌ها و میله‌های رزوه‌دار شده، باید مته کاری شوند. مهره‌ها و پیچ‌ها باید در محل تماس با فلنچ‌ها ماشین‌کاری شوند.

■ ۱-۴-۲ جمع بندی پس از بازرسی‌ها

مواردی که باید پس از اتمام فرآیند ساخت دیگ مورد بازرسی و بازنگری قرارگیرند، شامل موارد زیر می‌باشند:

۱- بازنگری و کنترل مدارک نهایی سازنده (MDR) Reviewing Documents of the Manufacturer

۲- بازرسی بسته بندی و علامت‌گذاری‌های روی دیگ

۳- صدور گواهینامه ترخیص دیگ

۴- نظارت بر بارگیری دیگ

۵- صدور گواهینامه ارسال دیگ

همچنین نقشه‌ها، مدارک و اوراق اطلاعاتی، گواهی‌نامه‌ها و نشانه‌گذاری‌ها نیز باید مورد بازرسی و بازنگری قرارگیرند.

نقشه‌ها، مدارک و اوراق اطلاعاتی:

۱. نقشه‌ها، مدارک و یا اوراق اطلاعاتی، اطلاعات کامل در مورد اندازه‌ها و فشار طراحی هر دیگ به همراه جزییات موادی که در ساخت آن به‌کار رفته است باید از طرف سازنده در اختیار خریدار و مرجع معتبر

بازرسی قرار گیرد. اگر نصب دیگ در محل توسط سازنده تقبل نشده باشد وی باید اطلاعات کاملی در مورد نصب مناسب دیگ فراهم آورد.

۲. پس از تکمیل نمودن دیگ، در صورت لزوم، نقشه‌های مناسب، مدارک و اوراق اطلاعاتی برای آگاهی مرجع معتبر قانونی باید همراه آن باشد.

فیلم‌های پرتونگاری، گزارش‌های آزمون آلتراسونیک، نمودارهای عملیات حرارتی و پرونده‌های مربوط به بازرسی‌های درون کارخانه‌ای باید حداقل به مدت ۵ سال توسط سازنده حفظ شوند.

گواهی‌نامه‌ها

سازنده باید در مورد اینکه هر دیگ از تمامی جهات مطابق استانداردهای مورد تایید طرح، ساخته و آزمایش شده است، گواهی‌نامه صادر نماید. این گواهی‌نامه باید توسط مرجع معتبر بازرسی تایید شود. اگر نصب توسط مراجع دیگری بازرسی شده‌اند، هر یک از مراجع معتبر بازرسی باید گواهی‌نامه را در رابطه با کاری که نظارت نموده اند تایید نمایند.

اگر عملیات طراحی و ساخت توسط سازمانهای جداگانه‌ای صورت گرفته باشد هر سازمان باید در رابطه با کاری که انجام داده، گواهی‌نامه‌ای صادر نماید. همچنین می‌توان گواهی‌نامه‌ای مشترک صادر نمود که توسط هر یک از سازمان‌ها در رابطه با کاری که انجام داده امضأ شده باشد. هر گواهی‌نامه آن چنان که در بالا ذکر گردید، باید توسط مرجع معتبر بازرسی تایید شود. گواهی‌نامه باید حداکثر فشار مجاز کاری (فشار طراحی) و شماره‌های ردیف سازنده را شامل شود.

- **نشانه‌گذاری:** هر دیگ باید به‌طور ثابت و خوانا برای نشان دادن هویت و منشأ آن نشانه‌گذاری شود. این نشانه‌گذاری یا باید در بالای کوره صورت گیرد، یا در صورت عدم امکان، روی تابلویی که به‌طور ثابت روی قسمت اصلی تحت فشار متصل شده و یا روی ساختمان فولادی دیگ در محلی که پس از پوشانیدن قابل رؤیت باشد. لبه‌های حروف و اعداد هرگونه مهری که روی قطعات تحت فشار زده می‌شود، باید گرد شده باشد. نشانه‌های به‌کار رفته به شرح زیر می‌باشد:

۱. اسم و آدرس قانونی سازنده
۲. شماره سریال سازنده
۳. فشار طراحی
۴. سال ساخت
۵. تاریخ آزمایش هیدرولیک و فشار آزمایش
۶. علامت مرجع معتبر بازرسی
۷. علامت استاندارد با کسب مجوز قانونی
۸. شماره این استاندارد و دسته‌بندی دیگ
۹. حداکثر ظرفیت مداوم

۲-۵ بازرسی جوش و انواع تست‌های غیرمخرب

قبل از توسعه فرآیند جوشکاری، مرسوم‌ترین روش ساخت توسط پرچ بود که در این روش درزها به‌صورت Lap joint پرچ می‌گردیدند و به‌منظور جلوگیری از نشتی از بتونه استفاده می‌شد. این مسئله در دماهای بالا مشکل آفرین بود. بعد از توسعه روش‌های جوشکاری، این روش جایگزین روش پرچ و بتونه گردید و اکنون مرسوم‌ترین روش ساخت مخازن استفاده از جوشکاری می‌باشد. لذا قبل از شرح جامعی در مورد انواع تست‌های کاربردی و مهم در شناسایی عیوب دیگ‌ها قبل از تحویل و راه اندازی، چند الزام مهم در بازرسی جوش بیان می‌گردد.

■ ۲-۵-۱ منابع استاندارد جوشکاری

رعایت نکردن استانداردهای جوشکاری، دلیل خسارات جانی و مالی زیادی در سال می‌باشد. این استانداردها توسط سازمان‌هایی نظیر ASME و AWS و API تهیه شده‌اند.

AWS نام انجمن جوشکاری آمریکا می‌باشد که نام کامل آن American Welding Society است. کار اصلی این انجمن تحقیق و تهیه انواع دستور العمل‌ها برای جوشکاری و بازرسی جوش می‌باشد. ASME که با نام جهانی American Society of Mechanical Engineers شناخته می‌شود نیز شبیه به سازمان AWS می‌باشد، اما سازمان ASME به صورت بسیار گسترده‌تر در زمینه‌های مکانیکی و ساخت انواع سازه‌ها فعالیت می‌کند. سازمان API نیز که نام اصلی آن American petroleum institute می‌باشد، در زمینه تحقیق و توسعه ساخت و بهره برداری از انواع لوله‌های گازی و نفتی فعالیت می‌کند. این سه سازمان برای هر نوع سازه و یا قطعه‌ای، استانداردهای جوشکاری خاص خود را دارا می‌باشند.

ابتدا قبل از شروع جوشکاری نیاز به تهیه دستور العمل جوشکاری و یا به اختصار WPS می‌باشیم. WPSها توسط مهندسین جوشکاری واجد شرایط نوشته می‌شود. این مهندسان دوره‌های مخصوص نوشتن WPS را گذرانده‌اند و با چگونگی استفاده از انواع استانداردها آشنایی دارند.

معمولاً بر حسب نیاز از دو یا چند کد مختلف برای تهیه دستور العمل جوشکاری استفاده می‌شود. دستور العمل‌های جوشکاری مجموعه فرآیندهایی هستند که از قبل از جوشکاری آغاز و پس از آن نیز ادامه دارند. برای مثال می‌توان به مراحل آماده‌سازی قطعه، انتخاب روش و الکترود، وضعیت جوشکاری و یا آمپر جوشکاری و همچنین شیوه بازرسی و تایید جوش اشاره کرد.

معمولاً بسته به نوع قطعه از انواع استانداردها نظیر ASME و AWS و API استفاده می‌شود.

در زیر به بررسی انواع استانداردهای جوشکاری ASME و AWS و API می‌پردازیم.

استاندارد ASME:

سازمان ASME دارای تالیفات بسیار زیادی در زمینه مکانیک و ساخت انواع تجهیزات می‌باشد. در زیر

تالیفات مربوط به جوشکاری و بازرسی جوش آورده شده است:

ASME SECTION 2: این استاندارد برای انتخاب متریال جوشکاری می‌باشد.

ASME SECTION 8: این استاندارد موارد مورد نیاز برای ساخت منابع تحت فشار می‌باشد.

ASME SECTION 9: این کد به صورت کامل به انتخاب روش جوشکاری مناسب و دیگر پارامترهای مربوط به آن و همچنین چگونگی بازرسی جوش می‌پردازد.

ASME SECTION 5: تمامی مباحث مربوط به بازرسی جوشکاری به صورت غیر مخرب (NDT) در این بخش می‌باشد.

این SECTIONها اصلی‌ترین تالیفات مورد استفاده از استاندارد ASME برای جوشکاری و تهیه WPS می‌باشد.

ASME B16. 25: این کد برای لبه‌های جوش شونده در خطوط لوله استفاده می‌شود.

ASME B16. 9: برای اتصالات جوشی به سراغ این استاندارد می‌رویم.

ASME B16. 49: برای لبه‌سازی جوش‌های خم از این استاندارد استفاده می‌شود.

استاندارد AWS: AWS D10. 10

این استاندارد برای تعیین گرمایش سرجوش‌ها در لوله کشی‌ها (piping) به‌کار می‌رود.

AWS A5. 30: برای استفاده از فیلترهای جوشکاری از این استاندارد استفاده می‌شود.

AWS A5. 18: در این استاندارد به بررسی الکترودهای موجود برای جوشکاری قوسی در فولادهای کربنی پرداخته شده است.

AWS A5. 4: این استاندارد نیز در مورد الکترودهای جوشکاری SMAW می‌باشد.

AWS A5: متریال‌های مورد استفاده در جوشکاری در این بخش جمع‌آوری شده است.

AWS D1. 1: کدهای موجود برای جوشکاری در این استاندارد آورده شده است.

AWS A1. 1: بررسی ابعادی جوشکاری به صورت کامل در این تالیف می‌باشد.

استانداردهای جوشکاری AWS یکی از معتبرترین و در عین حال پرکاربردترین استانداردها برای جوشکاری می‌باشند.

استاندارد API:

API2X: برای تست NDT استراکچرهای خشکی استفاده می‌شود.

API 1104: مهم‌ترین استاندارد برای جوشکاری خطوط لوله استاندارد1104 API می‌باشد.

API 1111: در این استاندارد به طراحی و شناخت و تعمیر خطوط لوله سازه‌های OFFSHORE می‌باشد.

API 1110: از این استاندارد برای بازرسی و تست خطوط لوله انتقال استفاده می‌شود.

API 598: این استاندارد برای بررسی ولوها استفاده می‌شود.

API RP 572: برای بازررسی و تست مخازن تحت فشار از این استاندارد استفاده می‌شود.

API20D: این استاندارد منحصراً به بررسی و چگونگی آزمون‌های غیر مخرب NDT برای تجهیزات نفت و گاز می‌پردازد.

API 582: این استاندارد روش‌های جوشکاری را در صنایع نفت و گاز بررسی می‌کند.

API 577: مباحث جوشکاری و بازرسی آن در این استاندارد آورده شده است.

تمامی استانداردهایی که در بالا آورده شده‌اند، در نوشتن WPS استفاده می‌شوند.

یک مهندس جوش با استفاده از استاندارد جوشکاری، دستورالعمل جوشکاری را تهیه می‌کند.

■ ۲-۵-۲ عملیات حرارتی پس از جوش (Post-Weld Heat Treatment (PWHT)

عملیات حرارتی برای تغییر خواص فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و به ویژه متالورژیکی مواد و برای از بین بردن تنش‌های موجود که در عملیات و فرآیند تولید به وجود آمده است، استفاده می‌شوند. به عملیات حرارتی که بعد از تولید انجام شود پس گرم گفته می‌شود.

اعمال نیرو و یا تغییرات دمایی می‌تواند در قطعه تنشی ایجاد کند که ممکن است بسیار زیان بار باشد. این تنش‌ها که «تنش‌های پسماند» نامیده می‌شوند، می‌توانند سبب تاب برداشتن، ترک برداشتن و یا شکست زودهنگام در حین تولید یا درحین کار شوند. این تنش‌ها ممکن است در اثر وجود شیب حرارتی یا در واقع عدم سرد شدن یکنواخت قطعه و یا ماشینکاری و کارسرد بوجود آیند.

به عملیات گرم کردن یکنواخت فلز پس از جوشکاری (Post Weld) تا دمای مناسب زیر حد بحرانی و سپس سرد کردن یکنواخت آن عملیات پس گرم جوش یا تنش‌زدایی جوش نیز گفته می‌شود. فرآیند عملیات حرارتی پس گرم (حرارت دادن و خنک کردن) اغلب به صورت اتوماتیک و با استفاده از تجهیزات اندازه‌گیری ابزار دقیق دما، مانند ترموکوپل انجام می‌شود.

انجام صحیح عملیات تنش‌زدایی پس گرم وابسته به ۴ پارامتر کلیدی زیر است:

- نرخ گرمایش
- دمای نگه داشت
- زمان نگه داشت
- نرخ سرمایش

برای بازرسی در این مرحله توجه به نکات زیر الزامی است:

- **پیش‌گرم کردن:** به‌منظور اجتناب از ترک خوردگی ناحیه سخت در مناطق تحت تاثیر حرارت ناشی از برش حرارتی و جوشکاری (حتی خال جوش)، نیاز است تا فلز مادر قبل از این عملیات، پیش‌گرم گردد.
- دمای پیش‌گرم کردن بستگی به نوع اتصال، ضخامت فلز، ترکیب فولاد، گرمای ورودی هر رانش از جوش و میزان هیدروژن در فلز جوش بستگی دارد. دماهای پیشنهادی پیش‌گرم کردن در جدول‌های بخش عملیات حرارتی استاندارد ۴۲۳۱ باید به عنوان یک راهنمای کلی تلقی گردد (جدول ۳-۲). سایر دماهای پیش‌گرم

کردن نیز مجاز می‌باشند، مشروط بر اینکه توسط آزمایشات تاییدکننده روش جوشکاری تایید گردند.

- سازنده باید در روش جوشکاری، جزییات هر عمل پیش‌گرم کردن برای هر نوع جوش که شامل جوش اتصالات نیز می‌گردد را قید نماید و برای تایید به مرجع بازرسی ارایه نماید.
- سازنده باید روش‌هایی برای اندازه‌گیری و حفظ دمای پیش‌گرم ارایه نماید. روش اندازه‌گیری دمای مورد قبول شامل قلم‌های تماسی نشان‌دهنده دما و ترموکوپل می‌باشد.
- دما باید در مدت زمان عملیات تحت نظارت باشد.

جدول ۳-۲. دماهای پیشنهادی پیش‌گرم کردن در PWHT

برش حرارتی		جوشکاری			
ضخامت (mm)	حداقل دمای پیش‌گرم (°C)	فلز جوش با هیدروژن کنترل شده (حداکثر می زان هیدروژن در هر ۱۰۰ گرم (فلز ذوب شده: ۱۵ میلی لیتر		فلز جوش با هیدروژن کنترل نشده	
		ضخامت (mm)	حداقل دمای پیش‌گرم (°c)	ضخامت (mm)	حداقل دمای پیش‌گرم (°c)
کلیه ضخامت‌ها	۵	تا ۳۰	۵	تا ۲۰	۵
		بالای ۳۰	۱۰۰	از ۲۰ تا ۵۰	۱۰۰

- قبل از انجام عملیات حرارتی، باید روش و سرعت سرد و گرم کردن قطعه در هنگام انجام عملیات حرارتی مطالعه و بررسی شود.
- عملیات حرارتی پس از جوشکاری، بعد از تکمیل کلیه جوشکاری‌ها و قبل از آزمایش فشار در مواردی که در آنجا ضخامت هر قطعه جوشکاری شده از ۳۰ میلی‌متر تجاوز نماید باید انجام گردد.
- اگر اتصال جوش شده، قطعاتی را که دارای ضخامت‌های متفاوت هستند به هم وصل نماید، ضخامتی که باید براساس محدودیت داده شده در استاندارد ۴۲۳۱ در نظر گرفته شود، یکی از ضخامت‌های اسمی زیر می‌باشد (بدون کسر مقدار خوردگی مجاز):

۱. ضخامت ورق نازکتر در ورق‌های مجاور لب به لب جوش شده شامل اتصال عدسی انتهایی به پوسته
۲. ضخامت در رابطه با اتصال ورق‌های تختی که لب به لب به پوسته جوش شده‌اند و ضخامت ورق‌های تخت در جایی که آنها را به داخل بدنه اضافه نموده‌اند
۳. ضخامت پوسته یا ورق سخت در محل اتصال جوش‌های نازل‌ها و بالشتک‌ها بر حسب مورد
۴. ضخامت کلیه نازل‌ها در محل اتصال فلنج به گلوی نازل
۵. ضخامت قطعات تحت فشار در محل اتصال، جایی که قطعه غیر تحت فشار به قطعه تحت فشار جوشکاری می‌شود

- فولادهای کربن‌دار ساده و کربن منگنزدار را باید برای اهداف تنش‌زدایی، در محدوده ۵۸۰ درجه سلسیوس

تا ۶۲۰ درجه سلسیوس گرم نمود. زمان مناسب نگه داشت برای کاهش سطح تنش پسماند الزامی است و با توجه به ضخامت اتصالات تعیین می‌گردد. زمان نگهداری در این دما به ازای هر میلی‌متر ضخامت، حداقل ۲/۵ دقیقه، یعنی یک ساعت به ازای ۲۰ تا ۲۵ میلی متر ضخامت توصیه می‌شود.

- دماهای مشخص شده باید همان دماهای هر قسمت از دیگ باشند که بوسیله سر ترموکوپل‌ها در فضای کوره، اندازه‌گیری می‌شوند و می‌توان به عنوان دماهای فلز به‌کار برد. البته به شرطی که شواهدی وجود داشته باشد که دماهای خوانده شده با دماهای فلز، با اختلاف بسیار کمی با هم برابر است و این اختلاف دما مورد توافق سازنده و مؤسسه بازرسی می‌باشد.
- بازرس خود باید از انجام صحیح عملیات حرارتی پس از جوشکاری رضایت داشته و دماهای خوانده شده با مقررات مطابقت داشته باشد.
- به‌منظور بررسی و اطمینان از انجام صحیح تنش‌زدایی می‌توان از تست سختی کمک گرفت.
- پس از انجام عملیات حرارتی انجام جوشکاری مجاز نمی‌باشد، مگر در مواردی که انجام تعمیرات اجتناب ناپذیر باشد. در این صورت پس از تعمیرات، عملیات حرارتی به صورت موضعی انجام می‌گیرد.
- عملیات حرارتی یا تنش‌گیری بعد از اتمام جوشکاری مخزن، به‌منظور کاهش تنش‌های حاصل از جوشکاری (تنش‌های پسماند) انجام می‌گیرد. این عملیات قبل از انجام تست هیدروستاتیک و بعد از اتمام کلیه تعمیرات انجام می‌شود (UW-40 e).
- قبل از انجام عملیات حرارتی باید روش و سرعت سرد و گرم کردن قطعه در هنگام انجام عملیات حرارتی مطالعه و بررسی قرار گیرد.
- موارد مربوط به عملیات حرارتی بعد از جوشکاری در بخش‌های UCS-68، UW-2، UCS-56 از ASME SEC. IIIV آورده شده است. برای اطلاع از درجه حرارت و زمان عملیات حرارتی (با توجه به جنس مخزن) به جدول UCS-۵۶ مراجعه شود.

■ ۳-۵-۲ الزامات بازرسی جوش

براساس استانداردهای ملی و بین المللی، بازرسی‌ها در قسمت‌های تحت فشار به شرح زیر صورت می‌پذیرد:

- بدنه‌های استوانه ای
- صفحات انتهایی، صفحات تاج و صفحات لوله
- لوله‌های ساده و لوله‌های دهانه
- دریچه دسترسی
- قاب دریچه‌های آدم رو، درب‌ها و دهانه‌ها
- نشیمنگاه تجهیزات
- کوره‌های استوانه ای

- آتشدان‌ها
- لوله‌های عرضی و مهارها

قبل از آغاز ساخت، در حین جوشکاری سازنده باید بنا به درخواست شرکت بازرسی نقشه‌های کاملاً اندازه‌گذاری شده مقاطع، شامل جزییات کامل ساخت قطعات تحت فشاری که به یکدیگر جوشکاری خواهند شد را فراهم آورد. نقشه‌های مرتبط با آماده‌سازی جوش در زمان‌های اصلی باید اندازه‌گذاری شود و با مقیاسی ترسیم شود که جزییات مربوطه را واضح نشان دهد. نقشه‌ها همچنین باید جزییات آماده‌سازی جوش برای اتصال لوله‌های تکیه گاهی به انشعابات و نشیمنگاه‌ها و محل استقرار آن‌ها نسبت به درزهای طولی و به سایر دریچه‌ها را نشان می‌دهد.

برای بازرسی قسمت‌های جوشکاری شده بررسی موارد زیر الزامی است:

- تایید رویه‌های جوشکاری
- مواد مصرفی جوشکاری
- آماده‌سازی برای جوشکاری
- مونتاژ اجزاء برای جوشکاری
- جوشکاری در زمان‌های اصلی
- اتصال توسط جوشکاری
- اتصال قطعات تحت فشار به بدنه دیگر به روش جوشکاری
- اتصال قطعات غیرمرتبط با فشار به بدنه دیگر به روش جوشکاری
- بررسی دمای جوشکاری
- آزمون‌های تست قسمت‌های جوشکاری شده
- تست‌های غیر مخرب

در ادامه نحوه انجام انواع تست‌های غیرمخرب به تفصیل توضیح داده شده است.

■ ۴-۵-۲ تست‌های غیرمخرب (Non-Destructive Testing) (NDT)

کارکرد هر قطعه ای می‌تواند بر اثر وجود عیوب مختلف تحت تاثیر قرار بگیرد و این عیوب ممکن است در هر زمانی در حین فرآیند ساخت و یا در طول عمرکاری قطعه به وجود آیند.

منشأ عیوب در قطعات به شرح زیر می‌باشند:

۱. عیوب ناشی از مواد اولیه مانند مواد اولیه نامرغوب و ناخالصی‌های مضر در آن.

۲. عیوب ناشی از فرآیند تولید مانند ناخالصی‌های سرباره‌ای، تخلخل‌های گازی، ترک‌ها، تنش‌های باقیمانده و عیوب ابعادی.

۳. عیوب ناشی از عملیات ثانویه که بر روی قطعات تولیدی انجام می‌گیرد مانند عملیات حرارتی

نامناسب، جوشکاری نامرغوب و ماشین کاری نامناسب.

۴. عیوب ناشی از شرایط کاری و عوامل محیطی مانند ترک‌های خوردگی، خزش، انبساط و انقباض‌های حاصل از نوسانات شدید و فرسایش.

۱-۴-۵-۲آزمون‌های مخرب

روش‌های متداول برای کنترل کیفی قطعات، آزمایش‌های مخرب و آزمون‌های غیر مخرب می‌باشد. آزمایش‌های مخرب اغلب به منظور بررسي و تعیین خواص مکانیکی و یا کنترل کیفیت مواد با استفاده از نمونه برداری از قطعه مورد نظر به‌کار می‌روند. در آزمایش‌های مخرب معمولًا با نمونه برداری از قطعه برای آزمایش، قطعه تخریب می شود و دیگر قابل استفاده نیست. برای مثال در این مورد می‌توان از نمونه برداری برای آزمایش‌های کشش، فشار، ضربه و خستگی نام برد.

محدودیت آزمایش‌های مخرب

آزمون‌های مخرب را نمی‌توان بر روی تمامی قطعات تولیدی انجام داد زیرا در نمونه برداری قطعه تخریب می‌شود. از این جهت است که برای کنترل کیفیت محصول این نوع آزمایش‌ها را برای تعدادی از قطعات تولیدی انجام داده و فرض بر این می شود که سایر قطعات تولید شده دارای خواص کاملا نزدیک به این نمونه‌های انتخابی هستند لذا با استفاده از آزمون‌های مخرب اطمینان صددرصدی در مورد کیفیت تمامی قطعات در دست نیست.

آزمون‌های غیر مخرب

آزمون‌های غیر مخرب آزمایش‌هایی هستند که برای انجام آنها نیازی به تخریب قطعه و نمونه برداری نیست. به این دلیل آزمایش‌های غیر مخرب را در صورت لزوم بدون اینکه به قطعات آسیبی برسد می توان بر روی تمامی آنها انجام داد.

کاربرد آزمون‌های غیرمخرب در موارد زیر می‌باشد:

۱. شناسایی عیوب موجود در قطعات از قبیل:

- تخلخل
- حفره های داخلی
- ترک و ناپیوستگی‌های سطحی و داخلی
- ناخالصی‌ها
- انواع عیوبی که در حین فرآیند تولید و یا در حین کار تحت شرایط ویژه محیط کار ایجاد و شکل می‌گیرند.

۲. در مواردی از آزمایش‌های غیر مخرب برای اندازه گیری ترك و مقایسه آن با اندازه مجاز و برآورد طول عمر قطعه در ارتباط با آهنگ رشد و گسترش ترك، تحت تأثیر تنشی که به آن اعمال می‌شود استفاده می‌گردد

۳. آزمایش‌های غیر مخرب برای شناسایی عیوب بکار نمی‌روند، بلکه تعدادی از آنها برای تعیین نوع فقط ساختار شبکه کریستالی، اندازه گیری ابعاد و ضخامت پوشش ها نیز بکار می‌روند.

ویژگی‌ها و مزایای آزمون‌های غیرمخرب:

۱. امکان انجام آزمایش‌های غیرمخرب بر روی تمامی قطعات تولیدی.

۲. امکان انجام آزمایش‌های غیرمخرب مختلف بصورت همزمان یا متعاقباً یکی بعد از دیگری بر روی یك قطعه.

۳. امکان تکرار آزمایش ها بر روی یك قطعه.

۴. کاهش هزینه‌های تولید یا انجام این آزمایش‌ها در حین فرآیند تولید و شناسایی به موقع عیوب و جلوگیری از اتلاف بیشتر مواد و نیروی انسانی.

۵. افزایش ایمنی یا شناسایی به موقع عیب در قطعات حساس و جلوگیری از شکست زودرس آنها که می تواند به از بین رفتن تجهیزات و زیان‌های مالي و در مواردی حتي زیان‌های جاني منجر شود.

۶. افزایش کیفیت تولید و بالا بردن درصد اطمینان در ارتباط با تولید قطعات سالم.

۷. قابلیت حمل و نقل تجهیزات مربوط به اینگونه آزمون‌ها و استفاده از آنها در محل کار.

قبل از انجام آزمایش‌های غیرمخرب بمنظور افزایش درصد اطمینان نسبت به شناسایی عیوب لازم است نکات زیر مورد توجه قرار گیرد:

۱. جنس قطعه، نوع فاز یا فازهای موجود در قطعه، داشتن یا نداشتن قابلیت هدایت الکتریکی و مغناطیس پذیری.

۲. روش های تولید قطعه.

۳. داشتن یا نداشتن پوشش سطحی بر روی قطعه و نوع فرایند پوشش دهی.

۴. نوع عملیات حرارتي انجام گرفته بر روی قطعه.

۵. شکل هندسی قطعه و ابعاد آن به‌منظور پیشگویی اولیه از نوع عیب و موقعیت مکانی آن.

۶. منشأ عیب (مواد اولیه، فرآیند تولید) و علل آن.

۷. عیوب ممکن و مورد انتظار از لحاظ نوع و موقعیت.

۸. عیوب مجاز در قطعه از لحاظ نوع، اندازه و موقعیت.

۹. کسب هرگونه اطلاعات در ارتباط با شناسنامه قطعه و شرایط محیط کار که می‌تواند به شناسایی دقیق عیب کمک کند.

مبنای کار آزمون‌های غیرمخرب:

مبنای کار این آزمون‌ها مبتنی بر استفاده از اصول فیزیکی به‌منظور آشکارسازی و شناسایی عیوب و ناهماهنگی‌های موجود فیزیکی، بمنظور آشکارسازی و شناسایی عیوب و ناهمگنی های موجود در قطعه است.

مراحل اساسي هر آزمون غیر مخرب عبارت است از:

۱. کاربرد یکی از خواص فیزیکی ماده ای که قطعه از آن ساخته شده است.

۲. آشکارسازی و مشاهده تغییرات ایجاد شده در این خاصیت فیزیکی در ارتباط با وجود عیب یا

ناهمگنی موجود در قطعه به کمك وسیله‌ای مناسب.

۳. تعیین تغییرات ایجاد شده و تبدیل آن بصورتي که قابل بررسي و تفسیر باشد.

۴. تفسیر نتایج بدست آمده و اظهار نظر در مورد کیفیت قطعه.

انتخاب روش آزمون غیرمخرب:

انتخاب نوع روش آزمون غیرمخرب به عوامل زیر بستگی دارد:

۱. جنس قطعه مورد بررسی.

۲. اندازه و موقعیت عیب.

۳. درجه اطمینان در ارتباط با قابلیت روش برای آشکارسازی عیب مورد نظر.

در استاندارد ASME بخش ۵، به‌طور جامع به انواع تست‌های غیر مخرب (NDT) از جمله تست مایع نافذ (MT)، تست آلتراسونیک (UT)، تست رادیوگرافی (RT) و دیگر تست‌های آنالیز غیر مخرب و روش‌های انجام و کاربردهای آنها پرداخته شده است. برای بازرسی جوش، روش‌های مختلفی وجود دارد که با توجه به مزایا و محدودیت آنها، این روش‌ها قابل کاربرد در بازرسی جوش می‌باشند.

- VT — Visual آزمون چشمی
- RT — Radiography آزمون پرتونگاری یا رادیوگرافي
- UT — Ultrasonics آزمون ماوراء صوت یا اولتراسونیك
- MT — Magnetic Particle آزمون ذرات مغناطیسي
- PT — Liquid Penetrants آزمون مایع نافذ
- LT — Leak Testing آزمون نشت
- ET — Electromagnetic (Eddy Current) آزمون جریان گردابي
- AE — Acoustic Emission آزمون نشرصوت

بازرسی چشمی (Visual Inspection)

ابتدايي ترين و رايج ترين روش بازرسی غیر مخرب، بازرسی چشمی است که بیشتر اوقات اولین مرحله از بازرسی يك قطعه می باشد. به طوری که در بسیاری از برنامه های تدوین شده توسط سازنده برای کنترل کیفیت محصولات از آزمون چشمی به عنوان اولین تست و در بعضي از موارد به عنوان تنها روش بازرسی استفاده می شود. در یافتن محل عیوب سطحی، بازرسی چشمی می تواند به عنوان تکنیك فوق العاده کنترل پروسه برای کمك در شناسایی مسائل و مشکلات بعد از ساخت به کار گرفته شود.

منظور از آزمون چشم شناسایی نواقص و معایب سطح توسط چشم انسان است که می تواند با چشم غیر مسلح و یا مسلح انجام پذیرد. بازرسی با چشم غیر مسلح فقط عیب‌های نسبتاً بزرگي را که به سطح قطعه راه دارند نمایان خواهد کرد. با به‌کار بردن يك میکروسکوپ می توان کارائی بازرسی چشمی را افزایش داد. در این نوع بازرسی‌ها، بزرگنمایي بسیار زیاد ضرورتی ندارد و بیشتر میکروسکوپ‌هایی که بدین منظور در دسترس هستند، بزرگنمایی در حدود ۵ تا ۷۵ برابر دارند.

بازه کاری بازرسی چشمی:

۱. بازرسی سطوح خارجی.

۲. بازرسی سطوح داخلی نظیر لوله ها، حفره ها، کانال‌ها و قسمت‌های غیر قابل‌دسترس با استفاده از ابزارهای چشمی.

ابزارهای چشمی شامل ابزارهای صلب یا انعطاف پذیر هستند.

قسمت‌های مختلف یك ابزار چشمی:

۱- منبع تأمین نور: شامل یك چشمه خارجی با شدت متغیر و یا لامپ کوارتز هالوژنی باتری دار می باشد.

۲- سیستم انتقال نور و نتایج: از فیبر نوری برای انتقال نور به محل مورد نظر و همچنین انتقال نتایج به اپراتور استفاده می شود.

۳ - مجموعه عدسی‌ها: به دو صورت دید مستقیم و دید عمود بر روی ابزار قرار می‌گیرند.

۴ - سیستم نمایش: می تواند در خود ابزار و یا به صورت مجزا در اتاق بازرسی قرار گیرد.

کاهش هزینه با استفاده از بازرسی چشمی:

هر برنامه کنترل کیفیت که شامل بازرسی چشمی باشد، باید حاوی یك سری فعالیت‌های متوالی انجام شده در طول تمام مراحل کاری ساخت باشد. کشف و تعمیر عیوب در زمان‌های فوق، کاهش هزینه را در بر خواهد داشت. به طور کلی نشان داده شده است بسیاری از عیوبی که بعدها با روش‌های تست پیشرفته تری کشف می شوند با بازرسی چشمی قبل، حین و بعد از فرآیند تولید به راحتی قابل کشف می باشند.

به عنوان مثال در فرآیند جوشکاری می توان عیوبی نظیر موارد زیر را با این روش شناسایی نمود:

۱. خلل و فرج‌های سطح جوش.

۲. سوختگی و بریدگی کنار جوش و یا پر نشدن کامل شکاف جوش.

۳- حفره انتهایی چاله جوش.

۴. گرده جوش اضافي و یا سر رفتن فلز جوش.

۵. تعیین گلویي لازم و به طور کلي تعیین ابعاد جوش.

۶. ترك در جوش یا منطقه مجاور جوش.

۷. جابجایی و تاب برداشتن و تغییر ابعاد اجزای مورد جوش.

در بازرسی چشمی برای رسیدن به نتایج صحیح باید شرایط زیر را فراهم نمود:

- شدت نور در حدود ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ لوکس.
- جداسازی محیط بازرسی از سایر مکان‌ها.
- حداکثر زمان کارکرد یك اپراتور ۲ ساعت باشد.
- نور محیط ترک‌ی‌بی از نورهای سفید و زرد رنگ باشد.

میزان تاثیر بازرسی چشمی هنگامی بهتر می شود که تمام مراحل پروسه جوشکاری (قبل، حین و بعد از جوشکاری) تحت بازرسی کامل قرار گیرد.

قبل از جوشکاری موارد زیر نیاز به توجه بازرس چشمی دارد:

۱. مرورطراحی‌هاو مشخصات

۲. چك كردن تاییدیه پرسنل مورد استفاده

۳. مشخص کردن نقاط تست (باید نقاط تست و جایی که آزمون باید قبل از تکمیل هرگونه مراحلی‌بعدی انجام شود، مشخص گردد)

۴. نقاط نگهداری برای ثبت نتایج

۵. مرور مواد مورد استفاده

۶. چك كردن ناپیوستگی‌های فلز پایه

۷. چك كردن نحوه اتصال و ترازبندی اتصالات جوش

۸. چك كردن پیش گرمایی در صورت نیاز

به غیر از روش چشمی که معیار آن مشاهده عیب است و لذا محدود به عیوب قابل رؤیت می‌باشد، مابقی روش‌های متداول به دو دسته سطحی و حجمی دسته بندی می‌شوند که عبارتند از:

۱. روش آشکارسازی عیوب سطحی:

عیوبی که به سطح راه یافته‌اند و یا نزدیک به سطح می‌باشند، در این دسته قرار دارند و باید به روش‌های زیر در تشخیص این نوع عیوب اقدام نمود:

۱-۱. تست ذرات مغناطیسی (Magnetic Testing) (MT):

با استفاده از خصوصیت میدان مغناطیسی در مواد فرومگنت، می‌توان موقعیت عیوب سطحی و نزدیک به سطح را مشخص نمود. در این حالت اختلال ایجاد شده در میدان مغناطیسی، نشانگر وجود عیب خواهد بود.

۱-۲. تست مایعات نافذ(Liquid Penetrant Test) (PT) :

در این روش با استفاده از اصل مویینگی می‌توان عیوبی که به سطح راه دارند را آشکار ساخت. در این روش محدودیت جنس قطعه وجود ندارد، ولی عیب می‌باید حتماً به سطح راه داشته باشد.

۲. روش آشکارسازی عیوب حجمی:

تست‌های غیرمخرب حجمی به آن دسته از تست‌هایی اطلاق می‌شود که موقعیت عیوب در داخل قطعه را آشکار می‌سازند. دو روش مرسوم که در این دسته بندی قرار می‌گیرند، عبارتند از:

۲-۱. تست فراصوتی (Ultrasonic Test) (UT):

در این روش با استفاده از امواج فراصوتی و آنالیز امواج برگشتی، قابلیت تشخیص و موقعیت عیوب وجود دارد.

۲-۲. تست پرتونگاری(Radiographic testing) (RT) :

در این روش با استفاده از پرتو گاما یا اشعه ایکس و ارسال آن به سمت قطعه و ثبت آن بر روی فیلم پرتونگاری، وجود عیب در قطعه آشکار می‌گردد. در فرآیند ساخت با توجه به نظر طراح و محاسبات انجام شده در طراحی، از دو طرف قطعه به‌منظور پرتونگاری استفاده می‌شود. در روش پرتونگاری کامل، کلیه

اتصالات جوشی توسط پرتو گاما یا اشعه ایکس تحت آزمون قرار می‌گیرد.

دامنه آزمایشات غیر مخرب برای درز جوش‌های مختلف در دیگ بخار یا آب داغ به شرح زیر می‌باشد:

- آزمایش غیر مخرب برای دیگ‌های دسته ۳ (جدول۱-۱) لازم نیست.
- آزمایش غیر مخرب برای جوش‌های لوله و جوش میله مقاوم به ورق تخت، مورد نیاز نمی‌باشد.
- زمانی که برای مهار صفحات انتهایی از میله‌های مقاوم استفاده شده باشد، میزان تست درز جوش‌های محیطی در پوسته دیگ را می‌توان به ۱۰٪ کاهش داد.
- اگر نتایج یک آزمون غیر مخرب اجازه تصمیم‌گیری نهایی برای قبول یا رد جوش را ندهد، باید از آزمون دیگری استفاده نمود.
- پرسنل آزمایشات غیر مخرب طبق تشخیص مرجع بازرسی باید دارای صلاحیت لازم باشند.
- آزمایشات باید کلیه تقاطع جوش‌های محیطی و طولی را در برگیرد.
- برای هر درز طولی و محیطی باید حداقل یک فیلم رادیوگرافی تهیه نمود یا حداقل در طول ۲۰۰ میلی‌متر تست آلتراسونیک انجام گردد.
- انتخاب قسمتی از جوش که باید آزمایش گردد، به صورت اتفاقی خواهد بود.
- محلی از جوش که آزمایش شده، باید روی دیگ علامت‌گذاری و ثبت گردد.
- در جدول ۴-۲ نوع آزمایش غیر مخرب مربوط به هر قسمت از دیگ تحت فشار، با توجه به نوع و دسته‌بندی دیگ‌ها، بیان شده است.

جدول۴-۲. دامنه آزمایشات غیر مخرب برای درز جوش‌های مختلف دیگ بخار یا آب داغ

محل جوش	روش آزمایش	درصد کل طول جوش که باید آزمایش شود (٪)	
		دسته ۱	دسته ۲
درز جوش‌های طولی پوسته	UT، RT	۱۰۰	۱۰
درز جوش‌های محیطی پوسته	UT، RT	۲۵	۱۰
مابین پوسته و صفحات انتهایی عدسی شده	UT، RT	۲۵	۱۰
مابین پوسته و صفحات برون قرار گرفته	UT	۱۰۰	۱۰۰
مابین پوسته و صفحات درون قرار گرفته	UT	۱۰	۱۰
درز جوش‌های طولی و محیطی کوره	RT، UT	۱۰	۱۰
مابین قسمتهای کوره و برآمدگی حلقوی	RT	۱۰	۱۰
مابین قسمتهای کوره وصفحات انتهایی لبه دار	RT، UT	۱۰	۱۰

محل جوش	روش آزمایش	درصد کل طول جوش که باید آزمایش شود (٪)	
		دسته ۱	دسته ۲
مابین کوره و صفحات انتهایی درون قرارگرفته	UT	۲۵	۲۵
کوره به صفحه انتهایی محفظه برگشت اتش	UT	۲۵	۲۵
درز جوش‌های طولی پوسته محفظه برگشت آتش	UT، RT	۱۰	۱۰
ما بین پوسته محفظه برگشت آتش و صفحات انتهایی لبه دار	UT، RT	۱۰	۱۰
ما بین پوسته محفظه برگشت آتش و صفحات انتهایی درون قرار گرفته	UT	۱۰	۱۰
درز جوش‌های طولی دریچه دسترسی	RT، UT	۱۰	۱۰
ما بین دریچه دسترسی و صفحات انتهایی دیگ و صفحات انتهایی محفظه برگشت	UT	۱۰	۱۰
مابین دو قسمت صفحات انتهایی با قطر بزرگ	RT، UT	۲۵	۱۰
سطوح پشت جوش‌های لب به لب پس از برداشتن پشت‌سازی موقت	MT	۱۰۰	۱۰۰
در جایی که ناچاراً سوراخی آن را قطع نموده است t درز جوش پوسته به ضخامت	MT، PT	به طول ۶۰mm یا ۴t (هرکدام بزرگتر باشد)	
بعد از شکل دادن گرم یا سرد (اگر جوشکاری ورق قبل از شکل دادن انجام شود)	RT، UT	۱۰۰	۱۰۰
لبه ورق‌های پوسته و کوره، در نواحی مجاور به جوش‌های صفحاتی که درون دیگ قرارگرفته‌اند (پس از تکمیل شدن تمامی درز جوش ها)	UT laminations عیوب تورق	۱۰۰	۱۰۰
لبه صفحات انتهایی برون قرارگرفته، بر روی نواری به فاصله ۱۵۰ میلی‌متر از محیط	UT (lamination)	۱۰۰	۱۰۰
جوش‌های انشعابات و بالشتک‌ها با نفوذ کامل: ۱. ضخامت قسمت ضخیم‌تر < ۴۰ میلی‌متر ۲. ضخامت قسمت ضخیم‌تر >= ۴۰ میلی‌متر	UT، RT MT، PT	۲۵	۱۰
جوش‌های اتصال مقاوم‌های صفحه‌ای یا مفصلی. ۱. جوش از نوع نفوذ کامل باشد. ۲. اتصال با جوش گوشه انجام شود.	UT MT، PT	۱۰۰	۱۰۰
جوش‌های گوشه از داخل برای صفحات انتهایی: هنگامی که جوش گوشه قبل از جوشکاری طرف دیگر، کامل شده است. هنگامی که جوش گوشه بعد از جوشکاری طرف دیگر، کامل شده است.	MT، PT	۱۰ ۱۰۰	۱۰ ۱۰۰

محل جوش	روش آزمایش	در صد کل طول جوش که باید آزمایش شود (٪)	
		دسته ۱	دسته ۲
جوش‌های اتصال قلاب گیرها: ۱. جوش از نوع نفوذ کامل باشد. ۲. اتصال با جوش گوشه انجام شود.	UT MT، PT	۱۰۰	۱۰۰
جوش‌های اتصالاتی که بار دایمی اصلی را تحمل می‌کنند: ۱. جوش از نوع نفوذ کامل باشد ۲. اتصال با جوش گوشه	UT MT، PT	۲۵	۱۰
سایر جوش‌های گوشه	MT، PT	۲۵	۱۰

بنابراین با توجه به این که این آزمون‌ها چه در مبحث ساخت و چه در بحث تعمیرات و حین سرویس، کاربرد مهمی دارند و سلامت و ایمنی تجهیز توسط این آزمون‌ها به خوبی قابل بررسی می‌باشد، دستورالعمل‌های بازرسی چهار روش مهم و فراگیر از تست‌های غیرمخرب، در ادامه شرح داده شده است که هر کدام از آنها برای یک سری از عیوب جوش مناسب می‌باشد (در جدول ۵-۲ مقایسه این چهار روش تست بطور خلاصه ذکر شده است).

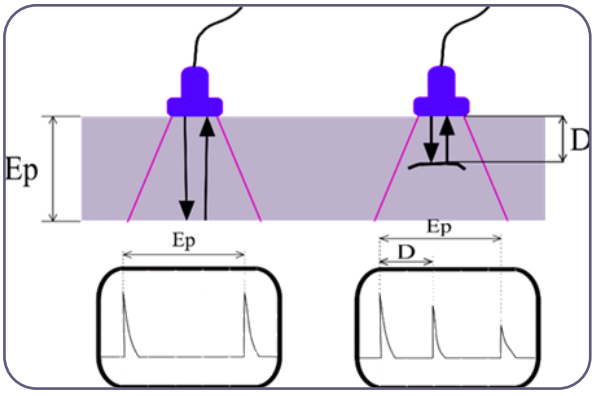
جدول ۵-۲. مقایسه روش‌های مختلف NDT و بازرسی چشمی

نوع بازرسی و تست	نوع جوش و شرایط	عیب ها
تست چشمی	همه جوش ها	جوش‌های ساختار کوچک ترک‌ها وجود سرباره
رادیوگراف (RT)	جوش لب به لب (BW) جوش محیطی جوش‌های مایتر	حفره‌های گاز وجود سرباره نفوذ ناقص عیب‌های هندسی جوش
ذرات مغناطیسی (MT)	ترک‌ها موادفرومگنتیک برای عیب‌های بالای ۰.۲۵ اینچ زیر سطح	تخلخل ترک‌ها کمبود ذوب
مایع‌های نفوذکننده (PT)	موادهای فریتی و غیر فریتی پاس نهایی جوش پاس ریشه جوش ساده و ارزان	ترک‌ها، شکاف و درزها تخلخل چین خوردن و چروک شدن داخل شدن مواد خارجی به جوش عیوب سطحی
آلتراسونیک (UT)	برای جوش‌های با کیفیت بالا در اتصالات تحت فشار اجرا می‌شود	ورقه ورقه شدن وجود سرباره در ورق‌های ضخیم عیب‌های سطحی

تجزیه، تحلیل و طریقه انجام دادن و تفسیر نتایج هر کدام از روش‌های فوق مستلزم گذراندن دوره‌های مخصوص آنها و گرفتن گواهینامه‌های تحلیل و بررسی و انجام روش‌های تست‌های فوق در سطوح متفاوت خواهد بود.

۲-۴-۵-۲ دستورالعمل بازرسی مخازن تحت فشار به روش UT:

تست آلتراسونیک یا فراصوت به دلیل قدرت نفوذ بالای امواج فراصوتی، حساسیت بالای تجهیزات مربوط به آن، هزینه‌های نسبتا پایین و سرعت عمل مناسب در کنترل کیفیت محصولات فرآیندهای تولید (از قبیل کشش، نورد، فورجینگ، اکستروژن) و هم چنین درز جوش‌ها کاربرد وسیعی دارد. قدرت نفوذ این روش تست جوش نسبت به تست رادیوگرافی جوش بسیار بالاتر می‌باشد و گاهی اوقات توانایی تشخیص عیوب تا عمق ۵ متر در فولاد را دارد. این دستورالعمل دارای جزییات و الزامات لازم برای بازرسی و تست جوش‌های مخازن تحت فشار به روش UT می‌باشد. در شکل ۱-۲ شماتیکی از اصول تست آلتراسونیک نشان داده شده است.



شکل ۱-۲. شماتیک اصول تست آلتراسونیک (عمق نقص با نسبت D / Ep تعیین می‌شود)

در ادامه، مراجع مرتبط، صلاحیت بازرس، الزامات ایمنی، تجهیزات و مواد مصرفی، نحوه‌ی اجرای تست و کالیبراسیون تجهیز توضیح داده شده است.

مراجع مربوط به این روش:

- ASME SEC V ARTICLE4
- ASME SEC VIII DIV1

صلاحیت بازرس:

پرسنلی که تست UT و تفسیر آن را انجام می‌دهند، حتماً باید الزامات دستورالعمل اثبات صلاحیت کارکنان را برای تایید داشته باشند و هم چنین توسط مدیر فنی و کارشناس مسئول سطح ۳ تایید شده باشد.

الزامات ایمنی:

کلیه الزامات ایمنی که توسط سازنده تجهیزات قید شده است و هم چنین الزامات ایمنی مربوط به محل بازرسی و شخص تایید صلاحیت شده برای تست UT، باید رعایت شود.

۱-۱-۴-۵-۲ تجهیزات و مواد مصرفی:

دستگاه آلتراسونیک:

از دستگاهی با مشخصات زیر که در استاندارد مرجع (ASME SEC V ARTICLE 4 T-431) بیان شده است و به تایید مدیر فنی و کارشناس مسئول سطح ۳ رسیده باشد، می‌توان استفاده نمود.

- باید از دستگاه آلتراسونیک نوع اکو پالس وای اسکن (A-Scan) استفاده شود.
- دستگاه باید توانایی تولید فرکانس ۱ تا ۵ مگاهرتز را داشته باشد.
- دستگاه باید به Gain Control، ۲dB یا کمتر مجهز باشد.
- اگر دستگاه دارای سیستم کنترل میرایی (Damping) باشد، نباید تاثیری در حساسیت آزمون داشته باشد.

۱- پراب:

از پراب‌هایی با مشخصات ذکر شده در استاندارد مرجع (ASME SECV ARTICLE4 T-432. 1) که به تایید مدیر فنی و کارشناس مسئول سطح ۳ رسیده باشد، می‌توان استفاده نمود.

فرکانس اسمی پراب حتماً باید بین ۱ تا ۵ مگاهرتز باشد، مگر اینکه متغیرهای دیگری نظیر ساختار دانه بندی ماده مورد تست به دلیل اطمینان از نفوذ کافی صوت به درون ماده و یا رسیدن به تفکیک پذیری بالاتر، نیاز به استفاده از فرکانس دیگری را ایجاب نماید.

تمام پراب‌هایی که در آزمون‌های غیر مخرب به‌کار می‌روند بر اساس اثر پیزو الکتریکی کار می‌کنند. کریستال موجود در آن توسط یک پالس الکتریکی کوتاه مدت به نوسان در می‌آید. این کریستال با فرکانس طبیعی خود، که به جنس ماده کریستالی و شکل هندسی آن بستگی دارد، نوسان می‌کند.

پراب‌های آلتراسونیک به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

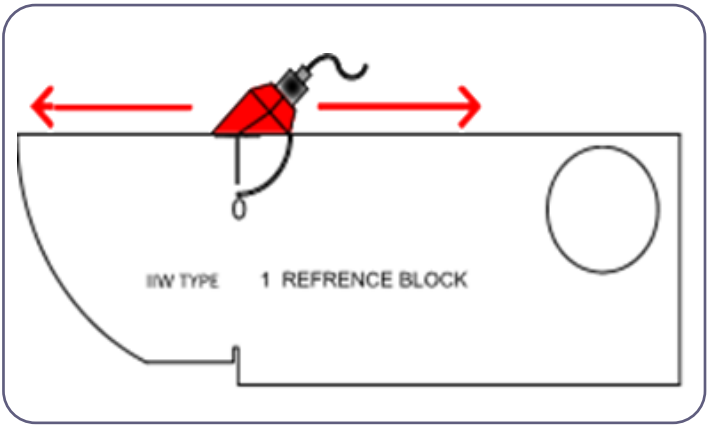
- پراب‌های تک کریستال عمودی یا نرمال (Normal Probe):

پراب نرمال طوری ساخته شده است که امواج را به‌طور عمود بر سطح قطعه مورد آزمایش ارسال می‌نماید و در صنعت برای بازرسی قطعات ضخیم و ورق‌های نورد شده به‌منظور یافتن عیوب و نواقص در قطعه کاربرد دارد.

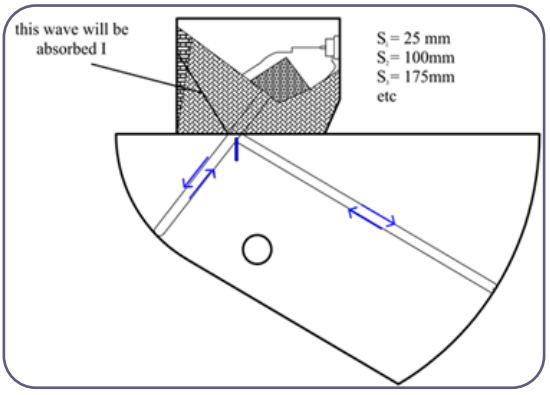
- پراب‌های زاویه‌دار (Angle Probe):

در این پراب‌ها زاویه تابش امواج صوتی تحت زاویه‌ای غیر از ۹۰ درجه با امتداد عمود بر سطح قطعه مورد آزمایش است. مزیت این پراب‌ها برای بازرسی جوش کاری از جهات مختلف می‌باشد.

پراب‌های زاویه‌دار در زاویه‌های ۴۵-۶۰-۷۰ مورد استفاده قرار می‌گیرند. (شکل ۲-۲ و ۳-۲)



شکل ۲-۲. نقطه ایندکس پراب زاویه ای



شکل۳-۲. شکل. زاویه واقعی پراب زاویه ای

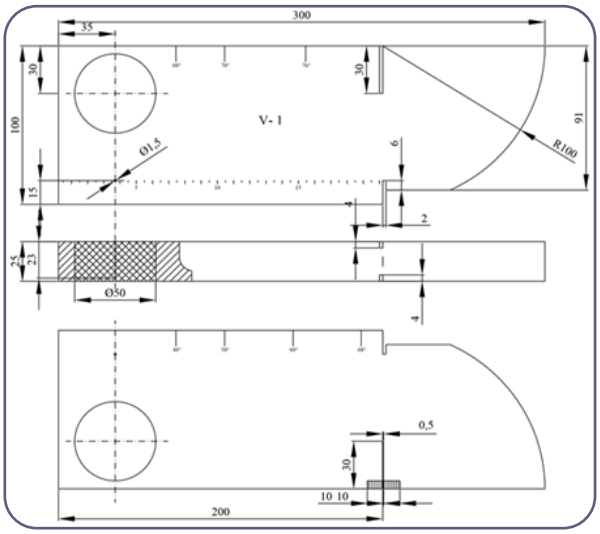
پراب دوکریستاله (Double Crystal Probe or Dual Probe):

پراب دو کریستاله از دو مبدل جدا از هم (از لحاظ الکتریکی و صوتی) تشکیل شده است. دیواره یا لایه‌ای به عنوان مانع بین دو کریستال مبدل برای جلوگیری از تداخل امواج حاصل از آنها قرار داده شده است. در این پراب یک کریستال به عنوان فرستنده عمل می کند، کریستال دیگر نقش گیرنده موج بازتاب و تبدیل آن به پالس الکتریکی را به عهده دارد.

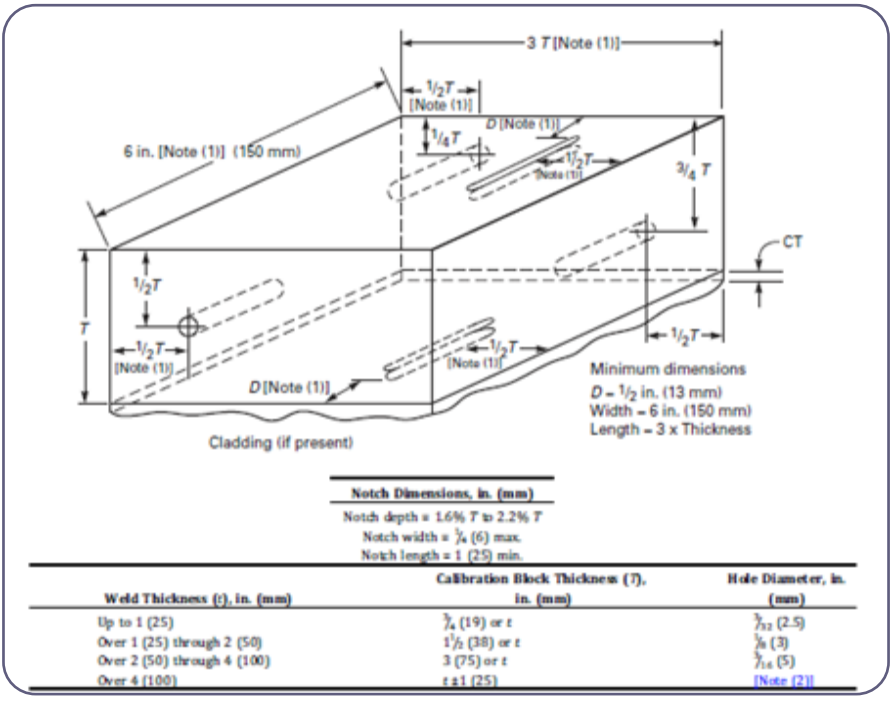
۲- تجهیزات جانبی:

۲-۱. بلوک‌های کالیبراسیون:

از بلوک‌های مشخص شده در استاندارد مرجع (ASME SEC V ARTICLE4 T-434) که به تایید مدیر فنی و کارشناس مسئول سطح ۳ رسیده باشد، می‌توان استفاده نمود. این بلوک‌ها شامل نوع V2، V1 و DAC می‌باشند که به ترتیب در شکل‌های ۲-۴، ۲-۵ و ۲-۶ نشان داده شده است.



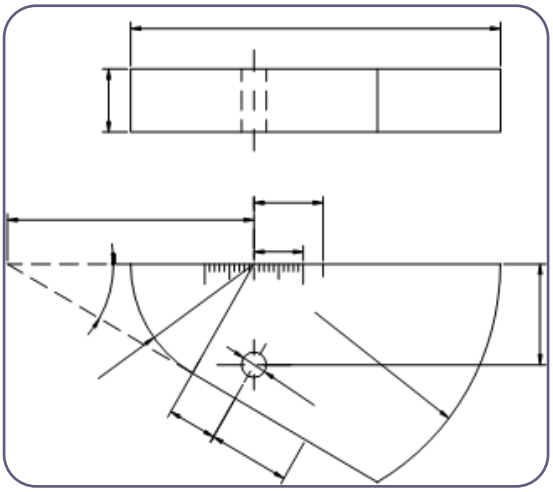
شکل ۴-۲. شماتیک بلوک V۱



Notch Dimensions, in. (mm)
Notch depth = 1.6% T to 2.2% T
Notch width = 3/4 (6) max.
Notch length = 1 (25) min.

Weld Thickness (t), in. (mm)	Calibration Block Thickness (T), in. (mm)	Hole Diameter, in. (mm)
Up to 1 (25)	3/4 (19) or t	3/32 (2.5)
Over 1 (25) through 2 (50)	1 1/2 (38) or t	3/16 (.3)
Over 2 (50) through 4 (100)	3 (75) or t	7/16 (5)
Over 4 (100)	t ±1 (25)	[Note (2)]

شکل ۵-۲. شماتیک بلوک V۲



شکل ۶-۲. شماتیک بلوک DAC

۲-۲. کابل پراب: از کابل‌هایی که کاملاً سالم و بدون عیب و بریدگی باشند و به تایید مدیر فنی و کارشناس مسئول سطح ۳ رسیده باشد، باید استفاده نمود.

۲-۳. مواد مصرفی: از هرگونه کوپلانت (Couplant) یا همان ماده تسهیل‌کننده فرآیند انتقال انرژی آلتراسونیک از پراب به نمونه مورد تست که هیچ‌گونه ضرری برای قطعه مورد آزمون نداشته باشد، با مشخصات ذکر شده در استاندارد مرجع(ASME SEC V ARTICLE4 T-433) و در صورتی که مورد تایید مدیر فنی و کارشناس مسئول سطح ۳ باشد، می‌توان استفاده نمود.

اجرای بازرسی به روش UT:

الزامات زیر در بازرسی به روش آلتراسونیک باید رعایت گردند:

۱. روش مورد استفاده در تست، No Automated Scanning انتخاب گردد.

۲. سطح مورد بازرسی باید برای تست کاملاً آماده بوده و عاری از هرگونه مانعی برای انجام بازرسی باشد (ASME SEC V ARTICLE 4 T-471. 5).

۳. برای انجام تست باید پراب زاویه‌ای در دو جهت موازی و عمود نسبت به محور جوش از دو طرف آن (۴ اسکن) انجام دهد و هم چنین کل ناحیه مورد نظر برای اسکن با پراب زاویه‌ای، ابتدا باید توسط پراب نرمال اسکن شود که عاری از هرگونه عیب باشد (ASME SEC V ARTICLE 4 T-472). در ادامه نحوه‌ی انجام تست با جزئیات توضیح داده شده است.

۴. هر پاس از اسکن باید دارای ۱۰ درصد همپوشانی با پاس قبلی باشد (ASME SEC V ARTICLE 4 T-471. 1).

۵. سرعت حرکت پراب نباید بیشتر از ۱۵۰mm/s باشد (ASME SECV ARTICLE4 T-471. 3).

۶. میزان حساسیت انجام اسکن حداقل باید ۶dB بیشتر از حد حساسیت مرجع باشد (ASME SECV ARTICLE4 T-471. 4. 1).

نحوه انجام تست: ابتدا باید حدHSD و FSD (HSD = t×tanα و FSD=۲t ×tanα) بر روی نمونه مورد آزمون مشخص شود. سپس با استفاده از پراب نرمال از پایه جوش تا مرز (+۲۰٪) FSD به‌طور کامل اسکن شود که در صورت وجود هرگونه عیب در منطقه پایه جوش (base metal) گزارش آن ثبت شود. در صورتی که با پراب نرمال عیبی مشاهده نشد، با استفاده از پراب زاویه‌ای، کل جوش مورد نظر با حرکت پراب تا مرز (+۲۰٪) FSD اسکن می‌شود و در صورت وجود هرگونه عیب جوش در قطعه مورد آزمون با استفاده از حرکات استاتیکی و دینامیکی پراب (transvers، lateral، swipe، orbita)، از اکوی دریافتی، نوع عیب مشخص می‌شود. برای تعیین سایز عیب مورد نظر از روش سایزینگ افت ۶dB استفاده شود و تمام مشخصات آن در فرم گزارش ثبت شود.

حدود پذیرش تست بر اساس پیک دریافتی:

- no evaluation ← ارتفاع پیک دریافتی ≤۲۰٪ DAC
- reject ← report ← evaluation ← crack ،lof ،lop، ارتفاع پیک دریافتی > ۲۰٪ DAC

عیوب دیگر:

- no report ← evaluation ←۲۰٪ DAC < ارتفاع پیک دریافتی ≤ ۵۰٪DAC
- accept ← report ← evaluation ← ۵۰٪DAC < ارتفاع پیک دریافتی ≤۱۰۰٪DAC
- پذیرش یا عدم پذیرش بستگی به طول report ← evaluation ← ۱۰۰٪DAC < ارتفاع پیک دریافتی نقص (L) دارد به گونه‌ای که اگر:
- reject ← L > ۶mm ← t < ۱۹mm
- reject ← L > t /3 ← 19mm ≤ t ≤ 57mm
- reject ← L >19mm ← t > 57mm

ثبت گزارش بعد از بازرسی:

بعد از اتمام عمل بازرسی، کلیه مشخصات بیان شده و اندازه‌گیری شده، باید در فرم مربوطه به‌طور کامل ثبت شود.

تمیزکاری نهایی:

با استفاده از یک دستمال مرطوب یا هر روش دیگری که برای نمونه مورد آزمون هیچ‌گونه ضرری نداشته باشد و به تایید مدیر فنی و کارشناس سطح ۳ مسئول رسیده باشد، تمیزکاری قطعه صورت گیرد.

کالیبراسیون دستگاه و پراب‌های آن:

دستگاه آلتراسونیک انتخاب شده، باید سالیانه یا قبل از استفاده از لحاظ خطی بودن چک شود. این خطی بودن از دو منظرحائز اهمیت است که جزئیات تفصیلی آن در پیوست مرجع

(ASME SEC V ARTICLE 4 T-461) چنانچه در ادامه به آنها اشاره شده آمده است.

خطی بودن دستگاه:

۱- خطی بودن ارتفاع اکوها نسبت به یکدیگر

(ASME SEC V ARTICLE4 MANDATORY APPENDIX I)

۲- خطی بودن ارتفاع دستگاه

(ASME SEC V ARTICLE4 MANDATORY APPENDIX II)

همچنین پراب‌های نرمال و زاویه‌ای با استفاده از بلوک‌های استاندارد کالیبره می‌گردند که طبق دستورالعمل زیر این کار انجام می‌شود.

کالیبراسیون پراب نرمال:

بعد از اتصال پراب نرمال به دستگاه، عدد آن را روی صفر و نوع پراب روی حالت مستقیم (Straight) قرار داده شود. هم چنین سرعت طولی موج صوتی در فلز را در قسمت تنظیمات دستگاه (۵۹۲۰ m/s) وارد گردد. پس از آن هنگامی که علامت پالس اولیه (Initial Pulse) مشاهده شد، رنج دستگاه با توجه به ضخامت قطعه مورد آزمون و با استفاده از بلوک V1 روی ۵۵ قرار داده شود. پس از آن پراب به گونه‌ای بر روی بلوک واقع شود که دو اکو از صفحه پشت بلوک دریافت گردد. با استفاده از دکمه Delay ControlL اولین پیک دریافتی بر روی ۲۵ و دومین پیک دریافتی بر روی ۵۰ قرار داده شود. سپس با استفاده از دکمه Gain Control ارتفاع اکوی اول به (۵٪±) یعنی ۸۰٪ ضخامت بلوک رسانده شود که این dB به عنوان dB مرجع در نظر گرفته شود.

کالیبراسیون پراب زاویه‌ای:

بعد از اتصال پراب زاویه‌ای به دستگاه، عدد آن را روی صفر و نوع پراب روی حالت زاویه (Angle) قرار داده شود. زاویه پراب مورد استفاده در تنظیمات دستگاه وارد شود و هم چنین سرعت عرضی موج صوتی در فلز (۳۲۴۰m/s) وارد شود. پس از آن هنگامی که پالس اولیه مشاهده شد، بازه دستگاه با توجه به فرمول (2t/COSα) × ۱.۲ مشخص می‌شود. قبل از شروع کالیبراسیون مراحل زیر باید کنترل شوند:

a. تعیین نقطه ایندکس پراب

b. انحراف از حالت قائم

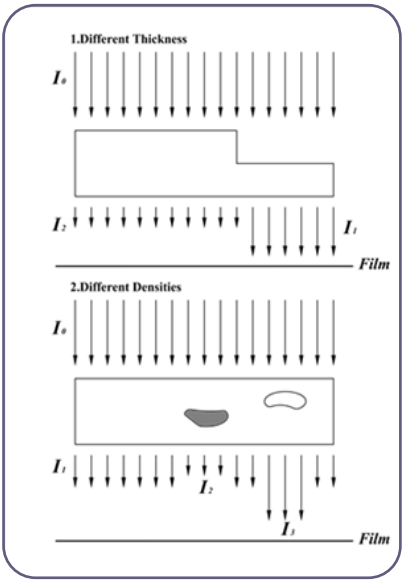
c. زاویه واقعی پراب

۳-۴-۵-۲ دستورالعمل بازرسی مخازن تحت فشار به روش RT:

رادیوگرافی یا پرتونگاری یکی از روش‌های آزمایش غیر مخرب می‌باشد که نوع و محل عیوب داخلی و بسیاری از ریزجوش را نشان می‌دهد. دستور العمل بیان شده در این بخش، برای روش‌های رادیوگرافی، ظهور فیلم و تفسیر فیلم تعریف شده است. لازم به ذکر است که این دستورالعمل برای فولادهای با ۹ درصد نیکل قابل کاربرد نیست.

روش کار بدین شکل است که بوسیله یک مولد اشعه گاما یا ایکس، از یک طرف اشعه به قطعه کار

تابانده می‌شود و در طرف دیگر فیلم عکاسی خاص قرار داده می‌شود و از روی کیفیت ظهور فیلم (تاریکی و روشنی عکس) مفسر RT پی به عیوب جوش خواهد برد. اصل حاکم بر رادیوگرافی عبارتست از میزان عبور و جذب متغیر اشعه گاما یا ایکس در مواد مختلف بر اساس ضخامت و چگالی مواد (شکل ۷-۲). بدین ترتیب هر چقدر نمونه مورد تست ضخیم‌تر باشد میزان کمتری اشعه از آن عبور می‌کند و عکس بدست آمده روشن‌تر خواهد بود و بالعکس، و اگر چگالی ناحیه‌ای از نمونه مورد تست نسبت به محیط اطراف بیشتر باشد، میزان جذب اشعه بیشتر و میزان عبور آن کمتر خواهد بود و نهایتاً عکس در آن ناحیه روشن‌تر خواهد بود و بالعکس. اشعه رادیوگرافی از ضخامت نفوذ کرده و پس از این ضخامت، لکه‌ای بر فیلم ایجاد می‌کند. سرباره، حفره‌های گازی، ترک‌ها، بریدگی کناره‌ها و نفوذ ناقص جوش، تراکم کمتری نسبت به فولاد سالم دارند، بنابراین در حوالی این عیب‌ها اشعه بیشتری عبور کرده و به فیلم می‌رسد و عیوب به صورت لکه‌های تاریکی بر روی فیلم ثبت می‌شوند.



شکل ۷-۲. اصول کاری RT

در ادامه، مراجع مرتبط، صلاحیت بازرس، الزامات ایمنی، نحوه‌ی اجرای تست و ارائه گزارشات لازم توضیح داده شده است.

مراجع مرتبط:

- ASME SEC V ARTICLE4
- ASME SEC VIII DIV1

صلاحیت بازرس:

پرسنلی که وظیفه انجام و ارزیابی رادیوگرافی را به عهده دارند باید طبق شرایط زیر تایید شده باشند:

- **سطح یک**، مخصوص کسانی که انجام تست رادیوگرافی را بر عهده دارند.
- **سطح دو**، برای کسانی که کار ارزیابی و تفسیر فیلم رادیوگرافی را انجام می‌دهند.

الزامات ایمنی:

تمام کسانی که تست رادیوگرافی را انجام می‌دهند، ملزم هستند که محافظ دوزیمتر (محافظ در برابر اشعه) را بر تن کنند.

دستورالعمل اجرای بازرسی:

- کلیه سطوح باید قبل از انجام تست آماده شود، بدین ترتیب که اگر شامل ناخالصی هستند باید سنگ زده شوند. عیوب ظاهری از قبیل اختلاف سطح ها(undercut) و جرقه‌ها، با توجه به ضخامت ورق، باید قبل از انجام تست رفع شوند.
- سطح نهایی گرده جوش ممکن است دارای یک تحدب یک شکل باشد که از مقادیرارائه شده در جدول ۶-۲نباید تجاوز کند.

جدول۶-۲. ضخامت گرده جوش در مقایسه با ضخامت ورق

ضخامت ورق (mm)	بیشترین ضخامت گرده (mm)
t≤13	۱. ۵
13<t< 25	۲. ۵
25<t	۳

- منبع چشمه: رایج‌ترین مولدی که در تست‌های RT به‌کار برده می‌شود ایریدیم ۱۹۲ می‌باشد.
- فیلم مورد استفاده: فیلم‌های کداک نوع AA400 یا مشابه آن استفاده می‌شود.

روش‌های تابش:

۱. روش تابش بر روی صفحات (ورق ها) به شرح زیر می‌باشد:

- تابش به صورت Single Wall-Single Image (SWSI)
- تابش مجزا
- قبل از اینکه رادیوگرافی انجام شود، فیلم کاملاً باید به قطعه چسبیده باشد.
- برای اتصالاتی که به صورت ۱۰۰٪ رادیوگرافی می‌شوند، طول فیلم باید برمبنای شرایط کار تعیین شود. معمولاً فیلم‌های سایز ۱۰×۴۰ cm، ۱۰×۴۸ cm استفاده می‌شود و یک هم پوشانی لبه‌ای به اندازه ۲۵ mm بین دو فیلم هم جوار به‌کار می‌رود.
- برای رادیوگرافی از نوع نقطه‌ای و محلی، عکس پرتونگاری نباید کمتر از ۱۵۰ mm از امتداد خط جوش

باشد. جایی که چشمه در سطح مشترک اتصال قرار دارد، باید ۷۵ mm هر طرف تقاطع رادیوگرافی شود. در این‌گونه موارد معمولاً فیلم ۴۰×۱۰ cm استفاده می‌شود.

۲. روش تابش بر روی خطوط لوله به شرح زیر می‌باشد:

- تابش به صورت SWSI
- تابش به صورت وسیع Panoramic
- برای لوله‌های با قطر ۷۳ mm و کوچکتر از آن، تابش بیضی شکل (elliptical) برای کل جوش محیطی باید استفاده شود.
- برای لوله‌های با قطر بزرگتر از ۷۵ mm، طول فیلم حداقل ۲۵٪ محیط داخلی یا ۱۵۰ mm (هرکدام که کمتر است) باید باشد.

صفحات تشدیدکننده:

برای اشعه X

- صفحات سربی جلویی با ضخامت ۰٫۰۲ mm
- صفحات سربی پشتی با ضخامت ۰٫۱۵ mm

برای اشعه گاما

- صفحات سربی جلو و عقب با ضخامت ۰٫۱ mm

توجه: صفحات باید کاملاً تمیز، پولیش شده و عاری از هرگونه خراش باشند.

کنترل Back Scatter:

یک حرف سربی B باید در پشت هر فیلم حک شود. اگر تصویر روشن B روی زمینه تیره‌تر عکس‌ها ظاهر شود، تصاویر رادیوگرافی نباید تایید شود. در این مورد برای حفاظت در برابر back scatter باید مجدد فیلم قرار داده شود. تصویر تیره حرف Bروی زمینه روشن موجب عدم تایید نمی‌گردد.

کمترین اندازه حرف B به ارتفاع ۱۳ mm و ضخامت ۱٫۶۰ mm می‌باشد:

کمترین فاصله چشمه تا فیلم:

در بسیاری از استانداردها تصدیق شده است که عدم وضوح در یک روش پرتونگاری با استفاده از معادله زیر قابل محاسبه می‌باشد. اغلب کارشناسان پرتونگاری، از این معادله به‌منظور محاسبه کمترین فاصله فیلم تا چشمه استفاده می‌کنند.

$$Ug = F \times d / D \qquad (۲-۱)$$

که در این معادله (ASME sec V T-274. 1)، عدم وضوح هندسی (Geometric Unsharpness (Ug))، اندازه فیزیکی چشمه یا منبع اشعه(F)، فاصله قطعه تا فیلم (d) و فاصله منبع اشعه تا قطعه (D) می‌باشد. فاصله چشمه تا فیلم باید کمترین مقدار ممکن باشد. از طرف دیگر مقدار Ug نباید از ۰٫۵ mm بیشتر باشد (هنگامی که ضخامت قطعه رادیوگرافی شده کمتر از ۵۱ mm است). در جدول ۷-۲ بیشترین مقادیر پیشنهاد شده برای مقدار Ug نشان داده شده است.

جدول۷-۲. بیشترین مقادیر پیشنهاد شده برای مقدار Ug

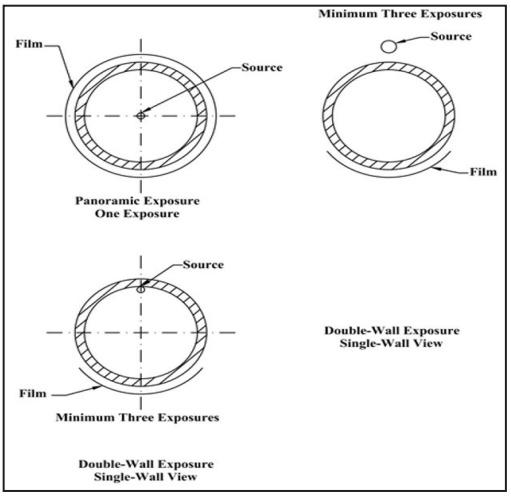
ضخامت ماده(mm) .in	ماکزیمم مقدار(mm) Ug in.
Under 2 (50)	0. 020 (0. 51)
2 through 3 (50-75)	0. 030 (0. 76)
Over 3 through 4 (75-100)	0. 040 (1. 02)
Greater than 4 (100)	0. 070 (1. 78)

مطابق با معادله فوق، برای بهبود عدم وضوح هندسی باید اندازه فیزیکی چشمه و فاصله فیلم تا قطعه را کاهش و فاصله قطعه تا چشمه را افزایش داد. بنابراین، در اغلب فرآیندهای پرتونگاری سعی می‌شود که تماس فیزیکی کامل بین قطعه مورد آزمایش و فیلم پرتونگاری ایجاد شود.

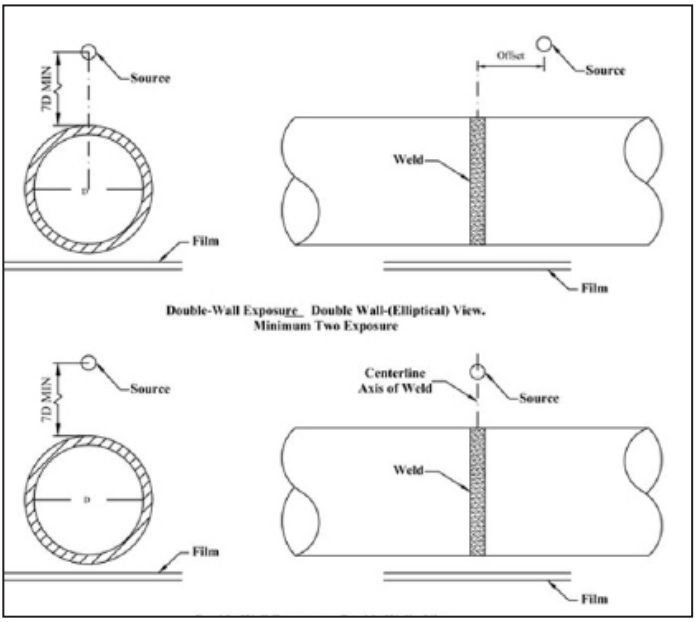
شرایط تابش

۱. موقعیت منبع

برای فیلم‌های که روی شکاف‌های طولی و مدور قرار می‌گیرند، انتهای منبع (برای اشعه گاما) یا روزنه خروج (برای اشعه x) باید عمود بر محور جوش (یا قسمتی که قرار است رادیوگرافی شود) قرار داده شود. در بازرسی جوش لوله‌ها با توجه به شکل خاص جوش، روش‌های متنوعی برای قرارگیری فیلم و منبع اشعه نسبت به یکدیگر وجود دارد مانند روش پرتوگیری دیواره تکی- نمای دیواره تکی، دیواره مضاعف- نمای دیواره تکی مطابق شکل ۸-۲ و روش پرتوگیری دیواره مضاعف- نمای دیواره مضاعف (حداقل ۲ تابش)، دیواره مضاعف- نمای دیواره مضاعف (حداقل ۳ تابش) مطابق شکل ۹-۲.



شکل ۸-۲. روش پرتوگیری دیواره تکی- نمای دیواره تکی، دیواره مضاعف- نمای دیواره تکی



شکل۹-۲. روش پرتوگیری دیواره مضاعف- نمای دیواره مضاعف

۲. تعداد تابش‌ها

۱. روش پرتوگیری دیواره تکی- نمای دیواره تکی(Single Image Single Wall (SWSI

در روش SWSI، هنگامی که چشمه در داخل و یا روی سطح خارجی لوله قرار دارد، یک تابش مورد نیاز است.

۲. روش پرتوگیری دیواره مضاعف- نمای دیواره تکی (Doubl Wall Single Image (DWSI در این روش، حداقل ۳ تابش با زاویه °120 مورد نیاز است.

۳. روش دیواره مضاعف- نمای دیواره مضاعف (Doubl Wall Doubl Image (DWDI

این روش برای لوله‌های با قطر خارجی ۸۹ میلی متر یا کمتر استفاده می‌شود.

هنگامی که پرتو تشعشع از سطح هموار مرکزی جوش تا زاویه مناسبی انحراف دارد، حداقل ۲ تابش با موقعیت °90 نسبت به هم لازم است تا تصاویر را از هم مجزا کند. چنانچه هیچ نوع هم پوشانی (overlap) برای تفسیر وجود نداشته باشد.

هنگامی که پرتو تشعشع طوری قرار دارد که تصاویر هر دو دیواره روی هم قرار می‌گیرد (superimpose)، در این صورت حداقل ۳ تابش مورد نیاز می‌باشد.

انتخاب شاخص کیفیت تصاویر(Image Quality Indicator (IQI :

باید در نظر داشت که هدف اصلی در روش پرتونگاری این است که یک تصویر با بالاترین سطح کیفیت ممکن از قطعه تهیه شود. با بهینه کردن متغیرهای موثر بر پرتونگاری، این امکان وجود دارد که یک تصویر

باکیفیت بالا تولید گردد. کیفیت روش پرتونگاری بر اساس مقایسه تصویر با شاخص کیفیت تصویر که توسط نماد IQI نمایش داده می‌شود، تعیین می‌گردد.

قابل ذکر است که دو عامل مهم و موثر بر میزان حساسیت و کیفیت تصویر شامل کنتراست (Contrast) و وضوح می‌باشد. کنتراست به صورت اختلاف چگالی (یا همان تفاوت در میزان سیاهی) در دو ناحیه نزدیک به یکدیگر بر روی فیلم پرتونگاری شناخته می‌شود. در صورتی که یک قطعه دارای اختلاف ضخامت زیادی باشد، کنتراست بالایی در تصویر ایجاد می‌شود. اختلاف زیاد چگالی مواد سازنده قطعه نیز می‌تواند کنتراست بالایی در تصویر به وجود آورد. عوامل دیگری همچون نوع فیلم، اختلاف ضخامت قطعه، چگالی قطعه و میزان پراکندگی اشعه نیز بر کنتراست تاثیرگذار هستند. شایان توجه است که استفاده از فیلتر در منبع مولد اشعه نیز بر کنتراست موثر می‌باشد.

کنتراست یک تصویر پرتونگاری از دو بخش کنتراست قطعه و کنتراست فیلم تشکیل شده است. کنتراست قطعه به میزان اشعه عبور کرده از قطعه ارتباط پیدا می‌کند و بنابراین به چگالی مواد سازنده قطعه (یا عدد اتمی مواد سازنده)، ضخامت قطعه و نوع اشعه وابسته می‌باشد. بدیهی است که مقدار اشعه عبور کرده از قسمت‌های سالم قطعه با قسمت‌های دارای ناپیوستگی متفاوت می‌باشد و تناسب در میزان اشعه عبور کرده از این قسمت‌ها را کنتراست قطعه می‌گویند.

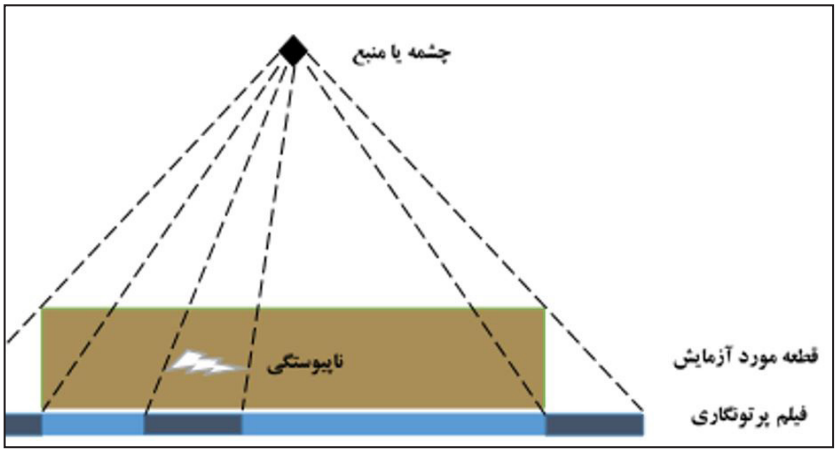
تغییر در مقدار انرژی اشعه نیز می‌تواند کنتراست قطعه را تغییر دهد. در اثر کاهش ولتاژ مولد اشعه ایکس یا تغییر چشمه کبالت با ایریدیوم، کنتراست قطعه افزایش می‌یابد. در دستگاه‌های مولد اشعه ایکس، افزایش ولتاژ موجب کاهش کنتراست قطعه می‌گردد. در این دستگاه‌ها به‌منظور به دست آوردن بالاترین کنتراست، محدودیتی از لحاظ تغییر کیلوولتاژ وجود ندارد. در صورتی که مقدار کیلوولتاژ بسیار کم باشد، ممکن است اشعه از قسمت‌های ضخیم عبور نکند و اگر مقدار کیلوولتاژ خیلی زیاد باشد، اشعه از تمامی ضخامت‌ها به صورت یکسان عبور می‌کند و کنتراست پایین می‌آید.

توانایی فیلم در ایجاد چگالی‌ها یا دانسیته‌های (منظور همان میزان سیاهی فیلم) گوناگون در اثر تغییر در میزان پرتودهی را کنتراست فیلم می‌گویند. میزان کنتراست فیلم معمولاً توسط رابطه بین میزان تابش پرتو به فیلم و چگالی به دست آمده بر روی فیلم مشخص می‌شود. شایان ذکر است که از ترکیب کنتراست قطعه و کنتراست فیلم، کنتراست تصویر پرتونگاری به دست می‌آید.

این در حالی است که وضوح شامل میزان شفافیت تصویر می‌باشد. به بیان دیگر، وضوح (Sharpness) لبه‌های خارجی تصویر یک عیب را وضوح تصویر می‌نامند. صاف بودن و تغییر چگالی بین دو ناحیه می‌تواند بر وضوح تاثیرگذار باشد. وضوح یک تصویر وابسته به نوع فیلم، صفحات تشدیدکننده مورد استفاده و شکل قطعه می‌باشد. باید توجه داشت که مقدار وضوح فیلم بر روی کنتراست آن نیز تاثیرگذار می‌باشد. در صورتی که اختلاف چگالی فیلم دارای مرزهای واضح و کاملاً مشخصی باشد، وضوح تصویر خوب است و در صورتی که مرز بین دو چگالی به راحتی قابل تشخیص نباشد، وضوح تصویر پایین است.

یک کمیت دیگر نیز که در مباحث کیفیت تصویر اهمیت می‌یابد دامنه می‌باشد. دامنه کمیتی متضاد با کنتراست است و بر اساس ثبت شدن ضخامت‌های متفاوت یک قطعه بر روی فیلم تعریف می‌شود. در دستگاه‌های مولد اشعه ایکس، با افزایش مقدار کیلوولتاژ مقدار دامنه فیلم بالا می‌رود و با کاهش کیلوولتاژ مقدار دامنه فیلم کاهش می‌یابد. باید در نظر داشت که این تاثیرات برخلاف تاثیرات کیلوولتاژ بر کنتراست می‌باشند.

همان طور که می‌دانیم، اشعه‌های ایکس و گاما شباهت زیادی به پرتوهای نور معمولی دارند و در یک مسیر مستقیم از چشمه یا منبع تا قطعه حرکت می‌کنند. بنابراین، تصویری که بر روی فیلم پرتونگاری ایجاد می‌شود نسبت به حالت واقعی بزرگ‌تر است و وضوح کمتری دارد. در صورتی که فیلم کاملاً به قطعه چسبیده شده باشد تا حدودی مشکل بزرگ بودن اندازه تصویر کاهش می‌یابد. بزرگ بودن تصویر تشکیل شده به اندازه چشمه، فاصله چشمه تا فیلم و فاصله قطعه تا فیلم بستگی دارد. بنابراین می‌توان گفت که وضوح تصویر توسط عوامل هندسی همانند اندازه منبع اشعه، فاصله منبع تا قطعه و فاصله قطعه تا فیلم کنترل می‌شود. چشمه یا منبع مولد اشعه دارای یک اندازه مشخص می‌باشد و از همه نقاط آن اشعه‌ها ساطع می‌شوند. در برخی قسمت‌های قطعه به ویژه در لبه‌های آن، تصاویر ایجاد شده از پرتوهای ساطع شده از نقاط مختلف چشمه یا منبع بر روی یکدیگر می‌افتند و موجب کاهش وضوح تصویر می‌شوند. این مشکل اصطلاحاً به عنوان سایه نامیده می‌شود. در شکل ۱۰-۲ نحوه تشکیل سایه نمایش داده شده است. به این سایه تشکیل شده معمولاً عدم وضوح هندسی اطلاق می‌شود. باید توجه داشت که در اطراف تصویر ناپیوستگی نیز عدم وضوح هندسی رخ می‌دهد.

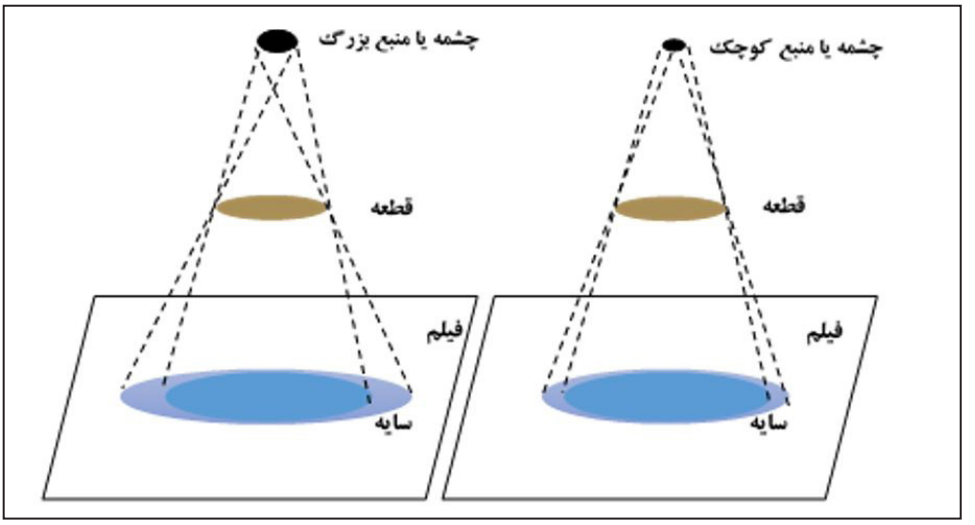


شکل ۱۰-۲. نحوه تشکیل سایه

قبل از تشریح شاخص کیفیت تصویر باید به عوامل موثر بر کیفیت تصویر پرداخته شود. عوامل زیادی بر کیفیت تصویر پرتونگاری موثر می‌باشند که برخی از عوامل مهم در این قسمت شرح داده می‌شود.

۱. اندازه روزنه تابش بر کیفیت تصویر تاثیرگذار می‌باشد. هر چه اندازه روزنه تابش کوچک‌تر باشد، کیفیت تصویر بیشتر می‌باشد. در شرایطی که اندازه روزنه تابش بیش از حد بزرگ باشد، امکان تشکیل سایه و یا نیم‌سایه وجود دارد که در نتیجه، کیفیت تصویر کاهش می‌یابد.

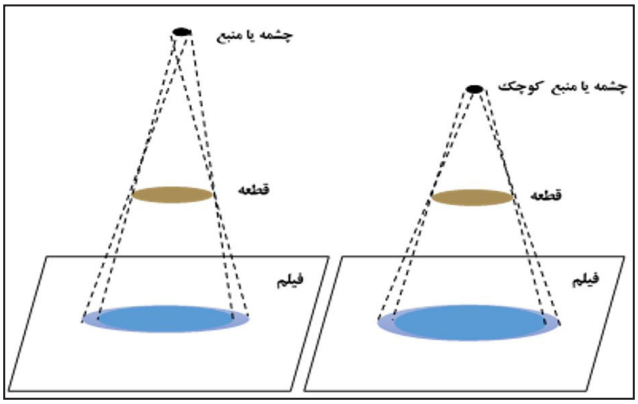
در شکل ۱۱-۲تصاویر شماتیک به دست آمده از دو چشمه یا منبع با اندازه‌های متفاوت نمایش داده شده است. به‌علت این که پرتوها از همه نقاط منبع ساطع می‌شوند، در اطراف قطعه سایه تشکیل می‌شود. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود با چشمه یا منبع کوچک‌تر، سایه کوچکتری ایجاد می‌شود، اما در شکل سمت راست چشمه یا منبع بزرگ‌تر است و در نتیجه، عدم وضوح هندسی بیشتری را سبب می‌شود. هر چه اندازه چشمه یا منبع بزرگ‌تر باشد، سایه یا عدم وضوح تصویر بزرگ‌تری به وجود می‌آید.



شکل ۱۱-۲. نمایش تاثیر اندازه چشمه یا منبع بر روی تشکیل سایه و عدم وضوح هندسی

۲. فاصله منبع اشعه تا جسم نیز یکی از عوامل موثر بر کیفیت فیلم شناخته می‌شود. در صورتی که این فاصله از یک مقدار مشخص تجاوز کند، باید زمان پرتودهی را افزایش داد و کیفیت تصویر کاهش می‌یابد. این در حالی است که اگر این فاصله بیش از حد کوچک باشد، امکان تشکیل نیم‌سایه‌های زیادی وجود دارد و به این دلیل کیفیت تصویر کاهش می‌یابد. بنابراین، باید فاصله منبع اشعه تا جسم را در حد بهینه قرار داد.

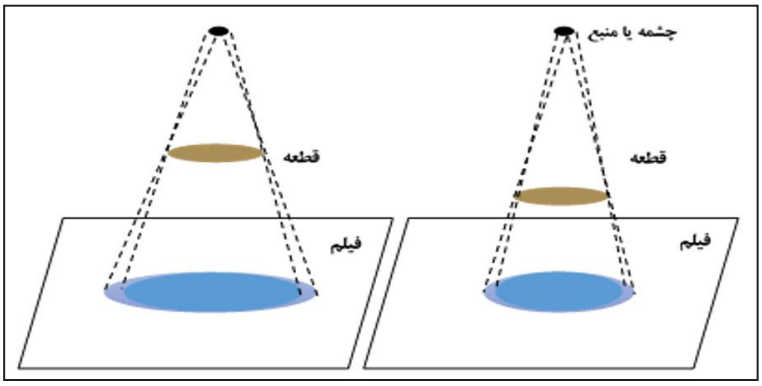
در شکل ۵ نحوه تاثیرگذاری فاصله چشمه یا منبع تا قطعه بر روی وضوح هندسی به تصویر کشیده شده است. تغییر در فاصله چشمه تا قطعه هم بر روی عدم وضوح هندسی و هم بر روی بزرگ شدن تصویر تاثیرگذار می‌باشد. در صورتی که فاصله چشمه یا منبع از قطعه افزایش یابد (مطابق با شکل ۱۲-۲)، عدم وضوح تصویر کاهش می‌یابد. بدیهی است که افزایش این فاصله وابسته به میزان قدرت چشمه یا منبع می‌باشد.



شکل ۱۲-۲. نمایش تاثیر فاصله چشمه یا منبع تا قطعه بر تشکیل سایه و عدم وضوح هندسی

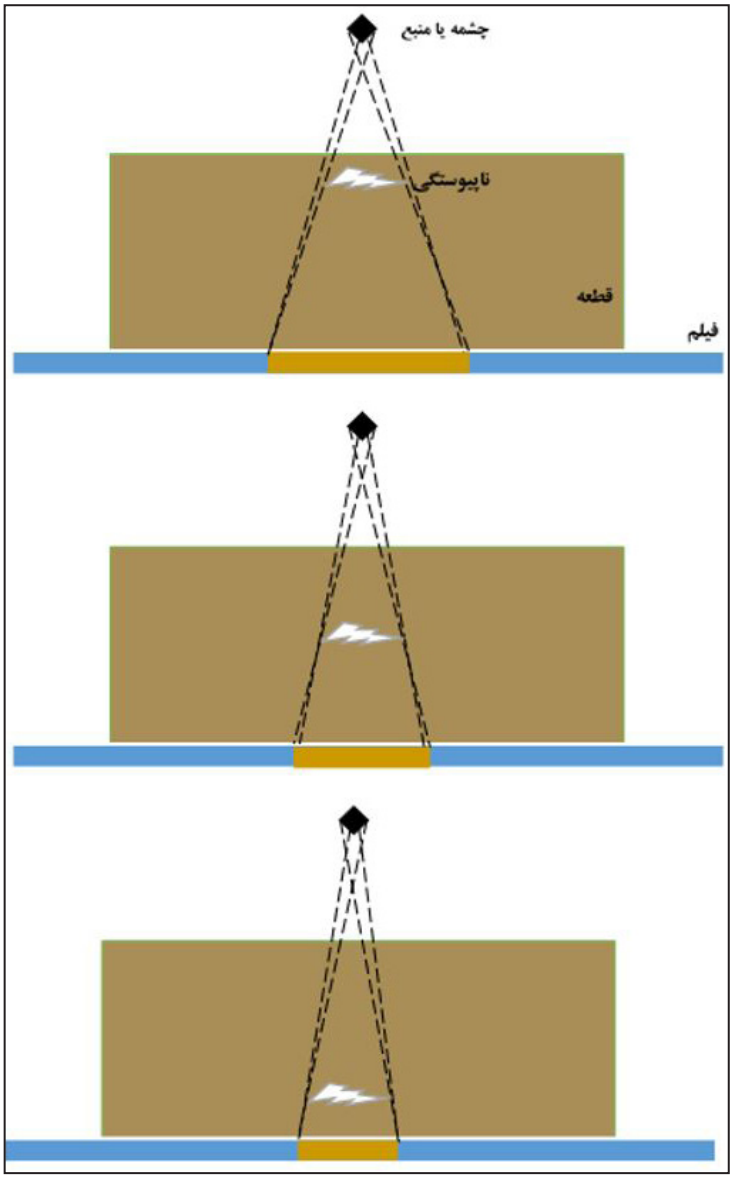
این نکته حائز اهمیت است که نوع صفحات تشدیدکننده که در تماس با فیلم قرار می‌گیرند نیز بر وضوح موثر خواهند بود. بدیهی است که در هنگام پرتودهی باید چشمه یا منبع اشعه به گونه‌ای قرار گیرد که دقیقاً منطبق بر مرکز محدوده مورد آزمایش باشد. سایه یا عدم وضوح هندسی هم می‌تواند در تصویر ایجاد شده در لبه‌های قطعه و هم در تصویر ایجاد شده در لبه‌های ناپیوستگی‌ها و عیوب ایجاد شود. باید توجه داشت که فاصله عیب از سطح فوقانی نیز بر روی عدم وضوح تصویر تاثیرگذار است. در صورتی که عیب در قسمت فوقانی قطعه قرار داشته باشد، حداکثر عدم وضوح را به وجود می‌آورد. در شکل۷-۲ تاثیر فاصله عیب یا ناپیوستگی از سطح فوقانی قطعه نمایش داده شده است.

۳. فاصله جسم تا فیلم نیز بر کیفیت تصویر موثر می‌باشد. این فاصله هر چه کمتر باشد، کیفیت فیلم بهبود پیدا می‌کند. در صورتی که فیلم به قطعه بچسبد و این فاصله به صفر برسد، تصویر دارای وضوح بیشتری خواهد بود.



شکل۱۳-۲. نمایش تاثیر فاصله قطعه تا فیلم بر تشکیل سایه و عدم وضوح هندسی

در شکل ۱۳-۲نحوه تاثیرگذاری فاصله قطعه تا فیلم بر روی عدم وضوح هندسی نمایش داده شده است. مطابق با شکل۱۴-۲، هر چه عیب یا ناپیوستگی به سطح تحتانی قطعه نزدیک‌تر باشد، عدم وضوح هندسی کمتری ایجاد می‌شود. بدیهی است که در چنین شرایطی بزرگ شدن اندازه عیب یا ناپیوستگی نیز کاهش می‌یابد.

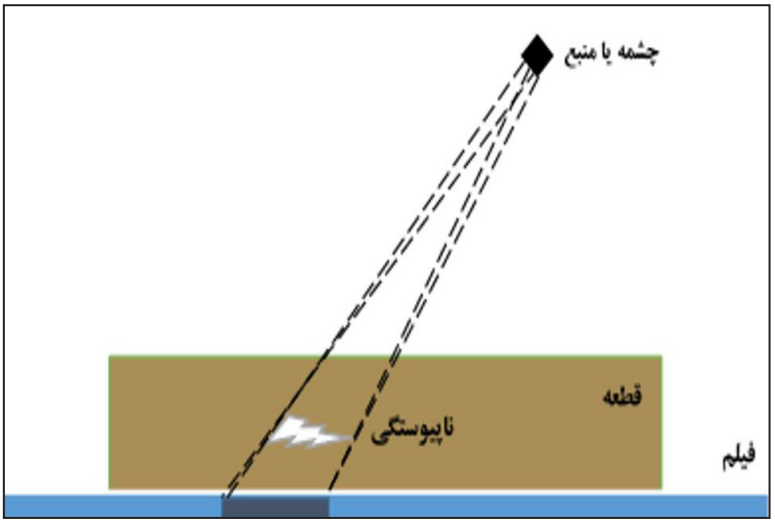


شکل۱۴-۲. نمایش تاثیر فاصله عیب یا ناپیوستگی از سطح فوقانی قطعه بر تشکیل سایه و عدم وضوح هندسی

۴. یکی دیگر از عوامل موثر بر کیفیت تصویر، زاویه تابش می‌باشد. در صورتی که زاویه تابش برابر ۹۰ درجه باشد، تصویر به صورت واقعی ایجاد می‌گردد. بدیهی است که هر چه زاویه تابش از حالت عمودی دور شود، وضوح تصویر دچار مشکل می‌شود و در برخی موارد، تصویر اجزاء متفاوت به یکدیگر متصل خواهد شد. در صورتی که فیلم با جسم موازی نباشد، تصویر هندسی تولید شده در مقایسه با واقعیت دچار اعوجاج

و تغییرشکل خواهد شد.

اعوجاج و بهم‌ریختگی هندسی تصویر نیز یکی از معایبی است که می‌تواند مشکلات فراوانی را در فرآیند تفسیر ایجاد کند. در صورتی که زاویه تابش نسبت به زاویه عمود تغییر کند، اعوجاج شدیدی در تصویر به وجود می‌آید. در اثر این پدیده، تصویر به دست آمده از لحاظ ابعادی و هندسی با عیب یا ناپیوستگی موجود درون قطعه همخوانی ندارد. در شکل ۱۵-۲ نحوه تشکیل اعوجاج تصویر نشان داده شده است.



شکل۱۵-۲. نمایش نحوه ایجاد اعوجاج در تصویر در اثر پرتودهی زاویه‌دار

۵. چگالی فیلم نیز بر روی کیفیت تصویر موثر می‌باشد. میزان سیاهی یک فیلم پرتونگاری را با درجه سیاهی مشخص می‌کنند که شاخص تعیین چگالی فیلم می‌باشد. میزان حساسیت یک فیلم پرتونگاری کمیتی است که توسط شاخص کیفیت تصویر یا همان IQI تعیین می‌گردد. کمیت حساسیت تصویر پرتونگاری به قابلیت دیده شدن کوچک‌ترین تصویر بر روی فیلم اطلاق می‌شود. حساسیت تصویر وابسته به اختلاف چگالی بین کوچک‌ترین عیب و نواحی اطراف آن و وضوح اطراف تصویر عیب می‌باشد. به بیان دیگر، میزان حساسیت یک فیلم پرتونگاری شامل قابلیت آشکارسازی عیوب به نسبت ضخامت قطعه می‌باشد.

در یک فیلم ظاهر شده پرتونگاری، شاخص کیفیت تصویر در استانداردهای آمریکایی به عنوان نفوذسنج نیز شناخته می‌شود. امروزه، دو نوع اصلی نفوذسنج (Penetrometer) در اغلب فرآیندهای پرتونگاری به‌کار برده می‌شود که شامل نوع تخت و نوع سیمی می‌باشند. نوع تخت که تحت عنوان نوع سوراخ‌دارنیز معروف است، یک عدد شناسایی سربی در یک انتها دارد و سه سوراخ با قطرهای متفاوت در آن تعبیه شده است. ضخامت نفوذسنج نوع تخت بر اساس درصدی از ضخامت قطعه مورد بررسی تعیین می‌گردد. درصد ضخامت معمولاً ۲ درصد در نظر گرفته می‌شود و اعداد سربی نشان‌دهنده مقدار ضخامت می‌باشند.

در شکل ۱۶-۲ سوراخ‌های یک نفوذسنج با قطرهای متفاوت نمایش داده شده است. قابل ذکر است

که نفوذسنج نوع تخت می‌تواند از جنس مشابه قطعه نیز ساخته شود. استفاده از نفوذسنج‌های فولادی و آلومینیومی بسیار رایج می‌باشد. در نفوذسنج‌های آلومینیومی شیارهای بر روی لبه‌ها وجود دارد که به‌منظور شناسایی آن‌ها تعبیه شده‌اند و نفوذسنج‌های فولادی هیچ‌گونه شیاری ندارند.

شکل ۱۶-۲. نمایش نفوذسنج نوع تخت

کوچک‌ترین سوراخ در نفوذسنج نوع تخت در مرکز آن قرار دارد و تحت عنوان T1 شناخته می‌شود. حرف T در این نام‌گذاری معادل ضخامت نفوذسنج می‌باشد. بنابراین، سوراخ T1 دارای قطری برابر ضخامت نفوذسنج می‌باشد که معمولاً برابر ۲ درصد ضخامت ماده مورد آزمایش است. سوراخ قرار گرفته در طرف مقابل عدد شناسایی سربی تحت عنوان سوراخ T2 شناخته می‌شود و قطر آن معادل دو برابر ضخامت نفوذسنج می‌باشد. بزرگ‌ترین سوراخ، سوراخ T4 است که قطر آن چهار برابر ضخامت نفوذسنج می‌باشد. طرح نفوذسنج و تصویر سوراخ‌ها بر روی تصویر پرتونگاری نهایی می‌تواند سطح کیفیت روش پرتونگاری را مشخص سازد.

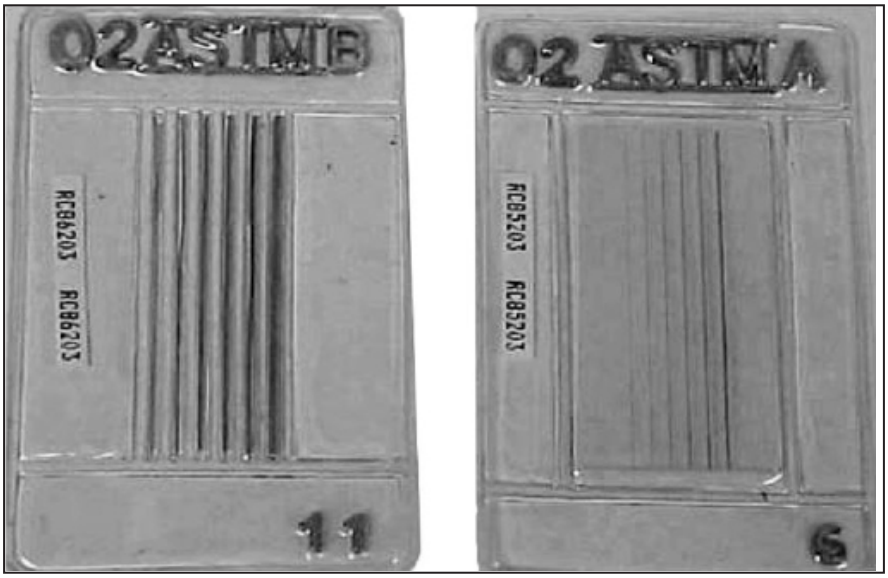
بدیهی است که اندازه‌های سوراخ‌ها برای تخمین اندازه ناپیوستگی‌های شناسایی شده کاربرد دارد. در نفوذسنج‌های تخت یا تیغه‌ای، دقت ابعادی سوراخ‌ها اهمیت دارد و آن‌ها به صورت کاملاً دقیق ساخته می‌شوند و لبه‌های تیز دارند. در اینجا باید متذکر شد که هدف اصلی استفاده از نفوذسنج تعیین اندازه ناپیوستگی‌ها نمی‌باشد و به‌منظور تعیین سطح کیفیت تصویر کاربرد دارد. در هنگام استفاده از نفوذ سنج‌های هموار باید مشخص شود که کدام سوراخ باید در تصویر ظاهر شده بر روی فیلم مشاهده شود و اندازه آن سوراخ حساسیت فیلم را مشخص می‌سازد.

مشخصه‌های مرسوم برای تعیین سطوح کیفیت پرتونگاری با استفاده از نفوذسنج‌های نوع تخت بر اساس

ترکیبی از دو عدد و یک حرف تشکیل می‌شوند. به عنوان مثال، پرکاربردترین سطح کیفی به صورت T2-2 می‌باشد. این طرح به این معناست که یک نفوذسنج نوع تخت با ضخامتی برابر ۲ درصد ضخامت ماده مورد آزمایش باید سوراخ T2 را به صورت کاملاً شفاف و متمایز بر روی تصویر نشان دهد. هنگامی که سوراخ T2 کاملاً شفاف و متمایز باشد، سوراخ T4 که بزرگ‌تر است نیز باید شفاف و متمایز باشد. این در حالی است که سوراخ T1 ممکن است شفاف و متمایز باشد و یا این که شفاف و متمایز نباشد.

هر چند که ضخامت نفوذسنج تخت استاندارد معمولاً ۲ درصد ضخامت قطعه مورد آزمایش می‌باشد، اما ضخامت ۱ درصد نیز ممکن است به‌کار برده شود. از این نوع نفوذسنج هنگامی استفاده می‌شود که سطح بالاتری از کیفیت در روش پرتونگاری مدنظر باشد. هنگام بازرسی جوش‌ها، باید نفوذسنج تخت یا سوراخ‌دار را به صورت موازی با جوش و در فاصله ۳ میلی‌متری از لبه جوش قرار داد.

دومین شاخص پرکاربرد برای تعیین کیفیت تصاویر پرتونگاری تحت عنوان شاخص یا نفوذسنج سیمی معروف می‌باشد. در شکل ۱۷-۲ نمونه‌ای از نفوذسنج‌های سیمی ASTM به تصویر کشیده شده است.



شکل ۱۷-۲. نمایش نفوذسنج نوع سیمی

در هنگام استفاده از نفوذسنج‌های سیمی باید مشخص باشد که تصویر کدام سیم باید مشاهده شود. بنابراین اندازه سیم، تعیین‌کننده میزان حساسیت فیلم می‌باشد. باید توجه داشت که این نوع نفوذسنج‌ها دارای شش سیم هستند که این سیم‌ها درون یک محفظه پلاستیکی شفاف به همراه اعداد شناسایی سربی قرار گرفته‌اند. هر کدام از شش سیم دارای قطر متفاوتی می‌باشد. در کل، چهار مجموعه سیم وجود دارد که در جدول ۸-۲ تشریح شده‌اند.

جدول ۲-۸. اطلاعات مرتبط با مجموعه سیم‌های نفوذسنج سیمی در ASTM

قطرسیم برحسب اینچ	شماره‌شناسایی سیم	نام‌مجموعه	قطرسیم برحسب اینچ	شماره‌شناسایی سیم	نام‌مجموعه
۰/۰۱۰	۶	مجموعه B	۰/۰۰۳۲	۱	مجموعه A
۰/۰۱۳	۷		۰/۰۰۴	۲	
۰/۰۱۶	۸		۰/۰۰۵	۳	
۰/۰۲۰	۹		۰/۰۰۶۳	۴	
۰/۰۲۵	۱۰		۰/۰۰۸	۵	
۰/۰۳۲	۱۱		۰/۰۱۰	۶	
۰/۱۰۰	۱۶	مجموعه D	۰/۰۳۲	۱۱	مجموعه C
۰/۱۲۶	۱۷		۰/۰۴۰	۱۲	
۰/۱۶۰	۱۸		۰/۰۵۰	۱۳	
۰/۲۰۰	۱۹		۰/۰۶۳	۱۴	
۰/۲۵۰	۲۰		۰/۰۸۰	۱۵	
۰/۳۲۰	۲۱		۰/۱۰۰	۱۶	

باید در نظر داشت که هر کدام از مجموعه سیم‌ها بر اساس ضخامت قطعه و در لوله‌ها، بر اساس ضخامت و قطر لوله انتخاب و مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای محاسبه اندازه سیم در قطعات جوشکاری شده باید ضخامت قطعه و ارتفاع گرده جوش برابر بیشترین مقدار مشخص شده توسط استاندارد در نظر گرفته شود. بدیهی است که ضخامت صفحات پشت جوش در نظر گرفته نمی‌شوند. در هنگام استفاده از نفوذسنج‌های سیمی باید نازک‌ترین سیم در دورترین فاصله از چشمه یا منبع قرار داده شود. به بیان دیگر، نازک‌ترین سیم باید به سمت بیرون قطعه قرار داده شود. در بازرسی جوش‌ها، طریقه قرار دادن نفوذسنج سیمی به گونه‌ایست که عمود بر امتداد جوش قرار گیرد و نباید بر روی ناحیه جوش قرار داده شود. باید توجه داشت که اگر ارتفاع نفوذسنج سیمی از ارتفاع واقعی جوش کمتر باشد، می‌توان ورقه‌های فلزی کوچک و هم جنس با قطعه را در زیر نفوذسنج قرار داد.

هر دو نوع شاخص تخت و سیمی معمولاً بر اساس استاندارد در سمت منبع اشعه و بر روی قطعه نصب می‌شوند و اصطلاحاً به این روش، روش سمت منبع گفته می‌شود. بدیهی است که شاخص‌ها باید قبل از انجام عملیات پرتودهی نصب شوند. در برخی موارد، به عنوان مثال در شرایطی که از لحاظ هندسی نصب

شاخص در سمت منبع اشعه با مشکل مواجه می‌شود، می‌توان از روش دوم استفاده کرد. در روش دوم، شاخص همواریا سیمی در سمت فیلم و بر روی قطعه نصب می‌گردد که به این روش اصطلاحاً روش سمت فیلم اطلاق می‌شود. این نکته باید در نظر گرفته شود که روش سمت فیلم نسبت به روش سمت منبع اشعه از اعتبار کمتری برخوردار می‌باشد. دستیابی به مشخصه کیفیت تصویر در شرایط استفاده از روش سمت فیلم، به علت نزدیک‌تر بودن شاخص به فیلم، راحت‌تر می‌باشد.

جنس شاخص‌های کیفیت تصویر و نفوذسنج‌ها باید مطابق با جنس قطعه باشد. جنس مورد استفاده در ساخت شاخص‌های کیفیت تصویر شامل برنز آلومینیوم، اینکونل و تیتانیوم، آلومینیوم، منیزیم و فولاد می‌باشد. لازم به ذکر است که همواره باید ضریب جذب ماده سازنده شاخص از ضریب جذب قطعه مورد آزمایش بیشتر باشد تا این که مفسر دچار مشکل نشود. استفاده از نفوذسنج‌هایی که با قطعه هم جنس می‌باشند، مرسوم می‌باشد. در هنگام استفاده از شاخص کیفیت تصویر باید فاصله شاخص از انتهای فیلم در حدود یک سانتیمتر باشد تا تصویری مناسب از آن تشکیل شود.

در هنگام انتخاب شاخص‌های کیفیت تصویر و نفوذسنج‌ها باید در نظر داشت که حداقل مشخصات را دارا باشند. آن‌ها باید برای روش‌های گوناگون پرتونگاری میزان حساسیت مورد نیاز را فراهم سازند و دارای تنوع بوده و ضخامت‌های گوناگون را پوشش دهند. شماره و مشخصات آن‌ها به سادگی قابل مشاهده باشد و از لحاظ ابعادی آنقدر کوچک باشند تا به تصویر قطعه آسیبی وارد نکند. سهولت در استفاده از آن‌ها و انطباق داشتن با استانداردها و داشتن گواهی تضمین کیفیت نیز از مشخصات شاخص‌های کیفیت تصویر و نفوذسنج‌هامی‌باشد.

در ادامه نحوه‌ی انتخاب، مکان قرارگیری و تعداد شاخص کیفیت تصاویر (IQI ها) برحسب استاندارد ASME توضیح داده شده است.

نحوه انتخاب IQI:

۱. IQIها باید برای صفحات (ورق ها) از هر کدام از انواع تخت (حفره ای) یا سیمی انتخاب شود و برای خطوط لوله، تنها از نوع سیمی استفاده شود.

۲. IQI مواد دسته یک باید روی تمام فولادهای کربنی، فولادهای آلیاژی پایین و فولادهای ضد زنگ استفاده شود.

۳. IQI از این گروه باید از فولاد کربن‌دار یا نوع ۳۰۰ سری فولاد ضد زنگ ساخته شود.

۴. IQI مواد دسته دو باید روی تمام آلیاژهایی که آلومینیم جزء اصلی آلیاژی آنها است به‌کار برده شود.

۵. برای اتصالات بدون گرده، ضخامت روی آن قسمتی که IQI مستقر شده همان ضخامت قطعه است. نوارهای باریک به عنوان جزیی از ضخامت جوش در نظر گرفته نمی‌شوند.

۶. برای اتصالات با گرده، ضخامت روی آن قسمتی که IQI مستقر شده، برابر است با ضخامت قطعه به علاوه گرده جوش برآورد شده. اندازه‌گیری واقعی گرده جوش مورد نیاز نمی‌باشد.

مکان قرارگیری IQI:

۱. در روش SW که چشمه درون لوله قرار دارد، IQI به صورت موازی (برای نوع حفره ای) یا عمود (برای نوع سیمی) به جوش قرار می‌گیرد.

۲. برای روش DWDI، IQI باید رو به چشمه و در مجاورت جوش (برای نوع حفره ای) و روی جوش (برای نوع سیمی) قرار داده شود.

۳. برای DWSI یا SWSI نیاز به تابش‌های چند تایی می‌باشد:

۴. برای نوع حفره‌ای بایدموازی با جوش و دو طرف فیلم قرار گیرد و برای نوع سیمی بایدعمود بر جوش قرار گیرد.

۵. برای ورق‌ها IQIها در سرتاسر اتصال جوش و دو طرف چشمه نصب می‌شود.

۶. برای جوش تعمیر شده، IQI باید در مجاورت جوش (برای نوع حفره ای) و روی جوش (برای نوع سیمی) نصب شود.

تعداد IQI:

۱. در روش SW که منبع درون لوله قرار دارد، حداقل ۴ عدد IQI مورد نیاز می‌باشد.

۲. برای DWDI حداقل یک IQI مورد نیاز می‌باشد.

۳. برای DWSI یا SWSI به چند تابش مورد نیاز است که:

- اگر طول فیلم تفسیر شده بزرگتر از ۱۳۰mm باشد به دو IQI مورد نیاز است.
- اگر طول فیلم تفسیر شده کوچکتر مساوی ۱۳۰mm باشد یک IQI کافی است.

برای مخازن استوانه‌ای که چشمه به ترتیب روی محور مخزن قرار دارد و کل محیط دایره رادیوگرافی شده، حداقل ۳ عدد IQI لازم است که تقریباً با زاویه c120° از هم جدا شده باشند.

مواقعی که مقاطع جوش‌های طولی مجاور به جوش محیطی، هم زمان با جوش محیطی رادیوگرافی می‌شود، یک IQI اضافی باید روی جوش طولی و در انتهای دورترین قسمت از محل اتصال با جوش محیطی نصب شود.

چگالی:

چگالی رادیوگرافی توسط دانسیتومتر (Densitometer) اندازه‌گیری و کنترل می‌شود که برای انواع حفره‌ای یا سیمی باید طبق مقادیر زیر باشد:

۱. برای اشعه X بین ۱/۸ تا ۴

۲. برای اشعه گاما بین ۲ تا ۴

ظهور فیلم:

۱. ظهور اتوماتیک:

اپراتور بر اساس پیشنهاد کارخانه ظهور اتوماتیک را انجام می‌دهد.

۲. ظهور دستی:

معمولاً ظهور با مواد شیمیایی از همان مارک فیلم (مطابق با توصیه‌های کارخانه سازنده فیلم) انجام می‌گیرد. مراحل کلی ظهور به شرح زیر است:

- **داروی ظهور:**

در داروی AEFA GEVAERT G 137 یا مشابه آن، نمونه در درجه حرارت ۲۰°c و زمان بین ۵ تا ۸ دقیقه در دارو تکان داده می‌شود.

- **تانک ظهور (Stop Bath):**

در این تانک فرآیند ظهور پایان می‌یابد. این تانک شامل آب و ۳٪ اسید استیک می‌باشد و زمان قرارگیری فیلم در آن کمتر از ۵ دقیقه می‌باشد.

- **تثبیت (Fixing):**

در این فرآیند از ماده AEFA GEVAERT G 334 یا مشابه به آن استفاده می‌شود. درجه حرارت مورد نظر برای این مرحله ۲۰°c و زمان آن ۱۵ تا ۲۰ دقیقه می‌باشد.

- **تانک شستشو (Running Water):**

درجه حرارت آن c20° و مدت زمان آن ۱۰ دقیقه می‌باشد.

- **خشک کردن (Drying):**

خشک کردن به صورت دستی از دو روش هوای ساکن یا هوای گردشی (fan) انجام می‌پذیرد.

- **مشاهده فیلم‌های رادیوگرافی:**

برای این کار باید از صفحه نمایشگر (viewer) استفاده شود.

معیار پذیرش:

۱. ملاحظات روی تفسیر فیلم ها:

تصویر جوش باید عاری از هرگونه تصویر یا طرح اعداد سربی یا دیگر موارد خارجی باشد.

هرگونه تصویر رادیوگرافی که دارای عیوب است و به هر علتی ممکن است مانع از تفسیر درست و دقیق شود باید دوباره رادیوگرافی شود. هرگونه تصویر با حساسیت یا چگالی که در تطابق با ملزومات نیست باید رد شود. در این موارد مقطع جوش باید دوباره رادیوگرافی شود.

۲. استانداردهای پذیرش:

قابلیت پذیرش جوش‌ها باید با استاندارد ASME بخش ۸ قسمت (b)۵۱-vw مشخص شود.

۳. علایم غیر قابل قبول:

- هر نوع ترک از نوع ذوب ناقص (Lack of Fusion) به علت عدم اتصال بین فلز جوش و فلز پایه یا بین پاس‌های جوش و یا نفوذ ناقص (Lack of Penetration) به علت عدم نفوذ کامل فلز جوش به ریشه اتصال، مورد پذیرش نمی‌باشد. هر یک از این موارد، جوش را به یک منطقه مستعد ایجاد خستگی (Fatigue) تبدیل می‌نماید.

- هر نوع عیب خطی که طول آن بیشتر از حد مورد نظر دارد.
- هر نوع تجمع عیوب خطی که طول متراکم آن بیشتر از T (ضخامت جوش به استثنا هر نوع گرده مجاز یا ضخامت دهانه Fillet) و در یک فاصله ۱۲ T باشد به استثناء جایی که فاصله بین ۲ عیب پشت سر هم از ۶ T تجاوز کند (L طول بلندترین عیب این تجمع می‌باشد).
- هر نوع عیب مدور که از حد پذیرش مورد نظر تجاوز کند.
- در مورد رادیوگرافی نقطه‌ای یا محلی، اگر جوش یک عیب قابل پذیرش را در انتهای عکس پرتونگاری نشان می‌دهد، یک یا چندین عکس پرتونگاری باید دوباره قرار داده شود تا محدودیت‌های دقیق عیب مورد نظر مشخص شود.

لذا برای موارد تعمیری، همه اجزاء جوش با موارد غیر قابل پذیرش باید برداشته شود و دوباره جوشکاری شوند. قسمت تعمیری باید دوباره رادیوگرافی شود.

شناسایی فیلم:

هر عکس پرتونگاری باید با اعداد و حروف سربی مشخص شده باشد که موارد به شرح زیر می‌باشد:

- نام سازنده
- تعداد سفارشات
- تاریخ
- مدارک و اسناد تجهیزات رادیوگرافی
- اسناد نوع اتصال جوش شده
- تعداد فیلم
- حرف R برای موارد تعمیری

گزارشات:

نتایج هر تفسیر رادیوگرافی به عنوان یک گزارش نوشته می‌شود که این گزارش با درج تاریخ به مهر و امضاء بازرس درجه دو می‌رسد و موقعیت‌هایی که عکس‌ها گرفته شده درون گزارش رسم می‌شوند.

دستورالعمل بازرسی مخازن تحت فشار به روش تست مایعات نافذ (PT):

این دستورالعمل نیازمندی‌ها و نحوه انجام آزمون مایعات نافذ بدنه‌های جوشکاری شده و محدوده پذیرش آن طبق استاندارد ASME را بیان می‌کند. نتایج مطلوب زمانی به دست می‌آید که سطح مورد نظر پس از انجام جوشکاری و یا نورد مورد بررسی قرار گیرد. انجام عملیاتی همچون سنگ زنی، ماشین کاری و..... بر روی سطح نمونه می‌تواند منجر به عدم تشخیص عیوب گردند. انجام چنین عملیاتی تنها در صورت لزوم و اجبار می‌تواند قبل از انجام تست انجام پذیرد. در ادامه، مراجع مرتبط، تجهیزات و مواد مصرفی، روش‌های بازرسی مایعات نافذ، دستورالعمل اجرای بازرسی و محدوده پذیرش آن توضیح داده شده است.

مراجع مورد استفاده:

استاندارد ASME بخش ۵ مربوط به دیگ‌های بخار و مخازن تحت فشار:

- **Article 6:** مربوط به آزمون مایعات نافذ
- **Article 24:** مربوط به استانداردهای مایعات نافذ

استاندارد ASME بخش ۸، Appendix ۸: محدوده و روش پذیرش و قبول عیوب

مواد و تجهیزات مورد استفاده:

در بازرسی به روش مایعات نافذ به تجهیزات خاصی نیاز نیست. با استفاده از اسپری‌های PT می‌توان عمل بازرسی را انجام داد که در حالت کلی این اسپری‌ها به صورت زیر می‌باشند:

۱. مایع نافذ (Penetrant)
۲. تمیزکننده (Remover)
۳. مایع ظهورکننده (Developer)

- این مواد می‌توانند به دو رنگ فلورسنت (Fluorescent Dye) و چشمی (Visible Dye) به‌کار گرفته شوند که در بازرسی فلورسنت به لامپ UV نیز نیاز است.
- در بازرسی مایعات نافذ باید توجه داشت که کلیه مواد مورد استفاده حتماً از یک کمپانی و سازنده باشد تا نتایج مطلوب و صحیحی را از بازرسی بتوان بدست آورد.
- در بازرسی مایعات نافذ قبل از عملیات بازرسی باید بازرس اطلاعات کافی از نوع و توصیه‌های سازنده در خصوص نحوه صحیح استفاده و همچنین به زمان و تاریخ مصرف مواد دقت نماید.
- محلول‌های فوق باید با احتیاط مورد استفاده قرار گیرند، زیرا بخار این مواد می‌تواند سمی باشد و موجب صدمه رساندن به پوست گردند.

روش‌های بازرسی مایعات نافذ:

۱. قابل شستشو با آب (Water Washable)
۲. آب‌شوینده لیپوفیلیک یا امولسیون شونده با مشتقات نفتی (Post Emulsifiable – Liopophilic)
۳. قابل شستشو با حلال (Solvent Removable)
۴. آبشوینده هیدروفیلیک یا امولسیون شونده با مشتقات آبی (Post Emulsifiable – Hydrophilic)
۵. روش‌های فوق متناسب با حساسیت کار با توجه به صلاح دید مدیر واحد بازرسی، انتخاب و اجرا می‌گردد.

دستورالعمل اجرای بازرسی:

برای انجام این آزمون موارد زیر به ترتیب انجام می‌شود:

۱. تمیز کردن سطح قبل از انجام آزمون (Pre–Cleaning):

- قبل از انجام هرگونه آزمون مایعات نافذ، سطح مورد نظر و تمام نواحی مجاور آن باید حداقل تا فاصله ۱ اینچ کاملاً خشک و عاری از هرگونه گرد وخاک، روغن، رنگ، زنگ زدگی، گریس و..... باشد. سطح

آزمون با استفاده از مواد Pre-cleaner به نحوی تمیز گردد که مواد خارجی و آلودگی‌ها از سطح زدوده شوند.
- سطح مورد آزمون باید با استفاده از پارچه تنظیف خشک و تمیز و یا با کاغذهای جاذب پاک شود.
- باید اجازه داده شود تا سطح به مدت ۵ دقیقه کاملاً خشک شود.

۲. اعمال مایع نفوذکننده بر حسب زمان و دمای نفوذ دهی:

در این مرحله مایع نفوذی را بر روی قطعه کار اسپری نموده و یا با قلم مو در صورت پودری بودن پس از حل کردن در محلول مربوطه استفاده می‌نمایند. در زمان اسپری کردن باید دقت داشت که از شره کردن مایع نافذ جلوگیری شود و با فاصله حدود ۳۰ سانتیمتری اسپری گردد. قبل از اسپری حتماً قوطی را تکان داده، به‌طوری که صدای ساچمه داخل قوطی اسپری قابل شنیدن باشد.

۳. زمان و دمای نفوذ دهی:

مدت زمان اعمال مایع نفوذی (حداقل زمان نفوذدهی) براساس جدول ۹-۲ و با توجه به توصیه‌های سازنده که بر روی قوطی نوشته شده است، باید انجام گردد. نباید مایعات نافذ بیش از ۳۰ دقیقه بر روی سطح مورد آزمون باقی بماند. نباید اجازه داده شود تا مایعات نافذ بر روی سطح خشک شوند. چنانچه مایعات نافذ به‌طور کامل خشک شوند باید مایعات نافذ از روی سطح پاک شوند و دوباره بر روی سطح اعمال شوند. دمای قطعه کار برای مایعات نافذ باید در محدوده دمایی ۵۲°c-۱۰ باشد.

جدول ۹-۲. حداقل زمان نفوذدهی

ماده (جنس)	شکل محصول	نوع عیب	زمان نفوذدهی (دقیقه)	
			مایع نافذ	مایع ظهور کننده
آلومینیوم، منیزیم، فولاد، برنج و برنز، تیتانیوم و آلیاژهای دمای بالا	ریخته‌گری و جوشکاری	تخلخل، عدم هم‌جوشی (lack of fusion)، ترک‌ها، سردجوشی یا اتصال سرد (cold shut)	۵	۷
کاربید-ابزارهای نوک تیز	بدون ماشین کاری-اکستروژن-آهنگری	ترک ها	۱۰	۷
		تخلخل، عدم همجوشی، ترک ها	۵	۷
پلاستیک	همه شکل ها	ترک ها	۵	۷
شیشه	همه شکل ها	ترک ها	۵	۷
سرامیک	همه شکل ها	ترک‌ها، منافذ و تخلخل	۵	۷

۴. زدودن مایعات نافذ اضافی:

باید مایعات نافذ اضافی با استفاده از پارچه تنظیف خشک و تمیز و یا با کاغذهای جاذب که آغشته

به مایع تمیزکننده (Remover) است از روی سطح زدوده شوند. باید دقت نمود تا از زدودن بیش از حد مایعات نافذ به‌طوری که مایعات نافذ از عیوب سطحی خارج شوند جلوگیری نمود. از تمیز کردن سطح به صورت مستقیم توسط مایع تمیزکننده قبل از استفاده از مایع ظهورکننده (Developer) باید خودداری نمود.

۵. اعمال مایع ظهورکننده:

مایع ظهورکننده باید از طریق اسپری مستقیم بر روی سطح اعمال گردد. قبل از انجام، محفظه حاوی آن باید به‌طور کامل به هم زده شود تا اطمینان حاصل گردد که ذرات موجود در سوسپانسیون به‌طور کامل پخش شده‌اند و باعث ایجاد لایه‌ای یکنواخت از مایع بر روی سطح می‌شوند. چنانچه این لایه بیش از حد ضخیم باشد، مانع از تشخیص دادن عیوب می‌گردد.

۶. زمان اعمال مایع ظهورکننده:

مدت زمان اعمال مایع ظهورکننده که منجر به عمل بیرون آمدن مایع نفوذی (Blotting) توسط مایع ظهورکننده و رویت مایع نفوذی به صورت صورتی رنگ (Bleeding Out) می‌شود، باید با توجه به توصیه‌های سازنده که بر روی قوطی نوشته شده است انجام گردد.

۷. بازرسی سطح قطعه:

- نقص‌های مکانیکی و عدم چسبندگی کامل میان پایه فلزی و پوشش (Clad) می‌تواند از طریق خارج شدن مایعات نافذ از آنها و یا شرایط سطح قطعه، در طی انجام آزمون مشخص شوند. این‌گونه نقص‌ها غیر قابل پذیرش می‌باشند.
- هر علامتی که به صورت غیرمرتبط و خارج از محدوده پذیرش استاندارد باشد، باید به صورت عیب در نظر گرفته شود.
- شرایط سطحی ممکن است منجر به انجام دوباره آزمون گردد.
- علامت‌های غیرمرتبط (Non- Relevant Indication) و یا نواحی که رنگ زیادی در آن‌ها دیده می‌شود و مانع از تشخیص صحیح عیوب می‌گردند، غیر قابل قبول می‌باشند.
- علامت‌های مرتبط (Relevant Indication) آنهایی هستند که از عیوب غیر قابل قبول ناشی شده‌اند.
- علامت‌های خطی (Linear Indication) آنهایی هستند که طول آنها بیش از سه برابر عرض آنها باشد.
- علامت‌های کروی (Round Indication) آنهایی هستند که به صورت کروی یا بیضوی می‌باشند و طول آنها کمتر از سه برابر عرض آنها است.

۸. تمیز کردن سطح پس از انجام آزمون:

- تمیز کردن سطح پس از انجام آزمون در مواردی که مایعات نافذ و ظهورکننده باقی مانده است ضروری است زیرا می‌تواند در فرآیندهای بعدی و یا نحوه عملکرد بدنه ایجاد اختلال نماید (از قبیل ترکیب شیمیایی و تولید مواد خورنده).
- توصیه می‌شود چنانچه زدودن مایع ظهورکننده نیاز است، این کار بلافاصله پس از انجام آزمون انجام شود تا بر روی بدنه نچسبد.

محدوده‌های پذیرش عیوب در بازرسی مایعات نافذ مطابق ASME بخش ۸:

چنانچه عیوب زیر از طریق آزمون مایعات نافذ تشخیص داده شوند، جوش مورد قبول نمی‌باشد.

۱. علامت‌های خطی (Linear Indication) با اندازه بزرگتر از ۱.۶ mm غیرقابل قبول می‌باشند.

۲. علامت‌های کروی (Round Indication) با اندازه بزرگتر از ۴.۸ mm غیرقابل قبول می‌باشند.

۳. چهار علامت کروی یا بیشتر که در یک خط به صورت مجزا دیده شوند و با فاصله ۱.۶ mm یا کمتر از یکدیگر قرار گرفته باشند، غیر قابل قبول می‌باشند.

۴. علامت‌های ناشی از وجود عیوب می‌تواند بزرگتر از اندازه واقعی عیب باشد، با این وجود اندازه علامت‌ها، اساس ارزیابی پذیرش عیوب می‌باشد.

نواحی که به دلیل وجود عیب تعمیر شده‌اند، باید پس از انجام تعمیر دوباره توسط همان تکنیک مایعات نافذ قبلی مورد بررسی مجدد قرار گیرند.

دستورالعمل بازرسی مخازن تحت فشار به روش بازرسی ذرات مغناطیسی (MT)

هدف از این بازرسی تعیین عیوب زیر سطحی و یا نزدیک به سطح جوش با عمق حداکثر ۴ mm می‌باشد. این روش برای عیوبی که در عمق و نزدیک به ریشه می‌باشند مناسب نیست. این روش برای کلیه فولادهایی که مغناطیس می‌شوند با ضخامت نامحدود کاربرد دارد. این روش برای فولادهای فرومگنت بسیار مناسب است.

در ادامه، مراجع مرتبط، الزامات ایمنی، تجهیزات و مواد مصرفی و دستورالعمل اجرای بازرسی توضیح داده شده است.

مراجع مرتبط

- ASME SEC V ARTICLE4
- ASME SEC VIII DIV1

الزامات ایمنی

- موادی که در بازرسی مغناطیسی استفاده می‌شود قابل اشتعال و فرار هستند. همچنین این مواد سمی می‌باشند بنابراین از تماس مستقیم به پوست باید خودداری نمود
- نور چراغ UV برای چشم مضر است و نباید مستقیم به چشم اپراتور برخورد کند.

تجهیزات و مواد مصرفی مورد نیاز

دستگاه یوک و چراغ UV از تجهیزات مورد استفاده در این آزمون می‌باشند. یوک‌ها دارای یک هسته مغناطیسی و یک سیم پیچ می‌باشند که هنگام تولید و عبور جریان از مفصل‌ها یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌گردد. برای آزمایش، دستگاه یوک باید بعد از برقراری میدان مغناطیسی بتواند یک وزنه ۴.۵kg را از زمین بلند کند. برای اطمینان از شدت میدان مغناطیسی تولید شده توسط یوک از وسیله‌ای به نام NDT Castrol Strip استفاده می‌شود. این وسیله نوعی شاخص است که از قرار گرفتن فولاد مغناطیسی بین دو صفحه برنجی ساخته شده و برای استفاده مکرر در تنظیم یا نظارت بر قدرت میدان مغناطیسی یوک طراحی شده‌اند. به این

صورت که این وسیله را بین پل یوک قرار داده و جریان را برقرار نموده و سپس اسپری جوهر (Ink) را اعمال می‌نمایند. اسپری حاوی ذرات پودر آهن و هیدروکربن است. اگر تجمع جوهر روی شیارهای این وسیله مشاهده شود یعنی شدت میدان مغناطیسی خوب است. اسپری جوهر شامل دو دسته مرئی و فلورسنت می‌باشد که اگر از اسپری فلورسنت استفاده شود باید از چراغ UV استفاده نمود.

دستورالعمل اجرای بازرسی

۱. شرایط نور محیط کار

شدت نور روی سطح قطعه برای حالت مرئی باید بالای ۵۰۰ LUX باشد. برای حالت فلورسنت شدت نور محیط باید کمتر از ۲۰ LUX باشد و شدت نور سطح قطعه در زیر نور چراغ UV در زمان تست بالاتر از $\mu W/cm^2$ ۱۰۰۰ باشد و برای نظافت بعد از تست در حدود $\mu W/cm^2$ ۳۰۰ باشد.

۲. آماده‌سازی سطح

سطح باید عاری از هرگونه آلودگی باشد، زیرا آلودگی باعث تجمع جوهر شده و ممکن است در بازرسی اختلال بوجود آورد. همچنین سطح از هرگونه روغن، گریس و موادی از این قبیل باید عاری باشد، زیرا این مواد باعث تجمع ذرات جوهر می‌شوند.

۳. انجام بازرسی

- ابتدا روی سطح را با اسپری سفید می‌کنند زیرا باید رنگ زمینه مناسب باشد و ذرات آهن موجود در جوهر که معمولاً به رنگ سیاه یا قرمز هستند در زمینه سفید به خوبی دیده شوند.
- نحوه به‌کار بردن یوک: نشانه‌هایی در تست مغناطیسی قابل رویت هستند که نسبت به میدان مغناطیسی زاویه‌ای بین ۳۰ تا ۹۰ درجه داشته باشد. بهترین کیفیت رویت با زاویه ۹۰ درجه است، یعنی عیبی که بر میدان مغناطیسی عمود باشد و اگر زاویه عیب نسبت به میدان مغناطیسی کمتر از ۳۰ درجه باشد قابل رویت نمی‌باشد. به همین دلیل یوک را یک بار موازی با خط مرکزی جوش و یک بار عمود بر خط مرکزی جوش قرار می‌دهیم تا عیوب طولی، عرضی و مایل هر سه مشاهده شوند.
- اسپری حاوی ذرات پودر آهن و هیدروکربن را بر روی منطقه‌ای که بین دو طرف پایه‌های یوک قرار دارد پاشش می‌کنند.
- دستگاه یوک را روشن می‌کنیم تا ذره‌های آهن از پایه‌ای که دارای بار مثبت می‌باشد به طرف پایه‌ای که دارای بار منفی می‌باشد حرکت کند.
- هر جا که تجمعی از ذرات پودر آهن جوهر داشته باشیم با توجه به استانداردهای مربوطه مورد بررسی قرار می‌گیرد.
- دی مگنت کردن: برای دی مگنت کردن قطعه، یوک را روی قطعه می‌گذاریم و به صورت مایل از جانب و بالا حدود ۴۵۰ میلی‌متر از قطعه دور می‌کنیم و سپس یوک را خاموش می‌کنیم. باید توجه داشت که اگر قطعه بعد از تست، عملیات حرارتی می‌شود نیاز به دی مگنت کردن نیست.

- بعد از اتمام کار لازم است که اسپری جوهر از قطعه با دستمال پاک شود و سپس اسپری سفید بوسیله برس‌های مناسب باید کاملاً از سطح قطعه پاک شود.

۴. تفسیر و تهیه گزارش

نشانه‌هایی که در بازرسی ذرات مغناطیسی مشاهده می‌شوند، شامل نشانه‌های مرتبط و نشانه‌های غیرمرتبط و بی‌ثمر می‌باشند، که نشانه‌های مرتبط شامل نشانه‌هایی است که ناشی از عیوب واقعی مانند ترک‌ها و تخلخل‌ها می‌باشند و نشانه‌های غیر واقعی شامل نشانه‌هایی است که ناشی از ریشه پیچ‌ها، پرچ‌ها، روغن، لبه‌های تیز و پاشش‌های جوش می‌باشد که این موارد در بازرسی مورد توجه قرار نمی‌گیرد.

نشانه‌های واقعی شامل دو دسته می‌شوند: نشانه‌های خطی که طول آنها بیشتر از سه برابر عرض آنهاست و نشانه‌های کروی که طول آنها کمتر از سه برابر عرض آنهاست. باید توجه داشت که در روش تست ذرات مغناطیسی فقط طول عیب بدست می‌آید و عمق آن قابل تشخیص نیست.

موارد غیر قابل قبول شامل نشانه‌های زیر می‌شود:

- علامت‌های خطی که طول آنها بیشتر از سه برابر عرض آنهاست. این علامت‌ها با اندازه بزرگ‌تر از ۱/۶ میلی‌متر غیر قابل پذیرش هستند.
- علامت‌های کروی که طول آنها کمتر از سه برابر عرض آنهاست. این علامت‌ها با اندازه بزرگ‌تر از۴/۸ میلی‌متر غیر قابل پذیرش هستند.
- علامت‌های ناپیوسته که اگر در یک راستا و به فواصل کمتر از ۱.۶ میلی‌متر از هم قرار داشته باشند، بدون در نظر گرفتن اندازه آنها غیر قابل پذیرش می‌باشند.

گزارش بازرسی ذرات مغناطیسی که توسط شخص دارای صلاحیت مربوطه انجام شده است، پس از تفسیر، تنظیم می‌شود.

۶-۲ نحوه‌ی بررسی، حمل و تایید محل استقرار ظروف تحت فشار

■ ۱-۶-۲ آماده‌سازی برای حمل

- بعد از پایان تست هیدرو استاتیک، تجهیز باید کاملاً خشک و تمیز و عاری از هرگونه اکسید، گریس، چربی و غیره باشد.
- پلاک تجهیز باید شامل نام تجهیز، تاریخ و سریال ساخت و... باشد که پس از اتمام تمامی عملیات ساخت و بعد از رنگ آمیزی، لازم است لوحه شناسایی دارای مشخصات کاری مانند فشار و دما روی تجهیز نصب گردد، مگر آنکه کارفرما دستورالعمل خاصی در این خصوص ارائه نماید.
- دریچه‌هایی که توسط فلنج کور بسته نشده‌اند، باید توسط پوشش محافظ و ایمن پوشیده شوند.
- دریچه‌هایی که به صورت رزوه‌ای می‌باشند، لازم است به‌منظور ممانعت از خراب شدن دنده‌های داخلی

با درپوش مناسب مسدود شوند.
- ضروری است برای قطعات داخلی به‌منظور جلوگیری از تخریب آن‌ها از حفاظ مناسب استفاده شود.
- سطوح پیچ و مهره‌ها باید توسط گریس یا روغن ضدآب پوشانده شود.
- قطعات کوچک باید در جعبه یا کیسه حمل شده و متناسب با شماره مخزن و شماره درخواست دارای کد شناسایی باشند.
- هنگام بلند نمودن و حمل مخزن اقدامات احتیاطی و ایمنی رعایت شود.
- کلیه مدارک فنی ساخت اعم از نقشه‌ها، دستورالعمل‌ها و مشخصات پروژه، تمامی گزارشات بازرسی و دیگر مدارک به صورت مدارک نهایی (Final Book) طبق دستورالعمل جاری در شرکت جمع‌آوری گردند، مگر آنکه کارفرما در این خصوص روشی ارائه نماید.
- کلیه مراحل بازرسی، اطلاعات و نتایج باید در فرم‌های مربوطه دفترچه مخازن ثبت گردد.

■ ۲-۶-۲ مدارک نهایی برای تحویل تجهیز

قبل از آماده شدن تجهیز برای حمل به مقصد، سازنده باید حداقل مدارک زیر را برای خریدار تهیه نماید. این مدرک به نام Final Book شناخته می‌شود. در این سند موارد زیر باید گنجانده شوند:
- کلیه گزارشات اطلاعاتی در رابطه با تجهیز ساخته شده
- نقشه‌های ساخت تجهیز به همراه ابعاد مندرج در آن(As built)
- تهیه چارت یا نمودار فشار در حین تست هیدرواستاتیک
- تهیه چارت یا نمودار عملیات حرارتی بعد از جوشکاری

سازنده گارانتی و تضمین می‌نماید که تجهیز مطابق مشخصات (Spec) و به دور از هرگونه اشتباه در حین طراحی، ساخت و متریال می‌باشد و هرگونه ایراد و عیبی که در طول سال‌های نخست در حین سرویس بوجود آید بدون دریافت هرگونه وجهی، تعمیر یا جایگزین می‌نماید.

■ ۲-۶-۳ نصب دیگ

دیگ‌ها توسط پیمانکار یا یک نصاب باتجربه نصب می‌شوند. در بسیاری از قوانین، مقرراتی برای جواز نصاب دیگ وجود دارد. چه نیاز به جواز باشد چه نباشد، هر فرد یا شرکتی که اقدام به نصب می‌کند، باید تجربه و دانش کافی درباره آیین‌نامه‌ها و مقتضیات قوانین محلی داشته باشد. یک نصاب مجاز معمولاً پس از تکمیل نصب، اولین بازرسی را انجام می‌دهد تا یک گواهی کارکرد صادر کند.

علاوه بر توصیه‌های سازنده، تجهیزات موجود در اتاق دیگ نیز باید مطابق با مقررات محلی نصب شود. در بسیاری از قوانین، آیین‌نامه‌های زیر برای ساخت و نصب اقتباس شده است:
- **آیین‌نامه ASME بخش۴:** مقررات ساخت دیگ‌های گرمایش
- **آیین‌نامه ASME بخش۶:** مقررات توصیه شده برای مراقبت وکارکرد دیگ
- **آیین‌نامه ASME CSD-1:** دستگاه‌های کنترل‌گر و ایمنی برای دیگ‌های خودکار
- **NFPA 54** –آیین‌نامه گاز ملی

- **NFPA 70** - آیین‌نامه برق ملی
- **UL834** – دیگ‌های گرمایش برقی و تأمین آب

هر پیمانکار باید ۵ عامل اساسی را در نصب دیگ در نظر بگیرد که عبارت‌اند از: اتاق دیگ، هوای احتراق، تهویه، مکان دیگ و آزمون کارکرد.

■ ۴-۶-۲ پیوست

در این قسمت کلیه اقدامات بازرسی و آماده‌سازی تجهیز از زمان ساخت تا تحویل، به صورت خلاصه و کلی در جدول۱۰-۲بیان شده است.

جدول ۱۰-۲. برنامه جامع آزمون و بازرسی مخزن تحت فشار

ردیف	فعالیت‌ها	مستندات مربوطه
۱	ارزیابی طراحی (در صورت لزوم)	تاییدیه از موسسه مستقلی که طراحی مخزن را مطابق با کد مربوطه گواهی نماید
۲	بازرسی مواد (قطعات فورج (آهنگری)، ریختگی، ورق و تیوب ها)	ثبت شناسایی مواد و بررسی گواهینامه مواد (Mill Test Certificate) (شامل آنالیز شیمیایی و مکانیکی)
۲-۱	شناسایی / ردیابی	نظارت بر نشانه‌گذاری شناسه مواد
۲-۲	بازرسی چشمی – ابعادی	گزارش آزمون (Test Report) و رسم آن
۲-۳	آزمون آلتراسونیک ورق	گواهینامه آزمون (Test Certificate)
۲-۴	آزمون‌های مکانیکی	نتایج آزمون مکانیکی (شامل آزمون ضربه)
۳	نشانه‌گذاری و انتقال نشانه ها	ثبت برشکاری مواد (به‌طور معمول رسم نمودن ورق پوسته / کلگی و اجزای آهنگری)
۴	آزمایش لبه‌های برش	ثبت آزمون PT یا MT برای آماده‌سازی لبه‌های ورق برای جوشکاری
۵	دستورالعمل‌های جوشکاری	
۵-۱	تایید دستورالعمل‌های جوشکاری	سوابق WPS/PQR
۵-۲	کنترل تاییدیه جوشکاران	گواهینامه‌های تایید صلاحیت جوشکاران
۵-۳	بررسی و تایید مواد مصرفی	گواهینامه انطباق مواد مصرفی
۵-۴	ورق‌های آزمون تولید (Production Test Plates)	رسم محل نمونه برداری برای ورق آزمون

ردیف	فعالیت‌ها	مستندات مربوطه
۶	جوشکاری	
۶-۱	کنترل آماده‌سازی جوشکاری	بررسی WPS
۶-۲	کنترل خال جوش‌ها و تراز بودن مونتاژ درزها	برگه ثبت
۶-۳	تراشه برداری پشت جوش ریشه طرف اول، آزمون PT برای شناسایی ترک ها	برگه ثبت نتایج آزمون PT
۶-۴	بازرسی چشمی درز جوش ها	WPS و برگه بازرسی چشمی
۷	آزمون‌های غیر مخرب قبل از عملیات حرارتی	
۷-۱	درزهای طولی و محیطی جوش UT یا RT	دستورالعمل آزمون RTیا UT
۷-۲	آزمون RTیا UT جوش‌های نازل	برگه نتایج عیوب
۷-۳	آزمون PT یا MT درز جوش ها	رسم موقعیت‌های NDT
۷-۴	آزمون PTیا MT جوش‌های نازل	
۷-۵	گودبرداری عیب و تعمیر	سوابق تعمیر (به همراه رسم موقعیت)
۸	عملیات حرارتی (تنش گیری)	
۸-۱	کنترل ظاهری / ابعادی قبل از عملیات حرارتی	برگه کنترل ظاهری / ابعادی
۸-۲	بررسی عملیات حرارتی (شامل ورق‌های آزمون در صورت لزوم)	نمودار زمان / دما عملیات حرارتی
۹	آزمون‌های غیر مخرب بعد از عملیات حرارتی	
۹-۱	درزهای طولی و محیطی جوش UT یا RT	دستورالعمل‌های آزمون RTیا UT
۹-۲	جوش‌های نازل UT یا RT	برگه نتایج NDT
۹-۳	آزمون PT یا MT درز جوش ها	برگه‌های موقعیت NDT
۹-۴	آزمون PTیا MT جوش اتصالات، Lifting lugs و محل‌های fixture Jig	
۱۰	بازرسی نهایی	
۱۰-۱	آزمون هیدرواستاتیک	گواهینامه آزمون
۱۰-۲	آزمون چشمی و ابعادی	برگه ثبت

ردیف	فعالیت‌ها	مستندات مربوطه
۱۰-۳	کنترل اجزای داخلی مخزن	برگه ثبت
۱۰-۴	آماده‌سازی سطوح / Sandblast	برگه ثبت
۱۰-۵	رنگ مخزن	ثبت ضخامت رنگ و نتایج آزمون چسبندگی
۱۰-۶	حفاظت سطوح داخلی مخزن	ثبت نوع روغن مورد استفاده
۱۰-۷	نشانه‌گذاری مخزن	کپی نمودن لوح شناسایی مخزن
۱۰-۸	بسته‌بندی	فهرست بسته بندی (Packing List)
۱۰-۹	کتابچه مستندات	کتابچه کامل شامل فهرست
۱۰-۱۰	گواهینامه مخزن	
۱۰-۱۱	جزئیات واگذاری	ثبت تمامی واگذاری‌هایی که موافقت شده است (به همراه مجوزهای فنی)

۳

فصل سوم

بازرسی ادواری حین کارکرد ظروف تحت فشار

بازرسی ادواری حین کارکرد ظروف تحت فشار

۳-۱ انواع بازرسی دوره‌ای در ظروف تحت فشار و مراحل آماده‌سازی آن

هدف از بازرسی ظروف تحت فشار مانند انواع مخازن ذخیره هوای فشرده، دیگ‌های آب گرم، بخار، اتوکلاوها، دیگ‌های روغن داغ و...، بررسی وضعیت کلی تجهیز، یکپارچگی مکانیکی آن بر اساس استانداردهای مربوطه و رفع عیوب احتمالی ایجاد شده می‌باشد که احیاناً امکان رفع آنها در طول بهره برداری میسر نیست. بازرسی ادواری ظروف تحت فشار شامل بخش‌های زیر می‌باشد:

- مکانیکی (کنترلرها)
- برقی
- ظرف تحت فشار (بدنه)

بخش مکانیکی، همانگونه که از نامش پیداست مربوط به چک کردن و بررسی عملکرد مکانیکی تجهیز بر طبق استانداردهای مربوطه می‌باشد که در صورت نیاز دستورالعمل تعمیراتی مورد نیاز صادر می‌شود و تجهیز مورد تست‌های الزامی قرار خواهد گرفت. همچنین از نظر ابزار دقیق نیز تجهیز باید مورد بررسی قرار گیرد و از لحاظ عملکرد و کالیبره بودن کنترلرها اطمینان حاصل گردد که در فصل بعد به‌طور مفصل به آن پرداخته شده است.

بخش برقی بسته به نوع تجهیز دیگ یا مخزن شامل سیستم ارتینگ و تابلو برق، باید مورد ارزیابی و تست‌های مورد نیاز قرار گیرد و از صحت عملکرد آن اطمینان حاصل گردد.

در این فصل به شرح موارد مورد نیاز برای بازرسی در بدنه ظروف تحت فشار، شرح دامنه بازرسی و دستورالعمل‌های لازم پرداخته می‌شود.

با توجه به اهمیت و گستردگی بازرسی دیگ‌های گرمایش (دیگ‌های آب گرم، دیگ‌های بخار) نسبت به سایر ظروف تحت فشار، بازرسی آنها از زمان نصب در محل آغاز می‌گردد. هدف اصلی از بازرسی ادواری، تعیین هماهنگی عملیاتی دیگ و صدور گواهی‌های لازم بر اساس قوانین و مقررات قانونی است. بازرسی ادواری توسط یک بازرس مجاز که دارای صلاحیت قانونی است انجام می‌شود. بازرسی ادواری، یک روش پیچیده است که مستلزم تجربه و دانش درباره آیین‌نامه‌های ظروف تحت فشار است. «آیین‌نامه دیگ و ظروف تحت فشار ASME بخش ۶» نکاتی درباره مراقبت و بازرسی دیگ‌های گرمایش ارایه می‌دهد.

عمر عملیاتی یک دیگ گرمایش بلافاصله پس از نصب آغاز می‌گردد. یک بازرس شخص سوم (Third Party Auditor (TPA)) اولین بازرسی دیگ را پس از تکمیل نصب انجام می‌دهد و معمولاً یک گواهی برای یک سال صادر می‌گردد. بر اساس مقررات قانونی، دیگ به‌طور منظم توسط بازرس مجاز بازدید می‌شود و یک گواهی کارکرد پس از هر بار بازرسی صادر می‌گردد. شرایط یک دیگ وابسته به میزان فرسایش در طول زمان بوده و ایمنی آن مورد بحث است. قانون بر اساس گزارش بازرس مجاز تصمیم می‌گیرد که آیا یک دیگ قدیمی از ایمنی لازم برای کار کردن برخوردار است یا خیر.

به‌طور کلی، دفعات بازرسی دیگ‌های گرمایش در قوانین و مقرارت قانونی دیگ مشخص شده است. هر دیگ گرمایش سالی یک بار، دو سال یک بار، یا سالی دو بار... بسته به مقتضیات قانونی بازرسی می‌شود. بازرسی که منجر به صدور گواهی سازگار می‌شود (بازرسی گواهی) نامیده می‌شود. بازرسی داخلی و بازرسی خارجی هر دو می‌تواند به عنوان بازرسی گواهی استفاده گردد. بازرسی بدون گواهی برای کنترل شرایط کلی دیگ بین دو بازرسی گواهی انجام می‌شود.

بازرسی ادواری

بازرسی ادواری به معنای بازرسی مجدد دیگ‌های موجود، بر اساس قوانین و مقررات قانونی دیگ است. اگر بازرسی به‌طور سالیانه انجام شود، بازرسی سالیانه نامیده می‌شود. این بازرسی نشان می‌دهد که دیگ در شرایط ایمن و رضایت بخش است و توسط بازرس قانونی یا شرکت بیمه مجاز، برای صدور بیمه نامه مورد تایید است.

بسیار مهم است که بازرسی به‌طور کامل انجام شود، به نحوی که کلیه شرایط ناامن و مغایرت‌های آیین‌نامه‌ای مورد بررسی قرار گیرد. در صورتی که همه‌ی شرایط دیگ رضایت بخش باشد، یک گواهی سازگاری با گواهی بازرسی صادر می‌شود.

از مهم‌ترین بازرسی ظروف تحت فشار بر اساس استانداردهای مربوطه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- بازرسی در حین ساخت انواع مخازن و مولدهای بخار (که در فصل دو این کتاب بررسی شد)
- بازرسی در حین سرویس انواع مخازن و مولدهای بخار.
- بازرسی بعد از تعمیرات اساسی انواع مخازن و مولدهای بخار.

پس از انجام هر بازرسی با توجه به نوع آن، نتایج مشاهدات بازرسی در فرم‌های مربوطه به پیوست تهیه و

گزارش می‌گردند.

با توجه به اجرای بازرسی و تایید تجهیز براساس ثبت گزارشات صورت گرفته، گواهینامه کاربری و پلاک بازرسی جدید برای دیگ صادر می‌گردد.

■ ۳-۱-۱ بازرسی در حین سرویس انواع مخازن:

برای بازرسی ظروف در زمان سرویس آنها، مراحل زیر به ترتیب باید انجام پذیرند:

۱. بررسی مدارک تجهیز، سوابق بازرسی و محاسبات صورت گرفته در صورت موجود بودن.

۲. انجام PMI و تعیین متریال در صورت در دسترس نبودن مشخصات تجهیز.

۳. بازرسی چشمی (VT) از پوشش خارجی تجهیز، خط جوش‌ها و وضعیت عمومی آن در صورت دسترسی

۴. نمونه برداری از لجن یا رسوبات موجود روی سطح داخلی تجهیز برای آنالیز در آزمایشگاه

۵. نظارت بر فرآیند اسید شویی یا لایروبی و... (در صورت نیاز تجهیز به اسیدشویی)

۶. بازرسی چشمی (VT) از پوشش داخلی تجهیز، خط جوش‌ها و وضعیت عمومی

۷. انجام کنترل خوردگی روی سطوح بیرونی و به خصوص سطوح داخلی که مستقیماً با سیال فرآیندی در تماس هستند.

۸. انجام تست‌های غیر مخرب پیشرفته (NDT) شامل تست ذرات مغناطیسی (MT)، تست مایع نافذ (PT) و ضخامت‌سنجی بر حسب نیاز

۹. بررسی سیستم ارتینگ تجهیز و اندازه‌گیری مقاومت آن

۱۰. صدور دستور العمل تعمیراتی جوشکاری، اعمال پوشش (چه داخلی، چه خارجی)، یا تعویض قطعات در صورت نیاز

۱۱. نظارت بر انجام تست فشار به صورت هیدرواستاتیک

■ ۳-۱-۲ اقدامات اولیه و امکانات مورد نیاز:

یک دیگ گرمایش باید قبل از ورود بازرس مجاز، برای بازرسی آماده شود. بازرس مجاز معمولاً حدود زمان ورود خود را، به ویژه برای بازرسی داخلی تجهیز، به مالک یا نماینده وی اطلاع می‌دهد. در بازرسی‌های خارجی مالک قانوناً باید کلیه امکانات لازم برای بازرسی را مهیا کند، حتی اگر بازرس زمان حضور خود را به مالک اطلاع نداده باشد.

برای انجام بازرسی ادواری مراحل زیر انجام می‌شوند.

۱. بازکردن دیگ

دیگ باید به آرامی و به‌طور طبیعی سرد شود. هر قسمت از دیگ که قابل دسترسی است، باید برای بازرسی داخلی و خارجی باز شود.

۲. آماده‌سازی دیگ

دیگ باید برای بازرسی داخلی به روش زیر آماده شود:

- آب را تخلیه کرده و دیگ کاملاً شسته شود.
- کلیه دریچه‌های آدم رو و دست رو برداشته شود، درپوش‌ها و اتصالات ستون آب شسته شوند. کوره و محفظه احتراق کاملاً تمیز شوند.
- آتشدان‌های دیگ درون سوز در آورده شود.
- آجرها در آورده شوند به نحوی که بازرس مجاز بتواند شرایط کوره، پایه‌ها و سایر قطعات را بررسی کند.
- هرگونه نشتی بخار یا آب گرم به درون دیگ را با قطع لوله یا شیر برطرف شود.

۳. آماده‌سازی در بخش مکانیکی

- در ابتدا باید تجهیز، به‌طور کامل تخلیه شود.
- سپس بعد از اخذ مجوزهای لازم، تجهیز به‌طور کامل بسته شده و با استفاده از فن، مورد تهویه کامل قرار گیرد تا از خطرات بعدی حین کار جلوگیری به عمل آید.
- بعد از نمونه برداری از لجن‌های کف تجهیز یا رسوب احتمالی توسط تیم بازرسی، تیم پیمانکار مشغول به‌کار شده و تا جایی که با تجهیزات ساده امکان‌پذیر است، لجن‌ها (در صورت وجود) تخلیه شده و کار را برای انجام فرآیندهای بعدی مانند اسید شویی و یا هرنوع فرآیند مورد نیاز دیگری مهیا نمایند.
- کلیه شیرهای متصل به تجهیز مورد بررسی و سرویس قرار گیرند و برای کالیبراسیون و تایید عملکرد به تایید آزمایشگاه مربوطه برسد.
- در صورت وجود عیوب درون مخزن، از جمله کاهش بیش از اندازه ضخامت وجود انواع عیوب خوردگی یا جوش که نیاز به تعمیرات یا جوشکاری باشد، باید روش انجام این فرآیندها به تایید مرجع بازرسی رسیده و تمام مراحل اجرا تحت نظارت انجام شوند.
- در صورت وجود پوشش خارجی و از بین رفتن آن و نیاز به اعمال مجدد، آمادگی سطح مورد نیاز به وسیله شن‌زنی (sand blast) ایجاد شده و روی مراحل اعمال پوشش، نظارت کافی صورت گیرد.

۴. ضخامت‌سنجی از قطعات تحت فشار

تجهیزات مورد نیاز برای آماده‌سازی دیگ برای بازرسی ادواری که باید شرکت درخواست‌کننده فراهم نماید به شرح زیر است:

- واشر گرافیتی متناسب با سایز دریچه‌های روی دیگ.
- ورق نسوز کلینگریت به ابعاد لازم برای استفاده در زیر فلنج‌های مسدود شونده.
- فلنج کور کن متناسب با سایز انشعابات روی دیگ.
- واشر نسوز برای جعبه دودها.
- فشارسنج کالیبره شده برای تست هیدرو استاتیک.

- پمپ برای وارد کردن فشار تست هیدرو استاتیک.

همچنین لازم است برای انجام هرچه بهتر فرآیند بازرسی، اقدامات زیر قبل از حضور بازرس در محل پروژه انجام شود:

- باز کردن درب جعبه دودهای عقب و جلو دیگ برای ضخامت‌سنجی.
- باز کردن دریچه‌های بازدید دیگ‌های بخار برای بازبینی داخلی دیگ‌ها و بررسی مقدار رسوب احتمالی.
- باز کردن شیرآلاتی که تحمل فشار تست هیدرواستاتیک رو ندارند مانند شیرهای اطمینان و مسدود کردن فلنج خروجی آن‌ها.
- بازکردن حداقل دو نقطه از روکش روی پوسته اصلی هر دیگ بخار به ابعاد ۵۰ ×۵۰ میلی‌متر برای ضخامت‌سنجی پوسته اصلی دیگ‌های بخار.
- بستن شیرآلات باز شده و بستن دریچه‌های بازدید و درب‌های جعبه دود عقب و جلو برای انجام تست آب‌رسانی.
- در صورت نداشتن رسوب، آبگیری دیگ‌های بخار و انجام تست هیدرواستاتیک.
- وجود یک اپراتور مسلط برای خارج کردن پرشر سوییچ‌ها از مدار تا دیگ‌ها به فشار باز شدن شیرهای اطمینان رسیده و عملکرد شیراطمینان بررسی گردد.

در صورتی که مولدها دارای رسوب بیش از حد استاندارد باشند، لازم است عملیات اسید شویی یا رسوب‌زدایی انجام گردد. تمامی تست‌ها و تاییدها بعد از عملیات اسید شویی باید انجام شوند.

۵. رسوب‌زدایی دیگ‌های بخار:

چنانچه به هرعلتی، دیگ بخار و داخل لوله‌ها رسوب بگیرند، باید آنها را به کمک وسایل مکانیکی و یا مواد شیمیایی رسوب‌زدایی نمود. به‌طور معمول مواد شیمیایی که برای این منظور به‌کار می‌روند، پایه اسیدی دارند. برای جلوگیری از اثرات نامطلوب اسید بر روی فلز به آنها موادی به نام باز دارنده (inhibitor) می‌افزایند. این ترکیب تحت عنوان رسوب زدا (دیسکلر) در بازار عرضه می‌شود.

اسید به‌کار رفته در این مواد، بسته به جنس و حساسیت دستگاه‌ها ممکن است، معدنی، آلی و یا ترکیبی از هر دو باشد.

برای رسوب‌زدایی محلول ۵ تا ۸ درصد رسوب زدا به کمک پمپ سیرکولاسیون از قسمت فوقانی وارد دیگ بخار می‌شود و از لوله تخلیه در قسمت تحتانی مواد خارج و به تانک سیر کولاسیون بر می‌گردد. شیر خروجی هوای دیگ، برای خروج گازها باز می‌باشد. شستشو تا ثابت ماندن غلظت اسید ادامه می‌یابد. غلظت اسید با استفاده از محلول سود نرمال کنترل می‌شود.

میزان مصرف اسید، بستگی به حجم دیگ بخار و مقدار رسوب دارد که می‌توان مقدار آن را با تعیین ضخامت رسوب وزن مخصوص رسوب و سطح لوله‌ها تخمین زد.

در صورتی که رسوب سولفاتی و سیلیسی در دیگ وجود داشته باشد، به همراه رسوب زدا از آمونیوم بای

فلوراید استفاده می‌شود. باید توجه داشت از مخلوط اسید و این ماده، اسید فلوئوریدریک تولید می‌گردد که گازی سمی و خطرناک است و بنابراین باید نکات لازم در این خصوص رعایت گردد.

عملیات رسوب‌زدایی باید در دمایی پایین‌تر از ۶۰ درجه سانتی‌گراد انجام گیرد، زیرا در دمای بالاتر از ۶۰ درجه سانتی‌گراد، ماده محافظ تجزیه شده و خاصیت خود را از دست می‌دهد.

پس از خاتمه رسوب‌زدایی و شستشو با آب، برای خنثی کردن باقیمانده اسید، دیگ را با یک محلول ۵٪ خنثی‌کننده (که ماده‌ای قلیایی می‌باشد) پر می‌کنند. این محلول تا دمای جوش گرم می‌شود، سپس دیگ تخلیه و دوباره با آب گرم شستشو می‌شود.

نباید دیگ را پس از رسوب‌زدایی خالی و بدون آب نگهداری کرد. اگر دیگ بخار پس از شستشو وارد خط تولید نمی‌شود، با انتخاب یکی از روش‌های نگهداری، باید دیگ بخار را در برابر عوامل محیطی محافظت نمود.

اگر دیگ پس از عملیات رسوب‌زدایی وارد خط تولید می‌شود، بهتر است مصرف ماده رسوب زدای تهیه شده برای دیگ را به حدود یک سوم کاهش دهید.

■ ۳-۱-۳ ابزارهای بازرسی

هر بازرس مجاز از ابزارهای مختلفی برای بازرسی دیگ‌های در حال کار استفاده می‌کند. این ابزارها مشابه یکدیگر هستند. بعضی از این ابزارها، مانند چکش و چراغ قوه، ماهیت ابتدایی دارند. از دستگاه‌های الکترونیکی جدید، مانند نشان‌دهنده صوتی ضخامت و روزنه بین نیز برای بازرسی استفاده می‌شود. ابزارهای بازرسی یک بازرس را می‌توان به دو گروه ابزارهای مکانیکی و ابزارهای الکترونیکی تقسیم کرد.

ابزارهای مکانیکی بیشتر برای بازرسی چشمی به‌کار می‌روند. ابزارهای الکترونیکی برای بررسی غیر ساختاری و یافتن معایبی که با چشم مشخص نمی‌شود به‌کار می‌روند. در شکل۱-۳ و ۲-۳ ابزارهای بازرسی نشان داده شده است.

شکل۱-۳. آینه بازرسی

شکل ۲-۳. دستگاه ضخامت سنج آلتراسونیک

توجه گردد که ولتاژ چراغ‌های الکتریکی یا ابزارهای برقی دستی که برای بازرسی مولد بخار به‌کار برده می‌شود نباید از ۴۲ ولت تجاوز کند.

۲-۳ بازرسی ظاهری

ابتدایی‌ترین و اولین بازرسی ظروف تحت فشار، بازرسی‌های ظاهری ظروف می‌باشد که شامل بخش‌های زیر می‌باشند.

۱- وضعیت ظاهری

- وضعیت ظاهری دیگ لازم است که از نظر عایق کاری پشم سنگ و نسوز کاری داخل کوره احتراق، مورد ارزیابی قرار گیرد.
- متعلقات مخزن باید کنترل شوند و از لحاظ وضعیت ظاهری و نواقص، ارزیابی و مشخص شوند (دستورالعمل‌های آزمایش‌های ادواری برای متعلقات جانبی ظروف تحت فشار با جزئیات در فصل ۴ عنوان گردیده است).
- شیر اطمینان باید با حجم و فشار طراحی دیگ مطابقت داشته باشد. کلیه دیگ‌های تحت فشار با ظرفیت بیش از ۲۳۵۰ کیلووات بر ساعت نیاز به دو شیر اطمینان دارند.

۲- بازرسی داخل دیگ

- برای اینکه قضاوت درستی از وضعیت داخل دیگ داشته باشیم، باید داخل آن بازدید شود.

- برای تعیین وضعیت نقاطی از دیگ که دسترسی به آنها آسان نمی‌باشد، لازم است از آینه‌های بازرسی استفاده نمود.
- اهم مواردی که باید داخل دیگ کنترل نمود شامل جوش‌های کوره و محفظه برگشتی است. توجه شود تا حد امکان جوش‌های طولی و عرضی پیوسته باشد.
- علاوه بر موارد فوق مقدار رسوب و حد الامکان نوع آن نیز باید مشخص و تعیین شود.

در اینجا لازم به یادآوری است که معیار پذیرش حد مجاز رسوب به‌طوری که آن را بتوان به تمام نقاط داخل دیگ تعمیم داد، ۲ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود. شایان ذکر است که در محل آب ورودی دیگ معمولاً در پاس سوم، روی این قسمت رسوب بیشتری جمع می‌شود، بنابراین حد متوسط مجاز ۲ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود.

- از دیگر مسایل مهم که باید مورد توجه قرار گیرد، خوردگی و نوع آن است که تعیینش کمک موثری به بهبود وضع آب تصفیه و تغذیه به دیگ دارد. نوع رسوب غالباً از نوع کربنات و رس می‌باشند. از طرفی در برخی اوقات رسوب سیلیس که بسیار سخت و درخشنده است، نیز دیده می‌شود.

خوردگی و نوع آن شامل خوردگی سطحی، خوردگی در اثر تنش حرارتی، خوردگی اکسیژنی و گازهای موجود در آب است که ممکن است در بازدیدها مشاهده شود. هرنوع از این‌گونه خوردگی‌ها حاصل کمبودهایی در طراحی، انتخاب مواد و آب تغذیه به دیگ می‌باشند.

۳- بازرسی کوره و آتشدان:

بازدید و بازرسی کوره و آتشدان یا شبکه جلو و عقب (صفحات راپر) اهمیت بسیاری دارد و این عمل به دو دلیل اساسی انجام می‌شود. یک نشتی‌های ناشی از سر لوله‌های پاس دوم به دلیل آنکه در محفظه برگشتی حرارت شعله زیاد است و غالباً این نقاط در اثر شعله و حرارت زیاد می‌سوزند و سرلوله‌ها نشتی پیدا می‌کنند. دوم مقدار دوده که تنظیم بودن مشعل را نشان می‌دهد.

به‌طور کلی شعله مشعل باید قبل از شبکه جلو محفظه برگشتی (راپر عقب) و در داخل کوره، اصطلاحاً بسته شود (منظور از بسته شدن، تنظیم طول شعله می‌باشد).

زمانی که از نازل‌های طول بلند استفاده می‌شود، چنانچه طول کوره مناسب نباشد، حرارت زیادی در محفظه ایجاد می‌شود و باعث تنش حرارتی بیش از حد مجاز در ورودی به لوله‌های پاس دوم می‌شود که در دراز مدت باعث ایجاد ترک‌های مویی در شبکه و سوختن سرلوله‌های ابتدای پاس دو خواهد شد. از طرفی حرارت اگزوز هم بیش از حد معمول خواهد بود. بنابراین کنترل این وضعیت الزامی است و باید گزارش شود.

- **اقدامات بازرس**، برای بازرسی ظاهری دیگ به شرح زیر انجام می‌شوند.
- **عایق بندی و پوشش:** در صورتی که بازرس مجاز، مشکوک به خرابی باشد، بخشی از مواد عایق بندی را با سنگ کاری از قطعات ثابت باز کند. در صورتی که شواهدی از نشتی زیر پوشش وجود دارد، پوشش باید کامل برداشته شود.
- **مشاهده از نزدیک:** بازرس مجاز باید قطعات دیگ را از نزدیک‌ترین فاصله ممکن بازرسی کند. برای

کسب بهترین نتیجه از بازرسی سطوح معیوب، باید نور مصنوعی مناسب تأمین شود.

- **تایید آزمون ها:** بازرس مجاز باید آزمون وسایل، کنترل‌گرها و موارد مشابه‌ای را که توسط مهندس یا متصدی دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند، بررسی و تایید نمایند.
- **رسوب، روغن و غیره:** هرگونه مشاهده روغن باید به اطلاع بازرس مجاز برسد، زیرا وجود روغن در دیگ خطرناک است. روغن و رسوب روی سطوح گرمایش مانند عایق عمل می‌نمایند و باعث گرم شدن بیش از اندازه قطعات فشار، ضعیف شدن و خرابی آنها می‌شوند.
- **خوردگی و شیارشدگی:** خوردگی ممکن است در راستا یا مجاور درزها و سایر نقاط روی دهد که باعث کاهش استحکام قطعات فشار می‌شود. هنگامی که مواد تحت تنش قرار می‌گیرند، شیارهایی در راستای درزها ایجاد می‌شوند. بازرسی باید تمامی معایب ناشی از خوردگی و شیار را آشکار نماید.
- **میل مهار:** کلیه میل‌های مهار باید از لحاظ کشش مناسب بازرسی شوند. سر بسته میل‌های مهار باید از نظر ترک خوردگی بررسی شوند.

سوراخ‌های آدم رو و غیره: کلیه سوراخ‌های آدم رو، دست رو و مشابه آن باید از نظر ترک خوردگی یا تغییر شکل بررسی شوند. مشاهده باید از دو طرف داخل و خارج دیگ انجام شود تا مطمئن شد که هیچ عیبی وجود ندارد.

- **سطوح آتش:** سطوح در تماس با آتش باید از نظر برآمدگی بازرسی شوند. اگر یک قطعه تحت فشار تغییر شکلی به صورت برآمدگی داشته باشد، عملیات دیگ باید متوقف شود و قطعه معیوب تعمیر گردد. درزهای جوشکاری شده و سر لوله‌ها باید از نظر نشتی بازدید شوند.
- **درزهای هم پوشان:** صفحات هم پوشان ممکن است از درزهای طولی یا مستقیم ترک بخورند. اگر نشانی از نشتی در درزهای هم پوشان مشاهده شود، باید آن درز از نظر ترک خوردگی بازدید شود.
- **پیچ مهار:** پیچ‌های مهار باید با ضربه زدن با چکش به یک سر پیچ و با یک چکش یا ابزار سنگین دیگر به سر دیگر آن، آزمایش شوند.
- **خرابی لوله:** لوله‌ها باید از نظر معایب سطحی مثل برآمدگی، برخورد شعله، خوردگی بخار، ترک و معایب جوش کاری بازدید شوند. نباید ضخامت لوله در سرتاسر طول آن کاهش یافته باشد.
- **صفحه لوله گیر:** فضای بین سوراخ‌های جای لوله در صفحه لوله گیر دیگ‌های لوله دودی و در پوسته دیگ‌های لوله آبی باید از نظر ترک خوردگی بازدید شوند.
- **اتصالات لوله و متعلقات:** همه لوله‌ها، اتصالات و متعلقات باید از نظر نشتی، ترک یا معایب دیگ بازدید شوند. آرایش لوله کشی از نظر انبساط، انقباض و تکیه گاه باید بررسی شود. تغییر وضعیت دیگ می‌تواند باعث کرنش ناخواسته در لوله کشی شود. باید به لوله‌های تخلیه و اتصالات آن از نظر انقباض و انبساط ناشی از ضربه آب توجه شود.
- **ستون آب:** متعلقات ستون آب باید از نظر کارکرد آزمایش شوند. عمل آب در آب‌نمای شیشه‌ای ثابت می‌کند که اتصالات ستون آب و آب‌نمای دیگ آزادند. ستون آب و آب‌نمای شیشه‌ای باید تخلیه شوند تا معلوم

شود که لوله کشی تخلیه جدا از ستون آب و آب‌نما است. آب‌نما باید از نظر تمیزی بازدید شود.

- **قطع کننده کم آبی و آب رسان:** همه دیگ‌های بخار خودکار باید مجهز به قطع کننده کم آبی یا دستگاه آب رسان باشند. این دستگاه باید تخلیه سوخت یا تغذیه آب را هنگامی که سطح آب دیگ از پایین‌ترین خط سطح آب امن پایین‌تر بیاید قطع کند، که این سطح نباید از حد پایین آب‌نمای شیشه‌ای پایین‌تر باشد تا قابل رویت باشد.
- **موج گیر:** موج گیرهای دیگ‌های لوله آبی باید از نظر موقعیت و وضعیت بازدید شوند. نبود یا شکستگی موج گیر باعث افزایش دما در بعضی از قسمت‌های دیگ می‌شود که ممکن است باعث ایجاد شرایط خطرناک شود. همچنین شکستگی موج گیر باعث برخورد شعله به قطعاتی از دیگ شده و گرمای آن قسمت افزایش می‌یابد.
- **تمرکز گرما:** یک مشعل یا سوخت رسان معیوب می‌تواند باعث تمرکز دما در یک بخش خاص از دیگ شود. در واقع تمرکز گرما به قدری خطرناک است که دیگ باید خاموش شود تا بتوان آن را اصلاح کرد (امتداد شعله باید در محور کوره باشد).
- **دیگ خارج از مدار:** اگر یک دیگ از دیگ‌های سری، از مدار خارج شود، باید به حمایل‌ها و تنظیمات دقت کرد تا بر اثر انبساط قطعات در شرایط عملیاتی، سایر دیگ‌ها دچار کرنش اضافی سازه نشود.
- **شیر ایمنی:** شیرهای ایمنی باید از نظر نشتی، زنگ زدگی، رسوب، یا سایر مواد خارجی بازدید شوند. به‌طور مشابه، فشار روزنه باید با بالا بردن فشار بخار در نقطه روزنه، آزمایش شود. همچنین، شیر باید با بازکردن اهرم آزمایش شود. لوله تخلیه بر اساس مقتضیات آیین‌نامه باید دارای تخلیه آزاد باشد و بنابراین، استفاده از شیر قطع بین دیگ بخار و شیر ایمنی آن مجاز نیست.
- **گیج بخار:** درجه بخار روی دیگ باید تحت فشار عملیاتی آزمایش شود. یک سیفون یا تله باید بین درجه بخار و دیگ نصب شود.
- **تعمیر ناقص:** بازرس مجاز مسئول تایید تعمیر دیگ مطابق آیین‌نامه است. تعمیر ناقص قابل قبول نیست.
- **آزمون هیدروستاتیک:** بازرس مجاز تصمیم می‌گیرد که طبق بازرسی ظاهری دیگ و شواهد، آیا یک آزمون هیدروستاتیک برای تعیین وسعت آسیب لازم است یا خیر. هر آزمون هیدروستاتیک نباید از ۱.۹ برابر حداکثر فشار کاری مجاز بیشتر شود. طی آزمایش، دمای آب باید حداقل ۲۱°C (۷۰°F) و حداکثر ۷۱°C (۱۶۰°F) باشد. شیر ایمنی و سایر کنترلرهایی که نمی‌توانند در این آزمون مقاومت کنند، باید جدا شوند.
- **تست گرم:** در این تست صرفاً با خاموش و روشن کردن مشعل عملکرد صحیح آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است حتماً شعله کوتاه و بلند مشعل باید به رؤیت برسد و در هنگام تبدیل شعله از کوتاه به بلند نباید هیچ‌گونه ضربه یا دود در سیستم ایجاد شود.
- **توصیه:** بازرس مجاز، طی بازرسی باید همه شرایط را بررسی کند و هیچ حکمی را از سایر افراد نپذیرد. همچنین، او باید شرایط اتاق دیگ و دستگاه‌های آن را بازدید کند و توصیه‌هایی برای مراقب از ظرف تحت فشار ارائه دهد.

۳-۳ نحوه‌ی انجام تست ضخامت‌سنجی

به‌منظور تعیین حداکثر فشار بهره برداری مجاز برای دیگ‌های گرمایشی و ظروف تحت فشار که در تست هیدرواستاتیک به آن نیاز است، باید ضخامت‌سنجی با دستگاه ضخامت سنج اولتراسونیک، برای بررسی میزان خوردگی ورق‌های دیگ یا مخزن از نقاط حساس آنها شامل:

- پوسته یا بدنه Shell
- شبکه‌های جلو، عقب و میانی Tube sheet
- لوله‌های دودی Fire tubes
- پاس برگردان (Baffle) در دیگ‌های لوله دودی
- درام‌های بالا و پایین
- لوله‌های آب در دیگ‌های لوله آبی
- بدنه و عدسی‌های فوقانی و تحتانی در سایر مخازن تحت فشار، شامل مخازن هوای فشرده، مخازن اکسیژن، مخازن آمونیاکی

با استفاده از رابطه زیر حداکثر فشار مجاز کاری تعیین می‌گردد:

$$MAWP = (TS) \times T_{min}/5 \times R$$

MAWP: حداکثر فشار بهره برداری مجاز (psi)

TS: حداقل مقاومت کششی ورق پوسته یا درام دیگ (psi)

(در مواردی که مقاومت کششی ورق پوسته یا درام دیگ معلوم نباشد، مقدار (psi) ۵۵۰۰۰ برای فولاد در نظر گرفته می‌شود)

Tmin: حداقل ضخامت بدنه (in)

R: شعاع داخلی دیگ یا مخزن (in)

عدد ۵ ضریب اطمینان است.

بدین منظور برای ضخامت‌سنجی از بدنه، کوره و شبکه‌ها، ابتدا نقاط مورد نظر با فرچه سیمی یا سمباده نرم، دوده زدایی شده و سپس با دستگاه ضخامت سنج نقاط مورد نظر اندازه‌گیری می‌شوند. با اعمال حداقل ضخامت بدست آمده در رابطه فوق، حداکثر فشار کاری مجاز دیگ معین می‌شود. همچنین به‌منظور بررسی آتی از روند عملکرد دیگ، حداقل ضخامت‌های بدست آمده به تفکیک در گزارش و یا گواهی ایمنی دیگ بخار و یا گواهی سلامت مخازن تحت فشار ذکر می‌گردد. این آزمون به روش آلتراسونیک انجام می‌گیرد.

این آزمون به دو دلیل اصلی انجام می‌شود که عبارتند از:

۱- بررسی کاهش ضخامت ورق‌های خورده شده در دیگ که تحت فشار قرار دارند.

۲- بررسی مقاومت مصالح نقاط حساس دیگ از جمله سطح کوره، شبکه‌های جلو، عقب و محفظه برگشتی در برابر فشار کاری و فشار طراحی (طبق رابطه ارائه شده در بالا برای حداکثر فشار مجاز کاری)

با توجه به سطح کیفیت تعمیر، نگهداری در ظروف تحت فشار و همچنین آب تغذیه به دیگ‌های بخار وآب گرم، دوره بازرسی‌ها را یک ساله در نظر می‌گیرند.

۴-۳ نحوه‌ی انجام تست هیدرواستاتیک

برای بازرسی و انجام تست هیدروستاتیک دیگ‌های گرمایش و ظروف تحت فشار، مالک و یا بهره بردار موظف است در موعد تعیین شده دستگاه را تخلیه، سرد، باز، شستشو و آماده نماید. در مورد دیگ‌های بخار با مشعل داخلی لازم است برای تسهیل در عمل بازرسی، قطعات شبکه و همچنین مقداری از آجرهای نسوز دور دهانه و یا عایق‌های حرارتی روی پوسته و قطعات دیگری از جمله قسمتی از بدنه که مزاحم بازرسی مورد نظر است، برداشته شود.

آماده‌سازی دیگ بخار برای آزمایش هیدروستاتیک آب سرد و ضخامت‌سنجی شبکه به شرح زیر است:

۱- فلکه‌های خروجی بخار بوسیله درپوش و فلنج مسدودکننده و با واشر لاستیکی (گسکت مناسب) مسدود شوند.

۲- شیرهای اطمینان دیگ بخار از مدار خارج و توسط واشر لاستیکی (گسکت مناسب) و درپوش و یا فلنج مسدود شوند.

۳- کلیه شیرهای تخلیه آب توسط واشر لاستیکی (گسکت مناسب) و درپوش و یا فلنج مسدود شوند.

۴- کلیه شیرهای آب‌نما از مدار خارج و توسط واشر لاستیکی (گسکت مناسب) و درپوش و یا فلنج مسدود شوند.

۵- سایر ورودی‌ها و خروجی‌های دیگ بخار به غیر از ورودی پمپ تغذیه آب و فشارسنج از مدار خارج و توسط واشر لاستیکی (گسکت مناسب) و درپوش و یا فلنج مسدود شوند.

۶- درهای جلو و عقب دیگ بخار و کوره باز شده و دوده زدایی از شبکه‌ها و لوله‌ها انجام شود.

۷- پمپ تغذیه دیگ باید قابلیت تأمین ۱.۵ برابر حداکثر فشار کاری دیگ را دارا باشد و در غیر این‌صورت باید از پمپ تغذیه کمکی استفاده نمود.

۸- پس از مسدود نمودن کلیه ورودی‌ها و خروجی‌های دیگ بخار به استثنای فشارسنج و پمپ تغذیه آب، دیگ را با آب سرد پر نموده و وضعیت آب بندی دیگ در مدت زمان معین شده بررسی شود. دمای آب در طول آزمایش هیدروستاتیک باید هم دمای محیط باشد و این مقدار نباید از ۷ درجه سانتی‌گراد کمتر باشد.

۹- از نقطه نظر ایمنی باید دیگ بخار به صورت مناسبی از هوا تخلیه گردد تا از تشکیل حباب‌های هوا قبل از اجرای آزمایش فشار جلوگیری شود، لذا شیر هواگیری بالای دیگ برای این منظور در حین آماده‌سازی و پرکردن دیگ استفاده می‌گردد.

۱۰- آزمایش را با فشار ۱.۵ برابر حداکثر فشار بهره برداری مجاز (Maximum allowable working pressure (MAWP)) محاسبه شده از تست ضخامت‌سنجی انجام داده و بعد از اتمام حداقل ۳۰ دقیقه توصیه می‌شود که قبل از نزدیک شدن به دیگ بخار برای بازرسی از نزدیک، فشار به حداقل ۱.۱ فشار طراحی و ۰.۹ فشار آزمایش هیدروستاتیک کاهش داده شود. توجه شود که افزایش و یا کاهش فشار دیگ باید به صورت تدریجی انجام شود (فشار آزمایش نباید از ۱.۵ برابر حداکثر فشار موثر مجاز مولد (±٪۶) تجاوز نماید).

۱۱- پس از آزمایش آب سرد، باید مجدداً شیرهای اطمینان را نصب و دستگاه با فشار عادی مربوطه برای مطمئن شدن از صحت کار شیر یا شیرهای اطمینان آزمایش شود.

۱۲- چنان‌چه در اثر بازرسی معلوم شود که به‌کار انداختن مجدد دستگاه ایمن نمی‌باشد و یا آن که دستگاه مجهز به متعلقات حفاظتی کامل نبوده و یا این که لوازم به شکل صحیح تنظیم و ترتیب داده نشده‌اند، تا زمانی که نقایص مزبور مرتفع نشوند، به‌کار انداختن دستگاه ممنوع خواهد بود.

۱۳- در صورتی که در ضمن بازرسی، معایب و فرسودگی‌هایی مشاهده شود که احتمال انفجار دستگاه وجود داشته باشد، لازم است فشار مجاز دستگاه به حد کافی تقلیل داده شود تا از خطر احتماً لی جلوگیری شود و این تقلیل فشار باید با رعایت مدت کارکرد و میزان فرسودگی دستگاه تعیین شود.

۱۴- مدت زمان تست هیدراستاتیک حداقل نیم ساعت و حداکثر یک ساعت می‌باشد. (مطابق با دستورالعمل تست)

۱۵- پس از پایان زمان آزمون نباید هیچ‌گونه نشتی وتغییر حالتی بوجود آید.

توجه شود که برای محاسبه فشار کاری باید قبل از آزمایش هیدروستاتیک، ضخامت‌سنجی پوسته و شبکه‌ها انجام شده باشد.

توجه شود که برای محاسبه فشار کاری باید قبل از آزمایش هیدروستاتیک، ضخامت‌سنجی پوسته و شبکه‌ها انجام شده باشد.

برای انجام تست هیدرواستاتیک باید مراحل زیر انجام شوند:

- تأمین فشارسنج‌های مورد نیاز و کنترل نمودن مدارک کالیبراسیون آن‌ها
- در هیچ شرایطی نباید محدوده فشارسنج‌ها از ۱.۱ برابر فشار تست کمتر و از ۴ برابر فشار تست بیشتر باشد.
- تعبیه Drain و Vent در بالاترین و در پایین‌ترین نقطه مخزن برای خارج نمودن هوا قبل از تست و تخلیه مخزن پس از اجرای تست
- به‌منظور جلوگیری از افزایش فشار غیرمجاز بر روی مخزن لازم است شیر اطمینانی تعبیه شود تا در صورت تجاوز فشار از ۱.۱ برابر فشار تست، عمل نماید.
- قبل از اعمال فشار باید تمامی قطعات بر روی مخزن بررسی و کنترل شوند.
- فشار ناشی از تست هیدرواستاتیک حداکثر برابر با ۱/۹ برابر فشار کاری مجاز است.
- درصورتی که دمای در هنگام طراحی تجهیز کمتر از دمای زمان تست هیدروستاتیک باشد، باید برای تعیین فشار تست از فرمول زیر استفاده نمود:

$$\text{فشار هیدرواستاتیک} = ۱/۹ \times \text{فشار طراحی} \qquad (۲-۳)$$

- تأیید این تست منوط به عدم مشاهده نشتی و افت فشار می‌باشد.
- تا زمانی که بتوان بازرسی کاملی از مخزن انجام داد، باید حداکثر فشار تست برقرار باشد، مگر آنکه کارفرما

یا طراح مدت زمان معینی را تعیین کرده باشد.

- تغییرات فشار روی فشارسنج تا رسیدن به فشار تست و کاهش آن در انتهای تست باید در حضور بازرس انجام شود.
- کاهش فشار در انتهای تست باید با نرخ کندی صورت گیرد تا از اعوجاج احتمالی مخزن جلوگیری شود.
- حداقل دمای طراحی فلز که مخزن با آن ساخته شده است، باید $17^{\circ}C$ بالاتر از درجه حرارت مخزن در هنگام تست باشد تا احتمال شکست ترد کاهش یابد.
- در برخی مواقع می‌توان از تست هوا (Pneumatic Test) به جای تست هیدرواستاتیک استفاده نمود، این موارد عبارتند از:
- مخزن طوری طراحی یا محافظت شده که نتوان آن را توسط آب پر نمود.
- نتوان به آسانی آن را خشک و رطوبت‌گیری نمود.
- مخازنی که در کاربردهای فرآیندی خاص استفاده می‌شوند و در آن‌ها به هیچ وجه نمی‌توان آب وارد کرد.

حداکثر فشار اعمالی در تست هوا، ۱.۱ برابر فشار طراحی می‌باشد.

برحسب درخواست کارفرما می‌توان مخزن را تحت آزمون پد (Pad Test) و تست هوا قرارداد. آزمون پد یا لایه تقویتی بدین شرح است که یک تکه ورق تقویتی بیضی یا دایره‌ای شکل که در وسط آن سوراخی به قطر لوله دودی ایجاد می‌نمایند، بر روی بدنه جوش می‌شود. در این صورت لازم است قبل از مونتاژ و جوشکاری روی پد تقویتی، سوراخ کاری و قلاویز آن انجام شود. به‌طور کلی تمامی لوله‌ها، داخل سوراخ‌های ایجاد شده در پوسته بدنه اصلی، والس یا جوش داده می‌شوند. ورق سوراخ شده را باید روی لوله قرار داد و چون قطر سوراخ ایجاد شده روی ورق دایره‌ای، برابر یا بیشتر از قطر خارجی لوله نصب شده است، لوله نصب شده از داخل سوراخ ورق رد شده و ورق کاملاً به سطح بدنه مولد بخار می‌چسبد.

این آزمون پس از اتمام ساخت مخازن انجام می‌شود، به این صورت که پس از تکمیل جوشکاری‌ها با استفاده از پد هوا، از محل سوراخ‌های باقی مانده بر روی سطح مخزن مطلع می‌شویم. یک شیر کنترلی فشار هوا $15\ kg/cm^2$ وارد آن شود و منبع تولید فشار باید قادر به تولید هوا با فشار $15\ kg/cm^2$ و مجهز به یک شیر اطمینان برای تخلیه فشار اضافی از منبع باشد. وقتی هوای منبع به فشار مذکور رسید شیر بسته می‌شود و سیستم به حالت متراکم می‌ماند و فشار را تا پایان بازرسی ثابت نگه می‌دارد و پس از آن محلول آب و صابون بر روی محل درز جوش‌ها و اطراف فلانچ‌ها زده می‌شود تا محل‌هایی که احتمالاً سوراخ یا حفره‌ای وجود دارد مشخص شود.

در این مرحله و قبل از جوش دادن ورق دایره‌ای یا بیضی شکل، یک سوراخ کوچک به قطر ۲ تا ۴ میلی‌متر در قسمتی از آن ایجاد کرده و سپس جوشکاری ورق انجام می‌شود. مزیت این سوراخ آن هست که اولاً تمام تنش‌های پسماند حین جوشکاری از داخل این سوراخ خارج شده و دوم اینکه اگر نشتی ایجاد شود، از محل اتصال لوله در حین تست خارج شده و مشاهده گردد. از آن سوراخ، هوا را با فشار معینی وارد فضای

بسیار کم بین ورق دایره‌ای و ورق پوسته اصلی کرده و در عمل مثل تست هیدرو یا پنوماتیک مشخص می‌شود که نشتی وجود دارد و همین طور اگر ترکی در اتصال لوله به پوسته وجود داشته باشد، قطعاً هوای تزریق شده، به داخل مولد نفوذ کرده و ترک یا نشتی زیر ورق دایره‌ای، در نقطه اتصال لوله به پوسته را بیان می‌کند. در شکل ۳-۳ ورق تقویتی و مراحل تست پد هوا نشان داده شده است.

مدت زمان نگهداری مخزن در فشار بیشینه تست هوا و پد تست باید به اندازه‌ای باشد که فرصت لازم برای اعمال کف صابون روی خطوط جوش ورق‌های تقویتی، نازل‌ها و کلیه محل‌هایی که مشکوک به نشتی هستند، فراهم شود. فشار پد تست ۱.۱ برابر فشار طراحی می‌باشد، مگر آنکه کارفرما مقدار خاصی را معین کرده باشد.

در تمامی مراحل آزمون از ابتدای فشار وارده تا آخر زمان بازرسی آن نباید افت فشاری در فشار سنج‌ها بوجود آید. معمولاً دو عدد فشار سنج برای این تست‌ها استفاده می‌شود که باید یکی در پایین‌ترین نقطه و دیگری در بالاترین نقطه بسته شوند.

در حین بازرسی باید تمامی سرلوله‌ها و میل گردهای مقاوم و خط جوش‌های قابل رویت و دریچه‌های آدم رو و دست رو و همچنین وضعیت ظاهری قطعات تحت فشار مانند کوره و پوسته اصلی و محفظه برگشتی و شبکه‌ها را بررسی کرد.

شکل ۳-۳. ورق تقویتی و مراحل تست پد هوا

در صورت عدم وجود نشتی در موارد قید شده و نبود افت فشار و تغییر حالت در پوسته‌ها می‌توان تست را تایید و به صورت تدریجی فشار را به صفر نزدیک و تخلیه نهایی را انجام داد.

فرم گواهی ادامه بهره برداری دیگ‌های بخار باید شامل مطالب ارایه شده در گواهی راهنما باشد. مشاور

حفاظت فنی و خدمات ایمنی در زمان حضور در کارگاه برای آزمایش فنی ملزم به تنظیم صورتجلسه انجام تست با امضای خود و کارفرما یا نماینده وی می‌باشد.

در زیر نمونه گواهی آزمایش هیدرواستایک برای دیگ تایید شده نشان داده شده است.

گواهی آزمایش هیدرواستاتیک دیگ بخار و ظروف تحت فشار

کارخانه /شرکت /بیمارستان:

مشخصات لوح شناسایی دیگ

نام موسسه سازنده: شماره سریال:

سال ساخت: سال بهره برداری:

حداکثر فشار مجاز: فشار طراحی:

استاندارد ساخت: فشار آزمایش هیدرواستاتیکی:

ظرفیت دیگ: نوع سوخت:

مشخصات آزمایش

فشار کاری (بهره برداری:) فشار در زمان آزمایش:

فشار سوپاپ اطمینان: تاریخ آزمایش هیدرواستاتیک:

توضیحات: دیگ فوق بر اساس دستورالعمل قبلی و با حضور آقای... با سمت... با فشار... بار تحت آزمایش هیدرواستاتیک قرار گرفت و در مدت آزمایش و ضمن بررسی کوره، بدنه، شبکه‌های جلو و عقب دیگ، پاس دو و فایرتیوپ‌ها هیچگونه نشتی و یا تغییر شکل فیزیکی مشاهده نگردید. در ضخامت‌سنجی که بصورت تصادفی به عمل آمد ضخامت شبکه جلو... میلی‌متر، شبکه عقب... میلی‌متر، پاس دو... میلی‌متر، کوره... میلی‌متر و بدنه... میلی‌متر بدست آمد که با محاسبات انجام شده و لحاظ ضرایب اطمینان، دیگ فوق دارای مقاومت کافی برای فشار کاری... بار می‌باشد. در بررسی از متعلقات حفاظتی دیگ شامل آب‌نماها، پرشرسویچ‌ها، سوپاپ اطمینان، لول سنج سطوح آب صحت عملکرد آنها مورد تائید قرار گرفت. لذا با توجه به مراتب اشاره شده ادامه بهره برداری از مولد مذکور با فشار کاری... بار و تنظیم فشار سوپاپ اطمینان روی... بار از تاریخ... به مدت یکسال با رعایت کلیه مقررات حفاظتی و ایمنی در سرویس و نگهداری و انجام نظارت‌های فنی منظم بلامانع است. ضمناً بر اساس ماده ۹ آیین‌نامه حفاظتی دیگ‌های بخار و آبگرم، بازرسی فنی پس از هر نوع تعمیرات و تست هیدرواستاتیک در فواصل زمانی ۱۲ ماهه ضروری است.

نام و نام خانوادگی مشاور: مهر و امضا:

رونوشت: اداره کل تعاون، کار و رفاه اجتماعی استان...

مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار

فرآیندهای بعد از بازرسی

فرآیندهای بعد از بازرسی به شرح زیر می‌باشند:

- ثبت گزارشات توسط بازرس (جدول۱-۳)
- تایید گزارشات توسط مدیر فنی مربوطه
- صدور گواهینامه و مجوز بهره برداری

جدول ۱-۳. چک لیست بازرسی ادواری مولدهای بخار

شماره سریال دستگاه:	محل نصب:
شماره گزارش بازرسی:	تاریخ بازرسی:
شماره گواهینامه صادره:	تاریخ تهیه گزارش:
توضیحات	
نام وامضاء بازرس	امضاء مدیر بازرسی

مراحل بازرسی	موارد بازرسی	وضعیت		توضیحات
بازدید ظاهری	شاسی	وضعیت ظاهری	مناسب • نامناسب •	
	عایقکاری	وضعیت ظاهری	مناسب • نامناسب •	
	درب ها	وضعیت ظاهری	مناسب • نامناسب •	
وضعیت احتراق	کوره	دوده	مناسب • نامناسب •	
		تغییر شکل	دارد • ندارد •	
	محفظه برگشتی	دوده	مناسب • نامناسب •	
		تغییر شکل	دارد • ندارد •	
	لوله‌های پاس دو در محفظه برگشتی	دوده	مناسب • نامناسب •	
		سوختگی	دارد • ندارد •	
	سرلوله‌های پاس دو در شبکه جلو	دوده	مناسب • نامناسب •	
		سوختگی	دارد • ندارد •	
	سرلوله‌های پاس سه در شبکه جلو	دوده	مناسب • نامناسب •	
		سوختگی	دارد • ندارد •	
	انتهای لوله‌های پاس سه	دوده	مناسب • نامناسب •	
نام بازرس وامضاء			مدیر بازرسی وامضاء	

مراحل بازرسی	موارد بازرسی	وضعیت		توضیحات
قسمت آبگیر دیگ	لوله ها	خوردگی	دارد • ندارد •	
		رسوب	مناسب • نامناسب •	
	پوسته	خوردگی	دارد • ندارد •	
		رسوب	مناسب • نامناسب •	
		جوش ها	مناسب • نامناسب •	
	میل مقاوم (میل مهار)	ترک	دارد • ندارد •	
		خوردگی	دارد • ندارد •	
	روی محفظه برگشتی	خوردگی	دارد • ندارد •	
		رسوب	مناسب • نامناسب •	
	روی کوره	خوردگی	دارد • ندارد •	
		رسوب	مناسب • نامناسب •	
	صفحه مقاوم	رسوب	دارد • ندارد •	
		ترک	دارد • ندارد •	
قسمت آبگیر دیگ	بازدید اتصالات و متعلقات بویلر کنترل سطح آب	رسوب	دارد • ندارد •	
		شناور	مناسب • نامناسب •	
	آبنما	نشتی	دارد • ندارد •	
		حفاظ شیشه	دارد • ندارد •	
نام بازرس وامضاء			مدیر بازرسی وامضاء	

مراحل بازرسی	موارد بازرسی	وضعیت		توضیحات
قسمت آبگیر دیگ	سوپاپ اطمینان	عملکرد	مناسب • نامناسب •	
	مشعل	احتراق	ناقص • کامل •	
		برخورد به دیواره کوره	دارد • ندارد •	
ضخامت‌سنجی	شبکه جلو	کاهش ضخامت	دارد • ندارد •	
	شبکه عقب	کاهش ضخامت	دارد • ندارد •	
	پوسته محفظه برگشتی	کاهش ضخامت	دارد • ندارد •	
	شبکه سمت مشعل در محفظه برگشتی	کاهش ضخامت	دارد • ندارد •	
	شبکه مقابل مشعل در محفظه برگشتی	کاهش ضخامت	دارد • ندارد •	
	کوره	کاهش ضخامت	دارد • ندارد •	
	پوسته	کاهش ضخامت	دارد • ندارد •	
نام بازرس و امضاء			مدیر بازرسی و امضاء	

۵-۳ نحوه‌ی آزمایش ایمنی ادواری برای صدور تاییدیه در ظروف تحت فشار با تعمیرات اساسی

یکی از دسته بندی‌های ظروف تحت فشار را خانواده بزرگ مولدها تشکیل داده که خود به دو نوع لوله دودی و لوله آبی تقسیم می‌شوند.

تعمیرات این مولدهای بخار به دو قسمت تعمیرات متعلقات و تعمیرات بدنه اصلی تقسیم می‌گردند. متعلقات شامل مشعل، آب‌نما، کنترل کننده سطح آب، پمپ، شیر خروجی بخار، شیر اطمینان، فشارسنج و... می‌باشند.

در تعمیرات بدنه اصلی به تجربه ثابت شده است که در اکثر مواقع یا تقریباً به‌طور قطع می‌توان گفت که تعمیرات در این قسمت صرفاً در لوله‌ها، شبکه‌ها و کوره‌ها اتفاق می‌افتد.

به‌طور کلی زمانی که ده درصد لوله‌های هر طرف از پاس‌های دو و سه دارای نشتی باشند یا اصطلاحاً کور شده باشند، باید تمامی لوله‌های دودی را تعویض نمود که به این فرآیند Retube می‌گویند.

در برخی مواقع به‌خاطر پوسیدگی بیش از حد یا خوردگی بیش از اندازه یا تعویض بیش از دو بار لوله‌های آتش خوار شبکه مربوط به مولدهای بخار نیز باید تعویض گردند.

لازم به توضیح است هر یک از فرآیندهای تعویض لوله یا شبکه، دستورالعمل تعمیراتی مخصوص به خود را دارد.

دیگ‌های بخاری که تحت تعمیرات اساسی نظیر تعویض کوره، شبکه یا لوله قرار گرفته‌اند باید قبل از آزمایش فنی توسط مشاوران و خدمات‌دهندگان حفاظت فنی و ایمنی در زمینه ایمنی دیگ‌های بخار و ظروف تحت فشار توسط مراجع مورد تایید سازمان ملی استاندارد، مجددا از نظر استاندارد بودن، بازرسی و تایید (recertification) شوند.

ولی آنچه در این فصل مهم است، آن است که بازرسی دیگ‌های بخار تعمیر شده با دیگ بخار در حین سرویس یکسان بوده که در ادامه به آن پرداخته شده است.

در فرآیند تعمیرات در صورتی که صرفاً لوله‌های آتش خوار تعویض شده باشند، چون اتصال لوله‌های جدید با فرآیند جوشکاری است بنابراین باید با تست غیر مخرب سر لوله‌ی جوش شده را مورد بررسی قرارداد تا ترک‌های ظاهری در آن جوش‌ها وجود نداشته باشد (تست مایع نافذ).

در صورتی که شبکه‌ها تعویض شده باشند، باید قبل از هر اقدام با تست آلتراسونیک خط جوش محل شبکه به پوسته اصلی را مورد بررسی عمقی قرار داد.

پس از انجام این دو فرآیند، باقی موارد دقیقا مانند بازرسی قبل از تعمیر است.

۳-۶ دستور العمل ایمنی بازرسی فنی

هدف از تدوین این دستورالعمل تشریح نکات ایمنی است که باید در هنگام بازرسی مخازن تحت فشار و دیگ‌های بخار (به خصوص ایمنی و حفاظت از جان در هنگام تست‌های غیر مخرب) توسط بازرسان رعایت گردد.

۱. دامنه کاربرد:

با توجه به دامنه کاربرد سیستم و ماهیت فعالیت بازرسی، این دستورالعمل در مورد بازرسی مخازن تحت فشار و دیگ‌های بخار کاربرد دارند.

۲. مسئولیت‌ها:

مسئولیت حصول اطمینان از اجرای این دستورالعمل به عهده مدیر بازرسی فنی می‌باشد. کلیه بازرسان موظف به اجرای این دستورالعمل می‌باشند.

۳. شرح دستورالعمل:

نکاتی که بازرسان باید به‌منظور انجام ایمنی بازرسی و حفظ سلامت فردی و جمعی در هنگام بازرسی دیگ بخار و مخزن تحت فشار رعایت نمایند به شرح زیر می‌باشند:

- در صورت انجام بازرسی در شرکت‌های تولیدی که جابجایی مواد اولیه، قطعات نیمه ساخته و یا محصول نهایی آنها بوسیله جرثقیل انجام می‌شود، بازرس باید حتماً از کلاه ایمنی مناسب استفاده نماید و نباید بدون کلاه ایمنی در محل تولید رفت وآمد نماید.
- هنگام کنترل عملیات جوشکاری، بازرس باید از محافظ چشم و یا عینک مناسب استفاده نماید، خصوصاً در هنگام مشاهده قوس جوشکاری حتماً باید از لوازم ایمنی استفاده شود.
- در صورت نیاز به بازدید از بالای مخزن و یا دیگ، لازم است حتماً از بالابر ایمن استفاده شود. همچنین توصیه می‌شود که هنگام بالارفتن از پلکان یا نردبان از کفش مناسب استفاده شود تا بازرس دچار لغزش نشود.
- در هنگام انجام تست سرد، بازرس در زمان ثابت نمودن فشار روی فشار تست و نیز در هنگام پایین آوردن فشار برای ارزیابی تغییر فرم قطعه، نباید به قطعه نزدیک شود.
- مخزن یا دیگ بخاری که قرار است مورد تست سرد قرار گیرد، باید در محل مناسبی قرارداده شود که دور از کارکنان مشغول به‌کار باشد. همچنین باید از نزدیک شدن افراد متفرقه در هنگام تست جلوگیری به عمل آید.
- در هنگام تست‌گرم دیگ بخار، لازم است علاوه بر قرارگیری دیگ در محل مناسب برای انجام تست، چنان‌چه قرار است شیر اطمینان آن مورد آزمون قرار گیرد، حتماً سعی شود که خروج بخار در محل مناسبی انجام شود تا به کسی آسیبی وارد نشود. همچنین در هنگام راه اندازی دیگ، به دلیل در اختیار نبودن خروجی دود (اگزوز) باید سعی شود که محلی برای تست انتخاب گردد که دارای اکسیژن کافی بوده تا از مشکلات تنفسی جلوگیری شود (محل کوچک و در بسته برای اینکار مناسب نمی‌باشد).
- حتماً از علایم ایمنی و هشداردهنده در هنگام انجام رادیوگرافی در محل‌های مناسب استفاده گردد.
- بررسی نموده که در محل بازرسی اقلام پرخطر از نظر محیط زیست یا فردی، نظیر مواد شیمیایی خطرناک، مواد رادیواکتیو، تشعشعات و... وجود نداشته باشد و اگر وجود داشت تدابیر لازم برای پیشگیری اندیشیده شود.

۴. مزایای رعایت قوانین ایمنی از دیدگاه اقتصادی:

- افزایش کارآیی
- کاهش حوادث
- کاهش زمان‌های تلف شده به علت آسیب‌ها و بیماری‌های مرتبط با کار
- کاهش هزینه‌های درمانی و پرداخت غرامت
- کاهش خسارت به تجهیزات و تاسیسات با افزایش سطح ایمنی
- ایجاد اطمینان، حس رضایت و امنیت در محیط کار
- افزایش رفاه جسمی، روحی و روانی

- بهبود وضعیت بهداشت در محیط کار و پیشگیری از بیماری‌های مربوط به‌کار

رعایت موارد ایمنی در ورود به مخازن تحت فشار و دیگ ها:

- هیچگونه کار تعمیراتی در داخل مخزنی که محتوی گاز است، نباید انجام شود.
- همواره باید اینگونه تصور کرد که مخزن مورد تعمیر و یا بازدید حاوی گاز قابل انفجار بوده، مگر تاییدیه عدم وجود گاز در یک مخزن صادر شده باشد.
- قبل از ورود نفر به داخل مخزن بایستی دریچه سقف آن مخزن و درپوش خروجی برداشته شده و شیر خروجی باز باشد تا محتویات مخزن تخلیه گردد.
- قبل از ورود نفر، لازم است از درست کار کردن تجهیزات همراه، به خصوص تجهیزات ایمنی، اعلام خطر و تجهیزات ارتباطی، اطمینان حاصل نمود.
- در مخازن گازدار، فقط از چراغ دستی‌های باطری‌دار می‌توان استفاده کرد که نوع آنها به تایید رسیده باشند.
- در مخزنی که تمیز شده و زنگ و رسوب‌های آن پاک شده و عاری بودن آن از گاز مورد تایید است می‌توان از چراغ‌های برقی سیار استفاده نمود.
- کسی اجازه ندارد از دریچه سقف وارد مخزنی شود مگر اینکه یک نفر دیگر از دریچه سقف مخزن مراقب او باشد.
- قبل از ورود نفر به مخزن، لازم است اندازه دریچه ورودی چک شود و از متناسب بودن اندازه دریچه و نفر اطمینان حاصل نمود.
- برای ورود به مخزن فقط باید از نردبان‌هایی استفاده کرد که ساخت آنها مطابق با استانداردها بوده و مورد تایید باشد. مسیرهایی که برای حرکت بر روی مخزن پیش‌بینی شده، باید ایمن بوده و اطراف آنها به وسیله حصارهای مطمئنی احاطه شده باشد.
- کسی که وارد مخزن گازدار می‌شود باید طنابی را که استفاده می‌نماید دارای ضخامت و طول متناسب با وزن شخص و ارتفاع مخزن باشد و به‌طور مطمئنی به وسیله کمربند ایمنی به بدن خود محکم کند.
- کسی که وارد مخزن گازدار می‌شود باید یک ماسک که مناسب این کار است را روی صورت قرار داده و پس از اطمینان از تطبیق ماسک بر روی صورت، با بستن شیر ورودی هوا و نفس کشیدن، از غیر قابل نفوذ بودن ماسک اطمینان حاصل نماید. توجه داشته باشید که ماسکی که به صورت زده می‌شود باید به صورت روزانه تمیز شده و همچنین در صورتی که بیش از یک نفر از آن استفاده می‌کنند از تمیز بودن آن اطمینان حاصل نمود.
- در صورتی که قرار است نفر بدون ماسک وارد مخزن شود، لازم است آزمایش سنجش میزان اکسیژن انجام گیرد. هرگاه مخزنی عاری از گاز اعلام شد، می‌توان بدون استفاده از ماسک تنفسی و سایر موارد احتیاطی که قبلا ذکر گردید وارد آن شود.
- شخصی که وارد مخزن شده است به محض مشاهده کمترین اثری از گاز باید فوراً از مخزن خارج شود.
- باید یک وسیله اعلام خطر که به آسانی در دسترس است وجود داشته باشد و چند نفر در آن نزدیکی حضور داشته باشند که در مواقع اضطرار بتوان آنها را به کمک طلبید.
- در صورتی که اتفاقی برای شخص داخل مخزن رخ داد، نفر مراقب، باید به سرعت کمک طلبیده و قبل از

رسیدن کمک، اجازه ورود به مخزن را ندارد. شخص مراقب باید بعد از رسیدن کمک و قبل از ورود به مخزن با ماسک و کمربند ایمنی متصل به طناب مجهز گردد.

- رعایت نکات ایمنی برای جلوگیری از تولید بار الکتریسیته ساکن لازم است. به‌طور مثال تعمیرکار لازم است در هنگام بالا رفتن از مخزن، دستکش خود را بیرون آورده و بدین وسیله با انتقال بار الکتریسته ساکن موجود در بدنش به زمین، از ایجاد جرقه جلوگیری نماید. علاوه بر این، قبل از تعمیرات باید از اتصال به زمین بودن مخزن اطمینان حاصل نمود.
- هنگامی که عده‌ای بدون ماسک تنفسی وارد مخزن شدند و متوجه محل و یا گوشه‌ای که مقداری گاز در خود نگه داشته است، شدند، باید همه افراد کار خود را تعطیل کرده و به سرعت از مخزن خارج شوند و تا زمانی که عملیات پاک‌سازی مخزن به‌طور کامل انجام نگرفته، کسی مجاز نخواهد بود که بدون پوشیدن ماسک تنفسی دوباره وارد مخزن شود.

ایمنی کار با مواد شیمیایی:

کار با مواد شیمیایی همواره دارای خطرات بالقوه‌ای است که می‌تواند باعث ایجاد حادثه برای کاربر، محیط کار و یا افراد مستقر در محل گردد. گاهی دامنه آسیب برخی از مواد شیمیایی به حدی گسترده است که می‌تواند یک منطقه را تحت الشعاع قرار داده و حتی باعث ایجاد خطرات زیست محیطی گردد. در تمام شناسه‌های ایمنی مواد که توسط سازنده تهیه می‌شوند، توصیه و اقدامات احتیاطی زیر در زمینه ایمنی و سلامتی باید به دقت رعایت شوند:

۱- مواد قابل اشتعال را از حرارت، قوس و شعله دور نمایید. در محل کار سیگار نکشید. ظروف یا محفظه‌هایی با درجه حرارت بالاتر از ۴۸ درجه سانتی‌گراد (۱۱۸/۴درجه فارنهایت) را سوراخ نکنید، نسوزانید یا تحت فشار ذخیره ننمایید. این احتمال وجود دارد که قوطی‌های حاوی مخلوط گاز و هوا در درجه حرارت‌های بالاتر از ۵۴ درجه سانتی‌گراد (۱۳۰ درجه فارنهایت) ترکیده (یا دچار پارگی شده) و مایعات قابل اشتعال به بیرون پاشیده شوند.

۲- مواد شیمیایی را تنها در مناطق دارای تهویه مناسب استفاده نمایید. از تنفس مخلوط‌های گازی یا بخارات شیمیایی به شدت خودداری نمایید. استنشاق این بخارات ممکن است سبب سرگیجه و حالت تهوع شوند زمانی که فردی بر اثر تنفس دود و گاز دچار مشکل گردید، او را به هوای تازه منتقل نمایید. در تمام حالات، بلافاصله با پزشک تماس بگیرید.

۳- در صورت قورت دادن حلال یا یک ماده شیمیایی دیگر، خود را وادار به استفراغ ننمایید. در تمام حالات، بلافاصله با پزشک تماس بگیرید.

۴- اگر یک ذره شیمیایی یا هر جسم خارجی وارد چشم شد، سریعاً آن را با آب شستشو دهید.

۵- از تماس‌های مکرر یا طولانی مدت پوست با حلال‌ها و سایر مواد تست جلوگیری کنید و سریعاً پوست را شستشو داده و از لوسیون‌ها استفاده نمایید.

۶- کلیه ظروف حاوی مواد شیمیایی موجود در محل کار را برای داشتن برچسب‌های مشخص با ذکر نام

مواد تشکیل‌دهنده، مورد بازرسی قرار دهید. هیچگاه از ماده شیمیایی داخل یک ظرف بدون نام و برچسب استفاده‌نکنید.

۷- مواد تولیدی ارسالی از تولید کنندگان مختلف را در داخل یک ظرف با هم مخلوط ننمایید.

۸- مواد قابل اشتعال و آتش گیر را از کنار سیلندرهای تحت فشار دور کنید.

۳-۷ ضمیمه

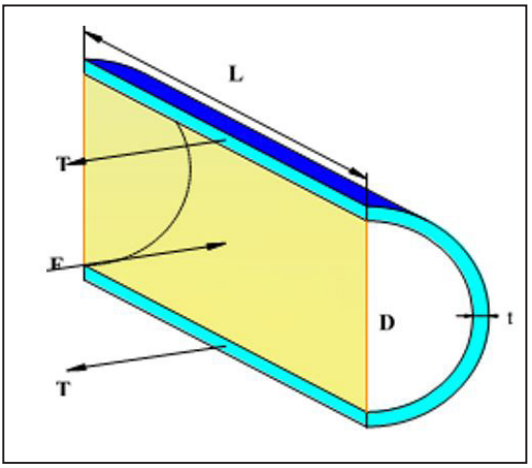
با توجه به رخداد تنش‌های طولی و عرضی در تمامی ظروف تحت فشار، در این بخش به آشنایی اجمالی با این مبحث پرداخته شده است.

■ ۳-۷-۱ آشنایی مختصر با تنش‌های داخلی در ظروف تحت فشار

ادر حالت کلی اگر یک مخزن حاوی سیال بوده و فشار آن با فشار محیط متفاوت باشد، در مخزن دو نوع تنش طولی و محیطی ایجاد خواهد شد. به‌منظور محاسبه تنش در هر سیستمی، در ابتدا باید مقاطع ظروف به درستی شناسایی شده و برش زده شوند. برای برآورد تنش در مخازن جدار نازک نیز همین قواعد صادق است. در این مطلب نحوه محاسبه تنش در مخازن کروی و استوانه‌ای را توضیح خواهیم داد.

۳-۷-۱-۱ تنش در مخازن استوانه‌ای

مطابق با شکل زیر مخزنی استوانه‌ای را در نظر بگیرید. فرض کنید این مخزن حاوی گاز یا سیالی با فشار P است. مطابق با شکل زیر قطر و ضخامت این مخزن به ترتیب برابر با D و t و طول آن برابر با L در نظر گرفته شده‌اند. برای بدست آوردن تنش محیطی، مخزن مطابق با شکل ۴-۳ برش زده می‌شود.



شکل ۴-۳. نمایش تنش‌های محیطی

پوسته آبی رنگ در تعادل است، بنابراین نیروی ناشی از فشار p (F) نیروی ناشی از تنش محیطی (T) برابر است. در نتیجه با نوشتن رابطه تعادل داریم:

$$2T=F \qquad (۳-۳)$$

از طرفی نیروی T برابر با حاصل ضرب تنش محیطی σ_t در مساحت (t×L) است. بنابراین رابطه فوق را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

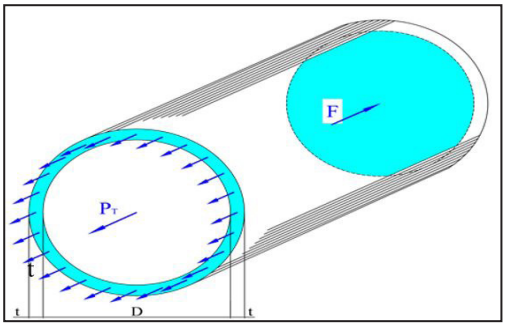
$$۲(tL)\ \sigma_t = pDL \qquad (۳-۴)$$

$$۲t\ \sigma_t = pD \qquad (۳-۵)$$

نهایتاً تنش محیطی در یک مخزن جدار نازک استوانه‌ای با فشار p برابر با مقدار زیر بدست می‌آید:

$$\sigma_t = pD/۲t \qquad (۳-۶)$$

برای بدست آوردن تنش طولی کافی است تا مخزن استوانه‌ای مطابق با شکل ۵-۳، به صورت عمود بر طول استوانه برش زده شود.



شکل۵-۳. نمایش تنش‌های طولی

مطابق با شکل فوق، نیروی وارد به انتهای استوانه برابر است با:

$$F=pA=p\pi D^2/4 \qquad (۳-۷)$$

از طرفی تنش طولی، تنها روی بخش جدار نازک اعمال می‌شود. مساحت این قسمت برابر با $A=\pi Dt$ است. از این رو نیروی ناشی از تنش طولی نیز برابر است با:

$$P_T = \pi Dt\sigma_L \qquad (۳-۸)$$

در مرحله بعد معادله تعادل نیرویی را به صورت زیر بیان می‌کنیم:

$$\Sigma F=0 \qquad (۳-۹)$$

$$P_T=F \qquad (۳-۱۰)$$

$$\sigma_L\ \pi Dt=p\pi D^2/4 \qquad (۳-۱۱)$$

نهایتاً تنش طولی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\sigma_L=pD/4t \qquad (۳-۱۲)$$

توجه داشته باشید در روابط فوق منظور از فشار، در حقیقت اختلاف فشار داخل و بیرون مخزن است. بنابراین با فرض این که فشار داخلی برابر با pi و فشار خارجی برابر با po باشد، رابطه زیر را می‌توان برای تنش طولی بیان کرد:

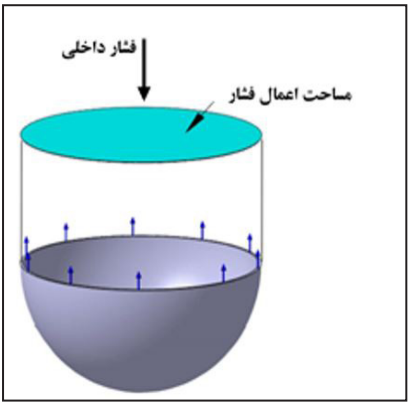
$$2\sigma_L=(p_i-p_o)D/4t \qquad (۳-۱۳)$$

با توجه به روابط ۱ و ۲، رابطه زیر را می‌توان بین تنش‌های افقی و عمودی نوشت:

$$\sigma_L=^{۲}\sigma_t \qquad (۳-۱۴)$$

۳-۷-۱-۲ تنش در مخازن کروی

به‌دلیل متقارن بودن شکل کره نسبت به تمامی محورهایی که از مرکز آن عبور می‌کنند، تنش در پوسته یک مخزن کروی، در تمامی جهات با هم برابر هستند. از این رو به‌منظور محاسبه تنش، تنها کافی است تا مطابق با شکل ۶-۳، کره را در جهتی دلخواه برش بزنید.



شکل ۶-۳. نمایش تنش در مخازن کروی

نیروی داخلی ناشی از فشار که به نیمکره وارد می‌شود، برابر است با:

$$F=pA=p\pi D^{۲}/4 \qquad (۳-۱۵)$$

این نیرو برابر با تنشی است که به جداره وارد می‌شود. بنابراین می‌توان گفت:

$$T=F \qquad (۳-۱۶)$$

$$\sigma A=p\pi D^{۲}/4 \qquad (۳-۱۷)$$

$$\sigma\pi Dt=p\pi D^{۲}/4 \qquad (۳-۱۸)$$

نهایتاً تنش در جداره یک مخزن کروی با فشار p برابر است با:

$$\sigma=pD/4t \qquad (۳-۱۹)$$

۳-۸ جداول

در اینجا نمونه‌ای کاربردی از چک لیست جامع بازرسی مولدهای بخار لوله آبی و لوله دودی بر اساس API RP 571، 572، 573& NALCO Guide در جدول ۲-۳ ارایه گردیده است و تمامی موارد کنترلی ذکر شده در این فصل را شامل می‌شود.

جدول ۲-۳. چک لیست جامع بازرسی مولدهای لوله دودی و لوله آبی بر اساس API

مشخصات دستگاه	
نام مولد: محل نصب: ظرفیت: تعداد درام ها: تاریخ بازرسی بعدی:	سازنده: سال ساخت: نوع مولد: تاریخ بازرسی قبلی:
تعداد لوله‌های Generation: جنس لوله ها:	سایز لوله‌های Generation: Tube BWG:
رسوبات داخلی	
برداشت نمونه رسوبات داخلی برای ارسال به آزمایشگاه: بلی □ خیر□	
نوع رسوبات (پس از آزمایش)	
میزان رسوبات داخلی در لوله‌های سمت آتش	
نتیجه بازرسی داخلی لوله‌ها با پروسکوب	
نحوه اتصال لوله‌ها به شبکه	□ expand& weld □ weld □ expand roll
نشتی از محل اتصال لوله ها	
میزان رسوبات خارجی لوله ها	
نوع رسوبات خارجی با آزمون مگنتیت	رسوبات ناشی از خاکستر سوخت □ لایه‌های اسیدی □
برداشت نمونه رسوبات خارجی برای ارسال به آزمایشگاه: بلی□ خیر□	
بررسی سطح خارجی لوله ها	
تمیز کاری رسوبات خارجی	
برآمدگی صفحه Sagginig	
انحنای صفحه Bowing	

مشخصات دستگاه	
بادکردگی لوله‌ها Bulging	
علت از دیاد قطر لوله‌ها	
درصد ازدیاد قطر لوله‌ها	
اکسیداسیون خارجی	
علت اکسیداسیون خارجی	Both □ Fouling □ Overfiring □
میزان اکسیداسیون	
خمیری شدن Fluxing	
حرارت بیش از حد (Overheat)	
برخورد شعله (Flam Impingement)	
وضعیت فین لوله‌ها	
نگهدارنده لوله‌ها	
تست رپلیکا	
لوله‌های سوپرهیتر	
جنس لوله‌های سوپرهیتر	
نحوه اتصال لوله‌های سوپرهیتر به صفحه (Header)	
اکسیداسیون خارجی لوله‌های سوپرهیتر	
میزان رسوبات خارجی لوله‌های سوپرهیتر	
اتصالات نگهدارنده لوله‌های سوپرهیتر	
بادکردگی لوله‌های سوپرهیتر (Bulging)	
میزان بادکردگی لوله‌های سوپرهیتر	
سایش لوله‌های سوپرهیتر به‌دلیل برخورد بخار دودزدا	
شکم‌دادگی لوله‌های سوپرهیتر و درصد شکم دادگی	
دی سوپرهیتر	

مشخصات دستگاه	
وضعیت نازل‌ها	
نتیجه آزمون ترک‌یابی نازل‌ها	
Steam Drum	
وضعیت عایق‌بندی	
میزان رسوبات داخلی	
نوع رسوبات داخلی	
آثار Flash mark بر روی بدنه	
وضعیت لوله Dry pipe	
وضعیت لوله Feed water	
وضعیت اتصال لوله‌ها به لوله شیت	
Horizontal baffles	
Swash plates	
Vortex breaker	
Manhole davit	
گسکت دریچه‌های ورودی	
Water Drum	
وضعیت عایق بندی	
میزان رسوبات داخلی	
نوع رسوبات داخلی	
لوله Blow Down	
لوله Chemical injection	
وضعیت اتصال لوله‌ها به لوله شیت	
Manhole davit	

مشخصات دستگاه	
گسکت دریچه ورودی	
محفظه احتراق Chamber	
میزان رسوبات در محفظه احتراق	
نوع رسوبات محفظه احتراق	
وضعیت مواد نسوز	
آجرکاری کف کوره	
آجرکاری اطراف مشعل ها	
سوختگی بدنه خارجی Casing	
وضعیت پوشش و رنگ آمیزی بدنه خارجی	
اتصالات جوشی بدنه	
نشتی دود	
دریچه‌های انفجار (Explosion Doors)	
بخار خفه کننده (Snufering Steam)	
دریچه‌های بازرسی (Access Doors)	
درین کف کوره	
ترموکوپل ها	
گسکت دریچه ها	
مشعل ها (Burners)	
موقعیت مشعل ها	
میزان جرم گرفتگی مشعل ها	
رینگ مشعل	
Tip مشعل	
Alignment مشعل	

مشخصات دستگاه	
نحوه توزیع شعله	
دوده زدا Soot Blower	
نوع دوده‌زدا	
لنس دوده‌زدا	
وضعیت نازل‌ها	
هم‌راستایی Alignment	
اجرای صحیح دستورالعمل دوده‌زدایی	
وضعیت لوله‌های مجاور دوده‌زدا	
لوله‌های حامل بخار Steam Pipe	
وضعیت عایق	
خوردگی زیر عایق	
وضعیت ساپورت‌ها	
نتایج ضخامت‌سنجی	
FD fan	
لرزش FD fan	
وضعیت یاتاقان‌ها	
وضعیت پروانه‌ها	
تست هیدرواستاتیک	
تاریخ تست	
علت تست	
فشار تست	زمان تست
سیال تست	دمای سیال تست
نتیجه تست	

مشخصات دستگاه	
تجهیزات جانبی	
تعداد شیرهای اطمینان	
شماره شیرهای اطمینان	
تاریخ آخرین تنظیم شیرهای اطمینان	
تجهیزات ابزار دقیقی	

۴

فصل چهارم

آزمایش‌های ادواری متعلقات جانبی ظروف تحت فشار

آزمایش‌های ادواری متعلقات جانبی ظروف تحت فشار

متعلقات ظروف تحت فشار، دستگاه‌هایی هستند که مستقیماً به این ظروف متصل می‌شوند تا آنها بتواند به‌طور ایمن و کارآمد، کار کنند. متعلقات، امکان کنترل دقیق را فراهم کرده و دیگ را در شرایط کارکرد صحیح نگه می‌دارند. آیین‌نامه ASME بخش ۴ (دیگ و ظروف تحت فشار- مقررات مراقبت و کارکرد دیگ‌های گرمایش) اطلاعات مفیدی درباره این دستگاه‌ها ارائه می‌دهد.

از مهم‌ترین اقدامات بازرسی در مراجعه بازرسین مورد تایید وزارت کار و سازمان استاندارد، بعد از چک کردن مدارک استاندارد ارائه شده توسط سازنده دیگ بخار، بازدید خوردگی، رسوب و نشتی در داخل پوسته، کوره اصلی، فرعی و لوله‌ها، به همراه تست ضخامت‌سنجی و تست هیدروستاتیک (درصورتی که مولد بخار تحمل افزایش فشار را داشته باشد)، در نهایت بررسی وضعیت تجهیزات کنترلی دیگ بخار و سایر ظروف تحت فشار می‌باشد. در طی فرآیند بازرسی ظروف تحت فشار باید از صحت عملکرد تجهیزات کنترلی مانند سوپاپ اطمینان، پرشرسوئیچ، لول کنترل، سنسور مشعل، ترموستات اگزوز، آب‌نما و مانومتر و غیره اطمینان حاصل کرد. مطابق آیین‌نامه دیگ‌های بخار و ظروف تحت فشار تست ادواری باید به صورت سالیانه و پس از هرگونه تعمیرات کلی یا جابجایی دیگ بخار انجام شود. در این فصل، بازرسی از متعلقات جانبی ظروف تحت فشار در بخش‌های زیر شرح داده می‌شود:

- نحوه‌ی آزمایش عملکرد و سلامت متعلقات حفاظتی ظروف تحت فشار شامل شیر اطمینان، پرشر سوییچ‌ها و گیج‌ها، کنترل‌کننده‌های سطوح سیال، ترموستات اگزوز و نظایر آن و نحوه‌ی احراز کالیبراسیون آنها
- نحوه‌ی آزمایش ایمنی سیستم آب‌رسانی و زیر آب

- نحوه‌ی آزمایش ایمنی سیستم اگزوز دود و گازهای ناشی از احتراق
- نحوه‌ی آزمایش ایمنی سیستم سوخت رسانی و مشعل
- تعیین مفاد آموزش‌های ایمنی لازم برای ارائه به اپراتور تاسیسات

انجام کلیه بازرسی‌های دوره‌ای ظروف تحت فشار و دیگ بخار و بازرسی تعمیرات آنها، با مجوز اداره استاندارد و وزارت کار (توسط تیم مهندسین مورد تایید و مشاوران حفاظت فنی وزارت کار) انجام می‌شود و در صورت انطباق، گواهینامه و پلاک یک ساله برای دیگ یا مخزن تحت فشار و متعلقات آن صادر می‌گردد.

۴-۱ نحوه‌ی آزمایش عملکرد متعلقات حفاظتی ظروف تحت فشار و نحوه‌ی احراز کالیبراسیون آنها

تجهیزات جانبی ظروف تحت فشار که باید مورد بررسی و بازرسی از نظر نحوه نصب و صحت عملکردشان، براساس قوانین استاندارد ۴۲۳۱ و ۷۹۱۱ قرار گیرند به شرح زیر می‌باشند:

۱. شیرهای اطمینان
۲. نشان‌دهنده‌های سطح آب
۳. فشار سنج‌ها
۴. هشداردهنده صوتی سطح آب، قطع سوخت و در پوش‌های ذوب شدنی
۵. لوله‌های رابط برای تجهیزات سطح آب و لوله‌های هواگیری
۶. شیرهای تغذیه آب دیگ
۷. متعلقات و شیر فلکه های اصلی خروجی و تخلیه دیگ
۸. بخش برقی و ابزار دقیقی:

- کلیه سیستم‌های ابزار دقیقی، باید باز شوند و ابتدا مورد نظافت قرار گرفته و در صورت نیاز مورد تعمیر قرار گیرند و سپس مورد کالیبراسیون و تست‌های عملکردی قرار گیرند.
- سیستم ارتینگ باید مورد تست‌های مقاومت سنجی قرار گیرد.
- انجام آزمون‌های کنترل حد: متصدی دیگ باید به‌طور دوره‌ای تمامی کنترل گرهای حد را آزمایش کند. برای رعایت جزئیات آزمایش، باید توصیه‌های سازنده را دنبال کرد. کنترل گرهای زیر باید به‌طور دوره‌ای آزمایش شوند:

۱. کنترل گر حد بالای فشار بخار
۲. کنترل گر حد دمای اتاق احتراق
۳. کنترل گر حد ولتاژ و آمپر برق
۴. کنترل گر حد پایین فشار گاز
۵. کنترل گر حد بالای فشار گاز
۶. کلید کنترل فشار روغن

۷. کلید کنترل فشار هوا
۸. کلید قطع اضطراری

سلامت کامل تجهیزات کنترلی دارای اهمیت فراوان می‌باشد و مهمترین این تجهیزات، شیر اطمینان می‌باشد. تجهیزات کنترلی شامل موارد ذیل است:

۱. شیر اطمینان
۲. پرشرسوئیچ
۳. فشار سنج
۴. کنترل کننده‌های سطح
۵. ترموستات اگزوز

در ادامه این بخش، آنچه که یک بازرس باید درباره عملکرد تجهیزات حفاظتی در کنترل‌ها و بازرسی‌های خود از ظروف تحت فشار بداند شرح داده شده است و همچنین طریقه کالیبره کردن این تجهیزات بعد از رفع عیوب و یا بازرسی دوره‌ای تجهیز بیان شده است.

■ ۱-۱-۴ شیر اطمینان

شیر ایمنی یا شیر اطمینان برای جلوگیری از افزایش فشار دیگ نسبت به حداکثر فشار کاری مجاز (MAWP) بر روی ظروف تحت فشار نصب می‌شود و ایمنی افراد و تجهیزات را حفظ می‌نماید. این تجهیزات در زمان افزایش بیش از اندازه فشار کار سیستم، با تخلیه حجمی از سیال به خارج از سیستم موجب کاهش و سپس تثبیت فشار می‌گردند. این آخرین دستگاه مکانیکی محافظ دیگ در برابر فشار اضافی بوده و مهم‌ترین شیر در دیگ محسوب می‌شود. ضروری است که شیرهای اطمینان تحت هر شرایطی وظیفه خود را انجام دهند و مانع از ازدیاد فشار سیستم شوند.

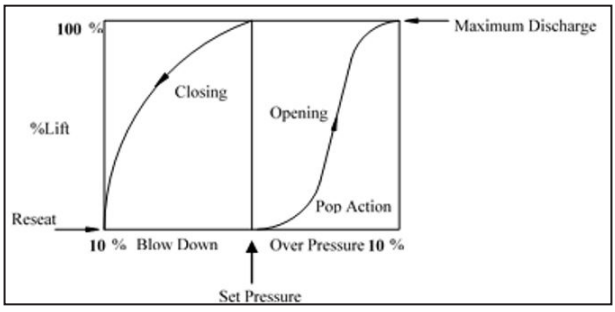
درسیستم‌های بخار، شیر اطمینان معمولاً درروی دیگ بخار و تجهیزاتی مانند خروجی فشارشکن‌ها نصب می‌شود. البته این تجهیز در تمام ظروف تحت فشار وجود دارد و با توجه به نوع ظروف، مدل و ظرفیت این شیر متفاوت می‌باشد. شیر اطمینان حتماً باید دارای گواهینامه یا شناسنامه فنی بوده و توسط شرکت سازنده یا آزمایشگاه مورد تایید پلمپ شده باشد. هم‌چنین ظرفیت این شیر باید با ظرفیت مخزن تحت فشار همخوانی داشته باشد.

به‌طور کلی در تست سلامت شیر اطمینان در دیگ‌ها، هر سه ماه یک‌بار فشار دیگ را تا فشار تعریف شده برای سوپاپ بالا می‌برند و اجازه می‌دهند سوپاپ شیر باز شود و هر دو هفته دستگیره شیر را فشار می‌دهند تا در این حالت، سوپاپ محتویات دیگ (بخار یا...) را تخلیه کند. در مخازن ذخیره هوای فشرده این تست سالانه و به همراه تست ضخامت‌سنجی ظروف انجام می‌گیرد.

بنابراین شیر اطمینان یک شیر کاهش فشار است که خصوصیت اصلی آن باز شدن سریع یا عمل ضربه (impact action) است که با افزایش فشار در ورودی، بسته به نوع کاربرد باز می‌شود. شیرهای اطمینان به انواع متعارف، پیلوت‌دار، لوله بالانس، قدرتی و حرارتی طبقه بندی می‌شوند:

- شیر کاهش فشار متعارف: این شیر دارای عمل ضربه بازشونده سریع متناسب با افزایش فشار ورودی است.
- شیر کاهش فشار پیلوت‌دار: در این نوع شیر، دستگاه کاهنده اصلی با یک شیر کاهش فشار کمکی خودکار کنترل می‌شود.
- شیر کاهش فشار متوازن با لوله بالانس: این نوع شیر، یک شیر ایمنی فنردار است که دارای یک لوله یا ابزاری مشابه برای توازن دیسک سوپاپ، به‌منظور کاهش اثر پس‌فشار (Back Pressure) بر عملکرد شیر است. منظور از واژه «توازن» این است که فشار تنظیم شده شیر تحت تأثیر پس‌فشار قرار نمی‌گیرد. در جاهایی که پس‌فشار خیلی زیاد باشد باید از شیر کاهش فشار متوازن استفاده گردد.
- شیر کاهش فشار قدرتی: در این شیر وسیله کاهنده اصلی با دستگاهی که نیازمند منبع انرژی خارجی (مثل برق، هوا، بخار یا هیدرولیک) است ترکیب شده و کنترل می‌شود.
- شیر کاهش فشار حرارتی: این شیر بر اثر دمای داخلی یا خارجی یا بر اثر فشار در سمت ورودی فعال می‌شود. این شیر، شیر اطمینان T&P (Temperature & Pressure) نیز نامیده می‌شود.

محدودیت فشار در این‌گونه کاربردها معمولاً ناشی از فشار قابل تحمل تجهیزات، لوله‌ها، دستگاه‌ها یا محصولات تولیدی و همچنین مسائل مرتبط با حفظ ایمنی افراد می‌باشد که اصطلاحاً به محدوده فشار کارکرد امن (Safe Operating Limits for Pressure) معروف است. نحوه باز شدن شیرهای اطمینان و مشخصات کاری آنها ارتباط مستقیم با نحوه طراحی قطعات داخلی شیر دارد. در اغلب موارد این طراحی به گونه‌ای انجام می‌گیرد که پس از شروع باز شدن شیر اطمینان در اثر ازدیاد فشار، به دلیل خاصیت Pop Action این عمل تا زمانی که شیر کاملاً باز گردد به سرعت تشدید می‌شود. اصطلاح Pop Action به باز شدن سریع شیر اطمینان در زمان ازدیاد فشار اطلاق می‌گردد. شکل ۱-۴ عملکرد یک شیر اطمینان را نمایش می‌دهد.



شکل ۱-۴. عملکرد شیر اطمینان

بنابراین هر جایی که احتمال افزایش فشار بیشتر از حداکثر فشار کاری مجاز سیستم (MAWP) وجود داشته باشد، باید از شیر اطمینان استفاده کرد. افزایش فشار مجاز به علل مختلف اتفاق می‌افتد:

- جریان ناخواسته سیال توسط شیرهای قطع و وصل
- عملکرد نامناسب و یا خرابی شیرهای تقلیل فشار

- نقص در سیستم خنک کاری که موجب تبخیر و انبساط سیال می‌شود
- قطع نیروی الکتریسیته یا هوای فشرده به سیستم‌های کنترل
- آتش سوزی
- شکست لوله‌های مبدل‌های حرارتی
- واکنش‌های شیمیایی ناخواسته
- تغییرات دمای محیط
- و...

۱-۱-۱-۴ انواع شیر ایمنی بر اساس کاربری:

۱. **Safety valve:** این نوع شیر اطمینان بیشتر روی مخازن و دستگاه‌های محتوی گاز، هوا، بخار و غیره (به استثنای مایع) نصب می‌شود.

۲. **Valve Relief:** این نوع شیر اطمینان غالباً بر روی مخازن و دستگاه‌های محتوی مایع نصب می‌شوند.

۳. **Valve Relief Safety:** این نوع شیر اطمینان بر روی هر دو منابع و دستگاه‌های محتوی گاز و مایع نصب می‌شود.

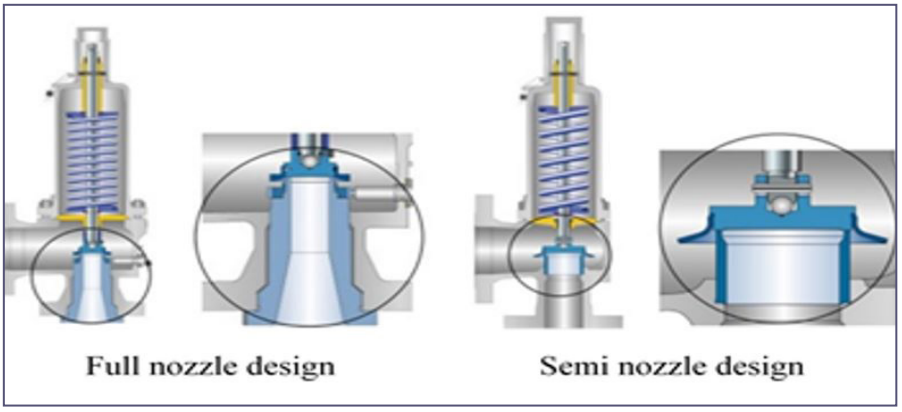
در عمل، انواع مختلفی از شیرهای اطمینان با استانداردهای گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرند. اصطلاح Safety Valve در اروپا معادل Safety Relief Valve یا Pressure Relief Valve در آمریکاست و استفاده از واژه (Safety Valve) در آمریکا، معادل با شیر اطمینان نوع Full - Lift در اروپا می‌باشد. طبق استاندار، تعاریف و عملکردهای زیر برای این شیر عنوان گردیده است:

۴. تعریف شیر اطمینان در استاندارد DIN 3320 و BS 6759 به شرح زیر است: شیر اطمینان شیری است که به صورت اتوماتیک و بدون کمک هرگونه نیروی خارجی، موجب تخلیه مقدار مشخصی از سیال شده تا از افزایش فشار، بیش از حد تعریف شده جلوگیری کند و همچنین پس از بازگشت فشار به حالت طبیعی، بسته شده و از خروج بیشتر سیال جلوگیری کند.

۵. طراحی شیرهای اطمینان: شیرهای اطمینان غالباً از یک بدنه به حالت ۹۰ درجه تشکیل شده که اتصال ورودی آن بر روی سیستم فشار بالا نصب می‌شود. در برخی سیستم‌ها مثل هوای فشرده، می‌توان خروجی شیر اطمینان را مستقیماً و بدون لوله کشی به اتمسفر تخلیه نمود. در داخل شیر اطمینان از یک فنر که قدرت آن با توجه به نقطه آزادسازی فشار، متفاوت بوده و در کارخانه تنظیم می‌شود، استفاده شده است.

۶. نازل (Nozzle) بخشی از شیر ایمنی یا همان شیر اطمینان است که مستقیم در فشار سیال قرار دارد و به دو دسته Full (کامل) و Semi (نیمه) تقسیم بندی می‌شود. نازل Full تمامی بخش ورودی را شامل می‌شود که به بدنه پیچ می‌گردد و نازل Semi تنها بخشی از ورودی را شامل می‌شود و معمولاً قابل تعویض نیست. اتصال ورودی شیر (Approach Channel) می‌تواند از نوع Full Nuzzle یا Semi Nuzzle باشد. نوع Full Nuzzle معمولاً در شیرهای اطمینان مورد استفاده در فرآیندها و تجهیزات فشار بالا و خصوصاً برای

سیالات خورنده یا سمی استفاده می‌شود. در کاربردهای غیر سمی و غیر خورنده با فشارهای متوسط از شیر اطمینان نوع Semi Nuzzle استفاده می‌گردد. در دماهای بالا و سیالات خورنده ممکن است نیاز به جنس بدنه خاص باشد. نوع Semi Nuzzle شامل رینگی است که در داخل بدنه قرار گرفته و قسمت فوقانی آن دارای سیت قابل تعویض می‌باشد. دیسک توسط نیروی فنر در برابر سیت قرار می‌گیرد. فنر در محفظه باز یا بسته در قسمت فوقانی شیر قرار دارد (Open or Closed Bonnet). جنس فنر غالباً از نوع کربن استیل بوده و میزان فشردگی آن تا محدوده‌ای (با توجه به خواص مکانیکی فنر مورد استفاده) قابل تنظیم است(شکل ۲-۴ شماتیک نازل‌های شیر اطمینان را نمایش می‌دهد).



شکل۲-۴. نازل در شیر ایمنی

۷. نحوه عملکرد شیرهای اطمینان: افزایش فشار استاتیک داخلی تا اندازه بالاتر از فشار تنظیم شیر، دیسک شروع به بلند شدن از روی سیت می‌کند. همزمان با باز شدن شیر، فنر تنظیم نیز به تدریج منقبض شده و به دنبال آن نیروی عکس العمل فنر افزایش می‌یابد و این بدان معناست که به‌منظور حرکت بیشتر دیسک و باز شدن کامل شیر، فشار ورودی باید افزایش یابد.

مقدار فشار اضافی لازم که موجب باز شدن شیر اطمینان می‌شود تا ظرفیت مورد نظر را تخلیه کند به Over Pressure معروف است. در استانداردها و منابع مختلف، مقادیر متفاوتی برای Over Pressure ذکر شده است ولی به صورت عمومی این مقدار در سیالات قابل تراکم (مانند بخار) معمولاً بین ۳ ٪ تا ۱۰٪ فشار تنظیمی و در مایعات ۱۰٪ تا ۲۵٪ می‌باشد. مقدار Blow Down نیز تا ۲۰ ٪ می‌باشد (مقدار Over Pressure برابر است با مقدار افزایش فشار بالاتر از فشار تنظیم شیر اطمینان که شیر در حالت کاملاً باز قرار گرفته و حداکثر جریان را تخلیه می‌نماید. مقدار Blow Down برابر مقدار فشار کمتر از فشار تنظیم شیر اطمینان است که شیر پس از آزادسازی به حالت کاملاً بسته بر می‌گردد). در دیگ‌های بخار، مقدار Over Pressure لازم، کم و در حدود ۳ ٪ الی ۵٪ فشار تنظیمی است.

نوع تخلیه: شیرهای اطمینان با محفظه باز (Open Bonnet) می‌توانند در سیستم‌های بخار، هوا و

گازهای غیر سمی که به اتمسفر تخلیه می‌شوند، استفاده گردند. در این کاربردها، معمولاً از دسته قابل حرکت برای تست شیر استفاده می‌شود. در سیستم‌های گاز و مایعی که اجازه تخلیه سیال به اتمسفر وجود ندارد، محفظه بسته (Closed Bonnet) به‌کار می‌رود.

نحوه عملکرد شیر به نوع کاربرد بستگی داشته و شیر اطمینان باید مطابق شرایط کاربرد انتخاب شود. در بسیاری از کاربردها، مصرف‌کننده و نوع پروژه، مشخص‌کننده نوع استاندارد و کد مربوطه برای ساختمان و نحوه عملکرد شیر می‌باشد.

۲-۱-۱-۴ تنظیم و آب بندی شیرهای اطمینان:

به‌منظور تعیین فشار آزادسازی در این نوع شیرها، باید به پارامترهای زیر دقت نمود:

۱. **فشار کار عادی**(Normal Working Pressure (NWP : فشار کار و عملکردی سیستم

۲. **حداکثر فشار کاری مجاز MAWP**: فشار طراحی یا حداکثر فشار کاری در حالت طبیعی

۳. **حداکثر فشار انباشته شده**(Maximum Allowable Accumulation Pressure (MAAP : این پارامتر نشان‌دهنده حداکثر فشار قابل دستیابی با توجه به نوع و استانداردهای طراحی سیستم است و معمولاً به صورت درصدی بالاتر از MAWP بیان می‌شود. در سیستم‌های بخار، MAAP معمولاً ۱۰٪ بیشتر از MAWP می‌باشد.

۴. **نقطه و فشار تنظیم** (Set Pressure) Ps: فشاری که در آن شیر اطمینان شروع به باز شدن می‌کند.

۵. **فشار آزادسازی کامل P_R (Relieving Pressure)**: فشاری که شیر به حالت کاملاً باز و حداکثر ظرفیت تخلیه می‌رسد و برابر مجموع فشار تنظیم Psو فشار اضافی (Over Pressure) P_Oمی‌باشد.

۶. **فشار اضافی P_O**: به صورت درصدی از فشار آزادسازی شیر اطمینان بیان می‌شود.

بنابراین ترتیب قرارگیری فشارهای تعریف شده در بالا از نظر عددی بدین ترتیب است:

فشار عادی- فشار تنظیم- حداکثر فشار کاری مجاز - فشار اضافی- فشار تخلیه کامل- حداکثر فشار انباشته شده

دو اصل اساسی برای محاسبه فشار آزادسازی وجود دارد:

- فشار آزادسازی باید به اندازه کافی پایین باشد تا از ایجاد شرایط MAAP اطمینان حاصل گردد.
- فشار تنظیم باید به اندازه کافی بالا باشد تا فاصله کافی با فشار کاری عادی NWP حفظ شود به‌گونه‌ای که شیر اطمینان بتواند کاملاً بسته شود. با این وجود، فشار تنظیم هرگز نباید بیشتر از MAWP باشد.

به‌منظور ایجاد اصل اول لازم است تا مقادیر MAAP و P_O به صورت درصدی از MAWP بیان شوند که دو حالت وجود خواهند داشت:

- درصد Over Pressure شیر اطمینان کمتر یا برابر درصد MAAP سیستم است، در این حالت فشار تنظیم می‌تواند برابر MAWP تنظیم شود زیرا فشار آزادسازی همواره کمتر از مقدار واقعی MAAP است. به‌طور مثال در صورتی که مقدار Over Pressure در شیر اطمینان برابر ۵٪ و مقدار MAAP برابر ۱۰٪ مقدار MAWP

باشد، فشار تنظیم برابر MAWP انتخاب می‌شود. در این حالت فشار آزادسازی کامل که برابر فشار تنظیم به علاوه Over Pressure است، کم‌تر از MAAP شده و قابل قبول است. توجه شود در صورتی که درصد MAAP بیشتر از درصد Over Pressure باشد، نقطه تنظیم باید برابر MAWP باشد، زیرا افزایش فشار تنظیم بیشتر از MAWP موجب نقض قانون دوم می‌شود.

- درصد P_O شیر اطمینان بیشتر از درصد MAAP باشد، در این حالت انتخاب نقطه تنظیم برابر MAWP به معنی این است که فشار آزادسازی کامل بیشتر از MAAP شده که غیر مجاز است و بنابراین فشار تنظیم باید کمتر از MAWP باشد. به عنوان مثال، اگر در شیر اطمینانی مقدار P_O برابر ۲۵٪ و مقدار MAAP برابر ۱۰٪ باشد، انتخاب نقطه تنظیم برابر MAWP به معنی این است که فشار تخلیه کامل ۱۵٪ بیشتر از MAAP است. در این مثال، فشار صحیح تنظیم باید ۱۵٪ کمتر از MAWP باشد.

به جز در مواردی که شرایط عملکردی اقتضا می‌کند، به‌منظور رعایت اصل دوم، فشار تنظیم باید مقداری بیشتر از فشار کاری با رعایت حد لازم برای بلودان باشد. فشار تنظیم با فاصله ناچیز بالای فشار کاری عادی موجب انسداد و بسته شدن کامل شیر اطمینان پس از تخلیه می‌شود. در صورتی که فاصله فشار کاری از فشار تنظیم بسیار کم باشد، حداقل مقدار فشار بین فشار بسته شدن کامل (Reseat Pressure) و فشار کاری سیستم برابر ۰.۱ bar در نظر گرفته می‌شود تا از بسته شدن کامل شیر، اطمینان حاصل گردد که به محدوده Shut Off معروف است.

ضروری است که هرگونه تغییر در فشار سیستم مورد توجه قرار گیرد. به‌طور مثال، در عملکرد شیرهای اطمینان نصب شده پس از شیرهای فشار شکن ممکن است به علت محدوده نسبی بزرگ برخی از فشارشکن‌ها اخلال بوجود آید. در صورتی که مصرف بخار نسبت به مقدار گذر طبیعی کاهش یابد، شیرهای فشار شکن با درصدی افزایش در فشار خروجی بسته می‌شوند که معرف باند نسبی عملکرد(Proportional Control Band) است و برعکس در صورتی که شیر تقلیل فشار در حالت بدون بار (بدون مصرف بخار) تنظیم شود، در شرایط بار کامل، فشار خروجی کمتری خواهد داشت. به عنوان مثال، شیر PRV با حداکثر باند نسبی ۰.۲ bar را در نظر بگیرید، در صورتی که شیر در حالت بار کامل تنظیم شود، فشار خروجی شیر در حالت بدون بار برابر ۰.۲ bar ۵ خواهد بود (و یا ۰.۸ bar ۴ در حالت برعکس). در زمان محاسبه فشار تنظیم شیر اطمینان، اگر فشار کنترل PRV در حالت بدون بار تنظیم شود، مقدار باند نسبی در نظر گرفته نمی‌شود ولی در صورتی که فشار کنترل PRV در حالت بار کامل تنظیم شود، لازم است که افزایش فشار در حالت بدون بار را در محاسبات اعمال نمود. مقدار افت نسبی به نوع شیر کنترل و کنترلر مورد استفاده بستگی دارد.

مثال: لازم است تا فشار تنظیم شیر اطمینانی در خروجی یک شیر فشار شکن حتی‌المقدور نزدیک به فشار کاری (خروجی PRV) تنظیم شود. با اطلاعات زیر، مناسب‌ترین فشار تنظیم شیر اطمینان را انتخاب کنید:

- فشار تنظیم PRV = ۶bar (تنظیم در حالت بار کامل)
- باند نسبی PRV = ۰.۳ bar بالاتر از فشار کاری

- ۱۰٪= بلودان شیر اطمینان

از آنجائی که لازم است فشار تنظیم تا حد امکان نزدیک به فشار کاری PRV انتخاب شود، مقدار بلودان باید بیشتر از فشار تنظیم PRV با حد فاصل 0. 1 bar بعنوان Shut Off باشد.

(۴-۲۰) اثر باند نسبی : ۶bar + ۰. ۳bar =۶. ۳ bar (NWP)

با اضافه کردن ۰. ۱ bar به‌عنوان Shut Off، مقدار بلودان باید ۱۰٪ بیشتر از ۶. ۴ bar باشد که به معنی فشار تنظیم برابر ۷۰. ۰۴ bar است (به شرطی که بیشتر از MAWP نباشد).

۴-۱-۱-۳ مقتضیات شیرهای اطمینان در دیگ‌های بخار و آب گرم طبق آیین‌نامه ASME:

استانداردها و مراجع برای طراحی، ساخت و نصب شیرهای ایمنی در زیر عنوان شده است. این استانداردها نحوه انتخاب، محاسبه سایز و نحوه نصب تجهیزات فشار شکن را بیان می‌کنند:

- API -520 PART I
- API -520 PART II
- API-521
- API-526
- API2000
- BS5500
- ASMESection VIII

مقررات لازم برای شیرهای کاهش فشار در ماده ۴ از بخش 4 ASME آمده است. این مقررات برای دیگ‌های بخار، دیگ‌های آب گرم (گرمایش با آب گرم و تأمین آب گرم)، مخازن و مبدل‌های حرارتی اعمال می‌شوند که در این قسمت به آن اشاره شده است:

۱. مقتضیات شیر ایمنی در دیگ‌های بخار:

شیر ایمنی باید کل جریان تولید شده توسط یک دیگ گرمایش با بخار را کاهش دهد. هر دیگ دست کم باید یک یا چند شیر ایمنی استاندارد با « نماد V » مطابق آیین‌نامه ASME داشته باشد. این شیرها باید از نوع فنردار و ضربه‌ای باشند که برای تخلیه کل بخار در فشار کمتر از (۱۰۳kPa) ۱۵psi تنظیم و مهر شده‌اند. اندازه این شیر ایمنی باید حداقل (DN۱۵) NPS ۱/۲ و حداکثر (DN۱۱۵) NPS ۴ ۱/۲ باشد.

کمترین ظرفیت لازم برای یک شیر ایمنی را می‌توان با یکی از روش‌های زیر تعیین کرد:

۲. تعیین انرژی خروجی در نازل دیگ بر حسب Btu و تقسیم آن بر ۱۰۰۰، این کار در دیگی که با هر نوع سوخت کار می‌کند انجام می‌شود.

۳. تعیین کمترین وزن بخار تولید شده در ساعت در هر (ft۲) m۲ از سطح گرمایش دیگ

نکات کلی که باید در این قسمت مورد توجه قرار گیرند در ادامه بیان شده‌اند:

- در یک دیگ بخار که فقط با گاز کار می‌کند و ارزش گرمایی آن از (۷۴۰۰kJ/m۳) ۲۰۰Btu/ft۳ بیشتر

نباشد، کمترین ظرفیت شیر اطمینان می‌تواند مبتنی بر مقادیر مشخص شده برای دیگ‌های کم فشار باشد.

- کمترین ظرفیت شیر اطمینان برای دیگ‌های برقی، (۱. ۶kg/hr) ۳. ۵lb/hr در هر کیلووات است.
- سازنده دیگ، کمترین سطح گرمایش اضافی را به lb/hr/ft۲ تعیین می‌کند.

ظرفیت شیر ایمنی برای هر دیگ بخار باید طوری باشد که در حالی که دستگاه‌های احتراق با حداکثر ظرفیت کار می‌کنند، فشار به اندازه (۳۵ kPa) ۵psi از حداکثر فشار کاری مجاز (MAWP) فراتر نرود. اگر شرایط کار تغییر کند یا سطوح گرمایش اضافی نصب شود، ظرفیت شیر ایمنی باید افزایش یابد.

۴. مقتضیات شیر اطمینان در دیگ‌های آب گرم:

دست کم باید یک شیر اطمینان از نوع ریست اتوماتیک برای هر دیگ گرمایش یا تأمین آب گرم وجود داشته باشد. این شیر باید مطابق نماد HV آیین‌نامه ASME بوده و در حداکثر فشار کاری مجاز یا کمتر از آن، تنظیم شود. اندازه شیر اطمینان نباید از (DN۲۰) NPS ۳/۴ کمتر یا از (DN۱۱۵) NPS۴ ۱/۲ بیشتر باشد. از یک شیر اطمینان با اندازه (DN۱۵) NPS ۱/۲ می‌توان برای یک دیگ با ورودی کمتر از ۱۵، ۰۰۰ Btu/hr (۴. ۴kW) استفاده کرد. اگر دمای آب در دیگ‌های گرمایش یا تأمین آب گرم به (۹۹°C) ۲۱۰°F محدود باشد، می‌توان از یک یا چند شیر اطمینان T&P به عنوان شیر اطمینان استفاده کرد. شیرهای اطمینان T&P باید مطابق نماد HV آیین‌نامه ASME از نوع ریست اتوماتیک بوده و در حداکثر فشار کاری مجاز یا کمتر از آن تنظیم شوند. اگر از بیش از یک شیر اطمینان برای دیگ‌های آب گرم استفاده شود، شیرهای اضافی نیز باید مطابق آیین‌نامه ASME باشند. این شیرها باید در محدوده فشار کمتر از (۴۰ kPa) ۶psi بالاتر از MAWP دیگ تا (۴۰۰ kPa) ۶۰psi تنظیم شوند و در دیگ‌هایی با MAWP بیش از (400 kPa) 60psi، باید بالاتر از ۵ درصد آن تنظیم شوند. ظرفیت کاهش دستگاه‌های کاهنده فشار به پوند بر ساعت (kg/) lb/hr در یک دیگ، باید از مقدار تعیین شده بخار به Btu در نازل دیگ با تقسیم حداکثر خروجی آن بر ۱۰۰۰، بزرگتر باشد. در حالت دیگر، ظرفیت کاهش را می‌توان بر اساس وزن بخار تولید شده (lb یا kg) در ساعت بر سطح گرمایش (ft^2) دیگ تعیین کرد. حداقل ظرفیت کاهش در یک دیگ چدنی با روش حداکثر خروجی تعیین می‌شود. هنگامی که از یک شیر اطمینان در یک دیگ استفاده شود، ظرفیت کاهش باید طوری باشد که در حالی که دستگاه احتراق با حداکثر ظرفیت کار می‌کند، فشار از ۱۰٪ MAWP بیشتر نشود. هنگامی که از بیش از یک شیر اطمینان استفاده شود، فشار اضافی باید به ۱۰٪ بالاتر از فشار تنظیم شده برای بالاترین شیر محدود شود. شیرهای ایمنی باید فنردار بوده و تراکم کامل فنر نباید از ۸۰٪ خیز مکانیکی بیشتر باشد.

۴-۱-۱-۴ انواع آزمون‌های شیر اطمینان:

کلیه اندازه‌گیری‌های احتیاطی باید در هنگام آزمون شیر اطمینان انجام شوند. دست کم دو متصدی باید هنگام آزمون شیر ایمنی حضور داشته باشند. این دو متصدی باید با روش‌های اضطراری مانند نشتی بخار سنگین، خرابی اجزای دیگ یا نشتی آب سنگین از دیگ آشنا باشند. آزمون‌های زیر روی شیرهای اطمینان انجام می‌شوند:

۱. **آزمون کارکرد اهرم:** وقتی دیگ کار می‌کند یا وقتی دیگ پس از یک دوره استراحت، راه اندازی می‌شود، آزمون کارکرد اهرم شیر هر دو هفته باید انجام شود. برای انجام این آزمون وقتی که دیگ زیر فشار کم است، اهرم شیر اطمینان را تا وضعیت باز، بالا ببرید تا بخار یا محتویات دیگ به مدت ۵ الی ۱۵ ثانیه خارج شود. اهرم را رها کنید تا شیر بسته شود. این کار را دو الی سه بار انجام دهید تا دیسک به‌طور صحیح در جای خود بنشیند. اگر هنوز شیر نشتی دارد، باید توسط تعمیرکار مجاز تعویض یا تعمیر شود.

۲. **آزمون ضربه:** آزمون ضربه برای تعیین کارکرد شیر اطمینان زیر فشار دیگ در محدوده مجاز انجام می‌شود. این آزمون باید سالیانه انجام شود. دیگ را با بستن همه شیرها، از خروجی و ورودی‌ها جدا کنید. این آزمون با استفاده از کنتاکتور بای پس روی ترمینال کنترل فشار بالا انجام می‌شود. شیر اطمینان باید در فشاری قابل قبول، باز شود. قبل از باز شدن شیر، نشتی شروع می‌شود. شیر اطمینان باید باز بماند تا زمانی که فشار افت کند و باعث شود شیر در فشار ایمن، بسته شود.

۳. **آزمون ظرفیت:** آزمون ظرفیت باید روی کلیه دیگ‌های جدید نصب شده و روی دیگ‌های موجود پس از تغییری که بر ظرفیت تولید بخار آنها اثر می‌گذارد انجام شود. با بستن همه شیرها، دیگ را جدا کنید. مشعل را در حداکثر ظرفیت تنظیم کنید و کنترل کنید که احتراق کامل با هوای کافی انجام می‌شود. هنگامی که کنترل‌گر عملیاتی، مشعل را خاموش می‌کند، فشار شیر اطمینان را تنظیم کنید و کنتاکتور بای پس را روی ترمینال‌ها قرار دهید تا به وضعیت قطع پرفشار برود. هنگامی که مشعل خاموش شد، یک مجموعه کنتاکتور بای پس دیگر روی ترمینال‌ها قرار دهید و اجازه دهید مشعل روشن شود و بدون کنترل کار کند، شیر اطمینان باید در فشار تنظیم شده باز شود.

۴. **آزمون سازنده:** هر سازنده، برنامه منظم برای آزمایش شیرهای ایمنی دارد. شیرهای اطمینان با آب، بخار یا هوا آزمایش می‌شوند. آزمایش هر شیر ایمنی شامل نقطه خیز، تخلیه و آب بندی می‌باشد (مطابق بند ۱-۱-۱-۴). آزمون آب بندی در شیرهای اطمینان بسیار مهم است. آزمون آب بندی در حداکثر فشار عملیاتی و کمتر از فشار بازنشانی، انجام می‌شود. هر سازنده باید چند شیر را برای آزمون یا گواهی ظرفیت، به یک آزمایشگاه ارائه دهد. در آنجا، نماینده مجاز، طرح شیرها را بررسی خواهد کرد.

۵-۱-۱-۴ علامت گذاری شیر:

هر سازنده یا مونتاژکننده باید یک گواهی از ASME برای استفاده از نماد آیین‌نامه روی هر شیر داشته باشد. هر شیر اطمینان باید با داده‌هایی که شامل موارد زیر است، علامت‌گذاری شود:

- نام یا اختصار نام سازنده
- شماره طرح و نوع
- اندازه NPS به اینچ (اندازه اسمی لوله ورودی شیر)
- فشار تنظیم شده به psi
- ظرفیت به lb/hr یا Btu/hr

- سال ساخت
- نماد کد ASME (HV - V)

مشخصات یک شیر ایمنی نمونه برای یک دیگ گرمایش بخار کم فشار در زیر داده شده است:

- شماره شیر، ۱
- اندازه شیر، ۲×۲in
- فشار تنظیم شده، ۱۵psi
- ظرفیت، ۳۱۵۰lb/hr
- کاربرد، بخار
- آیین‌نامه، ASME بخش ۴
- بدنه، یکپارچه برنزی
- فنر، فولاد ضدزنگ
- دیسک، برنج با پوشش کروم
- کاسه نمد، با پوشش PTFE برای آب بندی مثبت

شیر اطمینان در برابر فشار اضافی آب (ناشی از انبساط حرارتی) و بخار تولید شده زمانی که کنترل‌های ورودی خراب شوند، حفاظت می‌کند. مشخصات یک شیر اطمینان نمونه برای دیگ آب گرم در زیر داده شده است:

- شماره شیر، ۱
- اندازه شیر، in ۰.۷۵ ×۰.۷۵
- فشار تنظیم شده، ۱۵۰psi
- حداکثر دما، ۲۵۰°F (۱۲۱°C)
- ظرفیت، ۲، ۵۹۷، ۰۰۰ Btu/hr
- کاربرد، آب گرم
- آیین‌نامه ASME بخش ۴
- بدنه، برنج با پوشش کروم
- فنر، فولاد ضدزنگ

۶-۱-۱-۴ محاسبه ظرفیت مهر شده روی شیر اطمینان

آزمون محاسبه ظرفیت شیرها باید در حضور نماینده مجاز انجام شود و یکی از روش‌های آزمون زیر باید مورد استفاده قرار گیرد:

۱- روش ضریب: سه شیر با سه اندازه مختلف (جمعاً ۹ شیر) آزمایش می‌شوند. ظرفیت مهر شده با فرمول‌های زیر تعیین می‌شود:

برای نشیمن ۴۵ درجه:

$$W = 51.5\pi DLP \times 0.707K \quad (۴-۲۱)$$

برای نشیمن تخت:

$$W = 51.5\pi DLPK = 51.5APK \quad (۴-۲۲)$$

که در آن

W = وزن بخار در ساعت (lb)

D = قطر نشیمن (in)

L = خیز (in)

A=πDL) مساحت گلویی نازل (in^2)

P = ۱.۱۰ × فشار تنظیم شده + ۱۴.۷psi (برای دیگ آب گرم)

P= ۰.۵ × فشار تنظیم شده + ۱۴.۷psi (برای دیگ بخار)

K = ضریب تخلیه طرح که ضریب تخلیه با فرمول زیر تعیین می‌شود:

K=KD × ۰.۹۰ جریان تئوری بخار

K_D = جریان واقعی بخار (میانگین ضریب ۹ آزمایش)

۲- روش شیب: این روش مبتنی بر محاسبه شیب برای شیرهای کاهش فشار است. چهار شیر از هر ترکیب لوله و روزنه برای آزمایش انتخاب می‌شود. شیب با فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

شیب = W/P = ظرفیت اندازه‌گیری شده / فشار مطلق جریان (psi)

این مقدار برای هر نقطه آزمون، محاسبه شده و میانگین شیب‌ها تعیین می‌شود.

کمترین شیب = شیب میانگین × ۰.۹۵

بیشترین شیب = شیب میانگین × ۱.۰۵

مقادیر آزمون باید بین محدوده کمترین و بیشترین شیب باشد. اگر شیب‌ها در این محدوده نباشند، ممکن است نماینده مجاز لازم بداند که شیرهای بیشتری آزمایش شوند. ظرفیت کاهش فشار مهر شده به صورت زیر تعیین می‌شود:

ظرفیت مهر شده ≤ شیب اسمی × (۱۱.۱۰ × فشار تنظیم شده + 14.7psi) (برای دیگ آب گرم)

شیب اسمی = شیب میانگین × ۰.۹

۳- روش سه شیر: هنگامی که یک یا چند اندازه از یک طرح در یک فشار تنظیم شوند، سازنده می‌تواند سه شیر از هر اندازه در هر طرح ارائه دهد که در فشار معین تنظیم شده‌اند. در این حالت ظرفیت مهرزنی نباید از ۹۰درصد ظرفیت میانگین سه شیر آزمایش شده بیشتر باشد.

این آزمون‌ها باید مطابق مقتضیات ASME PTC 25-1994 باشد. گزارش داده این آزمون‌ها باید توسط سازنده و نماینده مجاز امضاء شود. تجهیزات آزمون هر پنج سال توسط ASME بازنگری می‌شود. شیرهای

اطمینان در فشار ۵ psi (۳۵ kPa) بالاتر از فشار تنظیم شده یا در فشار ۱۱۰ درصد بالاتر از فشار تنظیم شده آزمایش می‌شوند. ماده آزمون باید بخار اشباع خشک با کیفیت حداقل ۹۰٪ باشد.

یک برگه ثبت داده آزمون توسط نماینده مجاز ASME تهیه و امضا می‌شود. سازنده از آن برگه برای ساخت و مهرزنی شیرهای با طرح و ساخت مشابه استفاده می‌کند. در صورتی که طرح، مسیر جریان، خیز، یا خصوصیات عملکردی تغییر کنند، باید آزمون جدید انجام شود.

■ ۲-۱-۴ پرشر سوییچ‌ها و گیج‌های فشار

تجهیزات اندازه‌گیری و نظارت بر فشار، برای ایمنی و کنترل کیفیت در کاربردهای مختلف از جمله مایعات تحت فشار، بخار و گاز مورد استفاده قرار می‌گیرند. این تجهیزات کنترل فرآیند به‌طور گسترده در صنایع مختلف از تولید مواد غذایی و آشامیدنی گرفته تا کارخانه‌های شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند و شامل انواع درجه‌های آنالوگ و دیجیتال، کلیدهای فشار، فرستنده‌ها و مبدل‌ها می‌باشند.

گیج فشار آنالوگ یکی از ساده‌ترین و پرمصرف‌ترین تجهیزات اندازه‌گیری فشار است ولی با این وجود تست و تعمیر انواع گیج فشار، پرشرسوئیچ‌ها و نگهداری از آنها موضوع بسیار مهم و حیاتی است، زیرا اندازه‌گیری غیر استاندارد از کمیت فشار می‌تواند منجر به آسیب‌های جبران ناپذیر و خسارت‌هایی در مجموعه گردد. بنابراین به‌طور منظم باید از سلامت مانومترها و پرشرسوئیچ‌ها اطمینان حاصل نمود.

در خصوص پرشرسوئیچ‌ها آزمون سلامت عملکرد در دو مرحله انجام می‌شود:

- اطمینان از باز بودن راه لوله و اتصال آن به پرشرسوئیچ
- خاموش و روشن شدن مشعل مطابق فرمان پرشرسوئیچ در زمان تست گرم و متناسب با تنظیمات انجام گرفته که معمولاً این تنظیم باید به گونه‌ای باشد که قبل از باز شدن شیر اطمینان، پرشرها عمل کنند.

برای تست پرشرسوئیچ دیگ بخار، پیچ بالای پرشرسوئیچ را تا جایی چرخانده که مقدار درجه در قسمت جلوی پرشرسوئیچ پایین آید (در این زمان از روشن بودن دیگ بخار، اطمینان حاصل گردد)، اگر مشعل دیگ دارای دو نازل بود یکی از آنها خاموش می‌شود. اگر همین عمل بر روی پرشر سوئیچ بعدی صورت گیرد شعله دوم نیز باید خاموش شود. بعد از انجام مراحل فوق، پیچ اندازه فشار پرشرسوئیچ را سر جای خود برگردانید تا همه چیز به حالت عادی برگردد. در صورتی که هر کدام از این مراحل به درستی انجام نشد، باید پرشر سوئیچ تعویض یا تعمیر گردد.

آنچه که باید در خصوص تنظیمات و کالیبراسیون مانومترها بدانیم شامل درجه، برد، دقت و طریقه تنظیم درجه گیج می‌باشد که به شرح زیر بیان شده است:

- **درجه فشار:** از درجه فشار در ظروف و خطوط تحت فشار برای نشان داده فشار در نقاط مختلف استفاده می‌شود. درجه فشار به متصدی امکان می‌دهد که فشار را در حداکثر محدوده فشار مجاز کنترل نماید. به‌منظور ثبت صحیح فشار، تمامی درجه‌های فشار باید به راحتی قابل مشاهده باشند. درجه‌های فشار، فشار را برحسب پوند بر اینچ مربع (psi) یا bar نشان می‌دهند. «فشار نسبی» عبارت است از میزان فشار بالاتر از فشار اتمسفر.

- « **فشار مطلق** » عبارت است از فشار نسبی به علاوه فشار اتمسفر.
- **درجه مرکب،** ترکیب یک درجه فشار و یک درجه خلا است، که معمولاً از آن در دیگ‌های کم فشار استفاده می‌شود. این درجه، خلأ را برحسب اینچ جیوه (Hg) در سمت چپ و فشار را برحسب پوند بر اینچ مربع (psi) در سمت راست درجه نشان می‌دهد.
- **سه نوع درجه فشار وجود دارد:** بوردون، خرطومی و مارپیچ. درجه فشار بوردون که به فشارسنج عقربه‌ای نیز معروف است، دارای یک لوله توخالی با مقطع بیضی به نام « لوله بوردون » است و هنگامی که فشار ایجاد می‌شود این لوله قائم می‌شود. سر باز این لوله به بخار یا آب داخل دیگ متصل است. سر بسته آن توسط یک بازوی مکانیکی به عقربه درجه متصل است. از درجه خرطومی معمولاً برای فشارهای کمتر از(۲۰۷ kPa) ۳۰psi استفاده می‌شود.
- **برد درجه:** برد درجه فشار باید ۱.۵ تا ۲ برابر حداکثر فشار کاری مجاز دیگ باشد. بدین ترتیب، عقربه درجه در حدود وسط مقیاس قرار می‌گیرد. این درجه برای دیگ‌های گرمایش بخار باید بین محدوده (۲۰۷ kPa) ۳۰psi تا (۴۱۴ kPa) ۶۰psi و نه کمتر از ۱.۵ برابر و نه بیشتر از ۳ برابر مقدار تنظیم شده شیر اطمینان دیگ آب گرم، تنظیم شود.
- **دقت درجه:** دقت درجه فشار باید بین ۱ تا ۱.۵ درصد فشار واقعی باشد. اگر دقت یک درجه (۶۹۰ kPa) ۱۰۰ psi برابر با ۱.۵ درصد باشد، آنگاه فشار آن (۱۰.۳۵ kPa) ۱.۵psi بیشتر از فشار واقعی است.
- **تنظیم درجه:** ممکن است به دلایل مختلف، درجه فشار از تنظیم خارج شده باشد و فشار دقیق را نشان ندهد. هر درجه فشاری که دقت آن بین ۱.۵ درصد فشار واقعی نباشد، باید تنظیم شود. درجه مورد استفاده برای دیگ‌ها باید دست کم سالی یک بار با استفاده از درجه آزمون تنظیم شود.

طراحی و روش ساخت مانومترها تنوع زیادی دارد و روش تنظیم مانومتر به روش ساخت آن بستگی دارد. پنج روش برای تنظیم و تعمیر مانومتر فشار با توجه به تنوع ساخت و کاربرد وجود دارد که در ادامه به بررسی برخی از روش‌های متداول‌تر پرداخته شده است:

۱- باز کردن خروجی vent برای تخلیه فشار
۲- باز کردن شیشه یا روکش پلاستیکی و خارج کردن عقربه و تنظیم آن
۳- چرخاندن پیچ تعبیه شده و تنظیم عقربه
۴- تنظیم دکمه تعبیه شده در بعضی مدل‌ها
۵- تنظیم پیچ تعبیه شده در کنار عقربه گیج فشار

۱- باز کردن دریچه تخلیه (vent) برای خروج فشار:

ساده‌ترین روش تنظیم گیج فشار استفاده از vent است. به دلیل تغییر ارتفاع و دما، در داخل گیج، فشاری ایجاد می‌شود که باعث جابه جایی عقربه از خط صفر می‌گردد. برای خروج این فشار، باید دریچه vent را باز

کنید و بعد از تخلیه فشار، باید دریچه را به حالت اول باز گردانید تا مانع از نشتی روغن و آسیب به گیج شود.

۲- باز کردن شیشه محافظ و خارج کردن عقربه:

در این روش ابتدا شیشه یا قاب پلاستیکی محافظ را باز کرده و سپس عقربه جدا می‌شود. از این روش معمولاً برای تنظیم عقربه در گیج‌های فشار خشک (بدون روغن) که آب‌بندی دائمی ندارند استفاده می‌شود. البته در مواردی که گیج فشار روغنی است، در ابتدا باید روغن را خالی و سپس شیشه محافظ را باز کرد.

گیج‌های فشار روغنی معمولاً با روغن سیلیکون یا گلیسرین پر می‌شود. اگر روغن گیج فشار تخلیه شده است حتماً باید مجدداً گیج را پر نموده و یا در حالتی که فشارسنج نشتی روغن دارد باید روغن تخلیه شده جایگزین شود.

از سیفون، بین دیگ بخار و درجه فشار استفاده می‌شود تا از آسیب رساندن بخار به لوله بوردون جلوگیری شود. دو نوع سیفون وجود دارد: سیفون دم خوکی و سیفون U شکل.

یک شیر دستی نیز برای تغییر درجه در صورت خرابی یا درست کار نکردن درجه فشار، نصب می‌شود.

فشارسنج‌ها از هر نوعی که استفاده می‌گردد باید دارای برچسب کالیبره و گواهی کالیبراسیون باشند و در حالتی که مخزن فشاری ندارد، عدد صفر را نمایش دهند.

گیج‌های فشار اگرچه به آسانی کالیبره می‌شوند، اما به آسانی هم از حالت کالیبره خارج شده و مقادیر فشار را با خطا اندازه‌گیری می‌کنند. بیشترین خطا در گیج فشار به دلیل خارج شدن از تلرانس یا تنظیم نبودن نقطه صفر عقربه نمایشگر است. شایع‌ترین علل خارج شدن گیج‌های فشار از کالیبره و نمایش نادرست فشار در تجهیزات فشار عبارتند از:

- خرابی یا گیر کردن عقربه
- عدم تنظیم فشار صفر
- فاصله زیاد اپراتور از گیج فشار
- کالیبره نبودن یا گذشت مدت طولانی از کالیبره
- عدم کارکرد گیج فشار
- تغییر در ارتفاع و دما (به علت تغییر در عوامل محیطی)
- تغییر حالت لوله بوردون به علت وارد شدن فشارهای بیش از حد
- استفاده زیاد از گیج فشار
- تماس با دما یا ارتعاشات بسیار بالا
- خرابی یا مسدود شدن قسمت‌های مکانیکی

قبل از تنظیم یا تعمیر گیج فشارسنج در نظر بگیرید که خطای فشارسنج را در حین کالیبراسیون با مقایسه مقادیر نمایش داده شده در گیج فشار با فشارسنج مرجع (کالیبره) می‌توان محاسبه کرد. خطای گیج فشار برابر با تفاضل مقادیر خوانده شده از مقدار استاندارد مرجع است. اگر خطای گیج فشار با توجه به استانداردهای

سیستم قابل قبول نباشد یا مقدار بزرگی باشد، باید گیج فشار را تنظیم کرد. زمانی که یکی از حالت‌های زیر رخ دهد معمولاً گیج فشار قابل تعمیر نیست:

- نشتی سیال یا خوردگی در بدنه آن
- آسیب در رزوه یا اتصال ورودی
- اختلاف ۱۰ درصدی مقادیر با مقدار واقعی
- حرکت بیشتر از ۲۵ درصد عقربه از نقطه صفر (قرار نداشتن عقربه بر روی صفر در حالتی که تحت فشار نیست)

■ ۳-۱-۴ کنترل کننده‌های سطوح سیال

یک یا چند آب‌نمای شیشه‌ای و همچنین لول کنترل روی ستون سیال یا دیگ، با حداقل اندازه لوله ۱/۲ NPS (DN۱۵) نصب می‌شود. کمترین سطح آب مجاز در یک دیگ توسط سازنده دیگ توصیه می‌شود، به‌طوری که هیچ خطری از لحاظ گرمایش بیش از اندازه وجود نداشته باشد. پایین‌ترین بخش قابل مشاهده یک آبنمای شیشه‌ای باید دست کم ۱in (۲۵. ۴ mm) بالاتر از پایین‌ترین سطح آب باشد. طی ساخت هر دیگ پایین‌ترین سطح آب مجاز، به‌طور دائمی علامت‌گذاری می‌شود و مشخص می‌گردد. آب‌نمای شیشه‌ای یک دیگ باید سطح آب را هنگام راه اندازی و تحت حداکثر بار بخار نشان دهد.

برای تست لول کنترل (کنترل کننده سطح آب)، شیر تخلیه زیر لول کنترل باید سریعاً باز گردد و مراحل زیر کنترل شود. از مزایای این روش تمیز شدن محفظه لول کنترل نیز می‌باشد.

- پمپ فوراً شروع به کار خواهد نمود.
- مشعل خاموش خواهد شد.
- هم‌زمان با خاموشی مشعل آژیر به صدا در خواهد آمد.

آب‌نماهای دیگ در تست سرد و تست گرم نباید دارای نشتی باشند و تحت هر شرایطی باید سطح آب را به درستی نمایش دهند.

یک شیر قطع‌کننده کم آبی خودکار در این نوع دیگ‌ها نصب می‌شود، به‌طوری که مشعل قبل از این که سطح آب به کمتر از بخش قابل مشاهده شیشه برسد، قطع می‌شود. قطع‌کننده سوخت کم آبی، اولین کنترل‌گر کم آبی دیگ بوده و برای قطع مشعل در حالت کم آبی به‌کار می‌رود. این شیر قدری پایین‌تر از سطح آب عملیاتی عادی ((NOWL (Normal operating water level) نصب می‌شود.

یک قطع‌کننده کمکی به‌طور سری با قطع‌کننده کم آبی اولیه نصب می‌شود و طوری قرار می‌گیرد که مدار حد را قدری پایین‌تر از قطع‌کننده اولیه فعال می‌نماید. هدف از قطع‌کننده کمکی، پشتیبانی و کنترل ایمنی در حالت از کار افتادگی قطع‌کننده اولیه، برای خاموش کردن مشعل است. معمولاً دو نوع کنترل‌گر کم آبی وجود دارد: کنترل‌گر شناوری و کنترل‌گر میله ای

۱. قطع‌کننده سوخت کم آبی شناوری:

قطع‌کننده شناوری، یک یا چند کلید را برای انجام اعمال خاص فعال می‌کند. اگر سطح آب از میزان

(NOWL) افت کند، اولین وظیفه این کنترل‌گر غیرفعال کردن مدار کنترل مشعل است. وظیفه دیگر، به صدا درآوردن آژیر کم آبی پس از خاموشی مشعل است تا زمانی که سطح آب بالا بیاید. همچنین، یک کنترل‌گر خاموش‌کننده پمپ، هنگامی که سطح آب از سطح معین بالاتر بیاید، باعث توقف پمپ تغذیه دیگ می‌شود، به علاوه ممکن است وظیفه کنترل آژیر پرآبی نیز افزوده شود. در دیگ‌های بخار، یک قطع‌کننده کم آبی شناور در ترکیب با یک کنترل‌گر آبرسان به‌کار می‌رود.

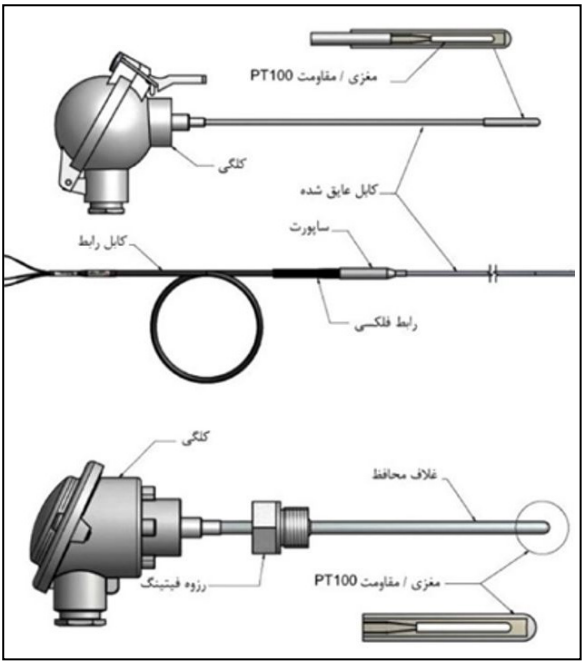
۲. قطع‌کننده سوخت کم آبی میله‌ای برقی:

کنترل‌گر میله‌ای همانند کنترل‌گر شناور عمل می‌کند، اما کنترل‌گر میله‌ای بر مبنای استفاده از رسانایی آب برای ایجاد مدار الکتریکی، کار می‌کند. میله‌های فلزی در یک اتاقک یا مستقیماً درون پوسته دیگ در آب معلق هستند و یک جریان اندک از رسانایی آب برای ایجاد یک مدار الکتریکی و فعال کردن رله کنترل‌گر مورد استفاده قرار می‌گیرد. هنگامی که سطح آب از میله (الکترود) پایین‌تر رود، مدار قطع شده و رله کنترل‌گر غیرفعال می‌شود. در حالت پرآبی، مدار متصل شده و رله کنترل‌گر فعال می‌شود.

■ ۴-۱-۴ ترموستات اگزوز و نظایر آن

از دیگر تجهیزات کنترلی دیگ بخار می‌توان به ترموستات اگزوز اشاره کرد، این وسیله کنترلی در صورت بالا رفتن دمای محفظه اگزوز از دمای تعیین شده، به مشعل فرمان داده و آن را خاموش می‌کند. دمای تعیین شده برای خروجی کوره در اگزوز، بر مبنای فشار کاری محاسبه می‌گردد. در مجموع ابزارهای نظارت بر دما (ترمیستورها) برای کاربردهای مهمی که در آن‌ها دما می‌تواند دچار نوسان شود و منجر به آسیب یا خرابی تجهیزات گردد مورد استفاده قرار می‌گیرند. این ابزارها برای حفظ دما به‌منظور جلوگیری از آسیب و خرابی تجهیزات به‌کار گرفته می‌شوند. سنسور RTD یا Resistance Temperature Detector به معنی حسگر مقاومتی حرارت، حسگرهای دمایی هستند که دارای یک مقاومت بوده که مقدار مقاومت خود را بر اساس تغییرات دمایی تغییر می‌دهند. این سنسورها چندین سال است که در آزمایشگاه‌ها و تولیدات صنعتی استفاده می‌شوند و به عنوان سنسورهایی با دقت بالا و پایدار شناخته می‌شوند. ترمیستورها دو نوع هستند، PTC و NTC که در شکل ۳-۴ شماتیک آنها نشان داده شده است و در ادامه شرحی مختصر از آن بیان شده است.

۱. اندازه گیرهایی با ضریب حرارتی مثبت (Positive Temperature Coefficient) یا به اختصار PTC: مقاومت‌های الکتریکی PTCها با افزایش دما افزایش و با کاهش دما کاهش می‌یابد. فلزات اساساً عناصر PTC هستند. پلاتین متداول‌ترین فلزی است که برای ساخت PTCها استفاده می‌شود. مس هر چند مشخصه‌ای نسبتاً خطی دارد، اما حوزه‌ی اندازه‌گیری آن کم‌تر از پلاتین است و در ضمن مقاومت مخصوص کم‌تری دارد. شیب مشخصه‌ی نیکل بیشتر از پلاتین است، اما مشخصه‌ی آن برای دماهای بیش از ۴۰۰°C به شدت غیر خطی است. از تنگستن می‌توان برای اندازه‌گیری دماهای خیلی بالا استفاده نمود، اما به دلیل مشکلات ساخت و ناپایداری ویژگی‌های آن، کم‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۴. دو نوع ترموستات PTC و NTC

۲. اندازه گیرهایی با ضریب حرارتی منفی (Negative Temperature Coefficient) یا به اختصار NTC:

مقاومت‌های الکتریکی NTCها با افزایش دما کاهش و با کاهش دما افزایش می‌یابد. با استفاده از این خاصیت یعنی تغییر مقاومت در اثر دما، ترمیستور ساخته می‌شود که از آن برای تبدیل دما به انرژی الکتریکی استفاده می‌شود.

سنسورهای NTC از جمله عناصر سنجش دما هستند که از مواد نیمه‌هادی ساخته شده و به‌منظور نمایش تغییرات بزرگ در مقاومت متناسب با تغییرات کوچک دما، ساخته می‌شوند.

در سنسورهای NTC یا ضریب دمای منفی، ترمیستور تخصصی وجود دارد. به‌طور کلی، سنسورهای NTC از سرامیک سنگی تشکیل شده‌اند که از مواد بسیار حساس و با خاصیت قابل تکرار مقاومت در برابر دما تشکیل شده‌اند.

حداکثر دمای کار، بالاترین درجه حرارت است که در آن سنسورهای NTC با یک پایداری قابل قبول برای مدت زمانی طولانی کار می‌کنند. این دما نباید از بالاترین مقدار مشخص شده فراتر رود.

روش تست ترمیستور (سنسورهای دما):

برای تست سنسورها باید آن‌ها را از برد جدا کرده و به وسیله اهم متر مقاومت آن را سنجید. ولی این سنسورها چه مقاومتی باید داشته باشند که نشان دهد این سنسور سالم است؟ معمولاً برندها و شرکت‌های

مختلف سنسورهایی مختص به خود را می‌سازند که در دماهای مختلف مقاومت‌های متفاوتی دارند. اطلاعاتی که این سنسورها به برد می‌دهند، برای همان برد قابل فهم است. ضروری است جدولی که در آن اطلاعاتی در مورد مقاومت سنسور هر برند در دماهای مختلف ارائه شده است را در اختیار داشته باشید. البته دو روش دیگر برای تست این سنسورها وجود دارد که به صورت حدودی قابل استفاده می‌باشند.

روش اول:

بیشتر سنسورهای اتاقی یا NTC در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد مقاومتی معادل ۱۰kΩ دارند و سنسورهای لوله‌ای یا PTC در همین دما مقاومتی برابر با ۲۰۰kΩ دارند.

روش دوم:

شما در این روش با وصل کردن اهم متر با این سنسورها، با گرم کردن و سرد کردن آنها باید در مقاومت نشان داده شده در صفحه اهم متر تغییر ببینید. بنابراین برای تست قطعات NTC، مقاومتی که با زیاد شدن دما مقاومت آن کم می‌شود و PTC مقاومتی که با زیاد شدن دما، مقاومت آن زیاد می‌توان به روش زیر عمل نمود:

۱- دو سر سیم‌های اهم متر را به دو سر قطعه مورد نظر متصل کنید (در صورت امکان از دو گیره سوسماری استفاده شود).

۲- سر یک سشوار روشن با باد گرم را به‌طور مستقیم به روبروی قطعه مورد نظر دمیده شود. اگر قطعه مورد نظر پس از چند ثانیه مقاومت آن افزایش یافت، قطعه مورد آزمایش PTC و سالم است. اگر قطعه مورد آزمایش با کاهش مقاومت روبرو شد، قطعه مورد نظر NTC و سالم است.

با توجه به پرکاربرد بودن سنسور PT100 از نوع PTC در صنایع مختلف، دانستن نکات کلی برای عیب یابی سنسور PT100 قابل توجه است:

۱- یک روش ساده برای تشخیص خرابی پراب PT100 اندازه‌گیری مقاومت پراب در دماهای مشخص است. دو دمای آزمون صفر و ۱۰۰ درجه سلسیوس به سادگی ایجاد می‌شود. برای ایجاد شرایط دمایی صفر درجه سلسیوس کافیست ظرفی مانند یک فلاسک را با تکه‌های یخ پر کرد و روی آن آب ریخت. سپس پراب را در فلاسک گذاشت. در این حالت مقاومت بین دو سیم سفید و قرمز باید در حدود ۱۰۰ اهم باشد. برای ایجاد شرایط دمایی ۱۰۰ درجه سلسیوس کافیست ظرفی مانند یک فلاسک را از آب جوش پر کرد، سپس پراب را در فلاسک گذاشته، در این حالت مقاومت بین دو سیم سفید و قرمز باید در حدود ۱۳۸/۵۱ اهم باشد. (مقاومت را به ورودی پراب ترانسمیتر حرارتی اعمال نمایید و برای اطمینان از صحت مقدار مقاومت اعمال شده، جریان جاری را از طریق یک آمپرمتر تحت نظر داشته باشید.)

۲- استفاده از مقاومت یا جعبه مقاومتی ده‌برابری: یک روش دیگر برای تشخیص خرابی ترانسمیتر حرارتی PT100 شبیه‌سازی پراب PT100 با استفاده از مقاومت‌ها یا جعبه مقاومتی ده‌برابری است. مقاومت متناظر با کران پایین وسط و کران بالای محدوده عملکرد ترانسمیتر حرارتی بهترین مقادیر مورد استفاده خواهند بود.

۳- تست عایقی: آسیب دیدن عایق غلاف پراب می‌تواند به عنوان عامل خطا در قرائت‌های انجام شده

توسط پراب مطرح باشد. کلیه سیم‌های سنسور را به یکدیگر اتصال کوتاه کنید، سپس با استفاده از ابزار تست عایقی فضای میان غلاف پراب و سیم‌های اتصال کوتاه شده را بررسی کنید. مقادیر قرائت شده باید بیش از ۲۰ مگا اهم باشند.

سایر متعلقات کنترلی ظروف تحت فشار

همه ظروف تحت فشار باید به حداقل دستگاه‌های کنترل‌گر و ایمنی مجهز باشند. این دستگاه‌ها عبارتند از کنترل‌کننده‌های نصب شده روی پوشش، کنترل‌کننده‌های برقی، مدارهای کنترل برای کنترل‌گرهای حد، کلید و مدار قطع کن و دستگاه‌های کنترل‌گر و تولید شعله. تا این بخش کنترل‌کننده‌های اصلی نصب شده روی پوشش ظروف به‌طور جامع شرح داده شدند، در این بخش با سایر کنترل‌گرهای جانبی ونحوه انجام تست آنها آشنا می‌شویم.

۱. کنترل‌گرهای برقی:

تمامی سیم‌های برق، کنترل‌گرها، دستگاه‌های تولید گرما و لوازم مشابه مورد نیاز کار دیگ‌ها باید مطابق با مناسبات «آیین‌نامه ملی لوازم برقی NFPA-۷۰» و مقررات قانونی محلی نصب شوند و کنترل‌گرهای نصب شده روی دیگ‌ها، باید مطابق با استانداردهای ملی معین باشند.

۲. کلید و مدار قطع کن:

یک کلید یا مدار قطع کن دستی باید درست بیرون از اتاق دیگ نصب شود. این مدار قطع کن باید دارای علامت شناسایی قابل رویت باشد. اگر درب اتاق دیگ در خارج از ساختمان است، این کلید باید در داخل ساختمان قرار گیرد. اگر اتاق دیگ بیش از یک درب دارد، برای هر درب باید یک کلید وجود داشته باشد. کلید یا مدار قطع کن باید برای تحقق موارد زیر نصب شود:

۱. در مشعل‌های گازی و نفتی که در آنها یک فن روی محور مشترک با پمپ سوخت واقع است، مشعل و کنترل‌گرها باید قطع شوند.

۲. در مشعل‌های برقی با متعلقات منفصل، تغذیه سوخت ورودی به محفظه احتراق باید قطع شود.

۳. تست کنترل فاز:

برای انجام تست کنترل فاز، ضریب درصد کنترل فاز را روی عددی پایین قرار داده چنانچه سیستم از مدار خارج شود نشان‌دهنده سالم بودن کنترل فاز می‌باشد.

۴. تست چشمی (فتوسل) مشعل:

فتوسل را از داخل مشعل بیرون کشیده سپس دو سر سیم فتوسل را به یک اهم متر وصل نموده و فتوسل را در دست طوری نگه داشته که نوری به آن نرسد، در این صورت اهم متر مقاومت کمی را نشان خواهد داد. سپس دست خود را باز کرده و به فتوسل نور برسانید، چنانچه مقاومت دو سر سیم بالا رود، پس فتوسل سالم است. برای کارکرد بهتر فتوسل باید برای تابلو برق سیم ارت نصب گردد.

۵. دماسنج و کنترل‌گر دما:

برای نشان دادن دمای آب درون دیگ، لازم است یک دماسنج روی دیگ گرمایش با آب گرم نصب شود. دو کنترل‌گر دما در یک دیگ گرمایش با آب گرم، دمای اضافی دیگ را کنترل می‌کنند. یکی کنترل‌گر حد دمای زیاد است که تغذیه سوخت را قطع می‌کند و باعث می‌شود دمای آب به حداکثر دمای آب در خروجی دیگ نرسد. کنترل‌گر دیگر، وقتی دمای دیگ به دمای عملیاتی که کمتر از حداکثر دمای آب است می‌رسد، تغذیه سوخت را قطع می‌کند.

۶. شیر قطع:

شیر قطع برای جداسازی دیگ بخار از سیستم به‌کار می‌رود و باید در دو طرف خطوط تغذیه و برگشت در نزدیکی دیگ واقع شود. اگر دیگ بالای سیستم است و بدون تخلیه سیستم مصرف‌کننده می‌تواند تخلیه شود، شیر قطع لازم نیست. کمترین نرخ فشار یک شیر قطع دست کم باید برابر با فشار حک شده روی دیگ بوده و نرخ دما نباید از ۲۵۰°F (۱۲۱° C) کمتر باشد.

۷. شیر زیرآب:

شیر زیرآب برای خارج کردن گل و لای یا رسوب جمع شده در دیگ به‌کار می‌رود. شیر زیرآب در یک دیگ بخار باید در پایین‌ترین بخش فضای حاوی آب نصب شود. کمترین نرخ فشار شیر زیرآب دست کم باید برابر با فشار حک شده روی دیگ یا حداقل ۳۰ psi (۲۰۷kPa) باشد. نرخ دمای این شیرها دست کم باید ۲۵۰°F (۱۲۱° C) باشد. برای تخلیه یک سیستم، دو شیر قطع‌کننده لازم است. این دو شیر می‌توانند شیرهای دیر بازشو باشند که باید پنج دور کامل با دست چرخانده شود تا باز یا بسته شود. در حالت دیگر می‌توان از یک شیر زود بازشو و یک شیر دیر بازشو استفاده کرد. شیر زود بازشو باید در نزدیکی پوسته دیگ نصب شود.

۸. شیر یک طرفه و لوله آب ورودی و جبرانی:

لوله آب ورودی در یک دیگ باید یک لوله مستقل یا از طریق سیستم لوله برگشت باشد. جریان آب ورودی از این لوله مستقل، نباید مستقیماً روی قطعاتی از دیگ که در معرض تابش مستقیم گرما از کوره هستند، تخلیه شود. یک شیر یک طرفه باید روی خط آب ورودی نزدیک دیگ نصب شود. یک شیر قطع باید بین شیر یک طرفه و دیگ، یا بین شیر یک طرفه و سیستم لوله برگشت نصب شود.

بسیاری از قوانین از «آیین‌نامه ASME CSD - 1: دستگاه‌های کنترل‌گر و ایمنی برای دیگ‌های خودکار» اقتباس شده‌اند. این کنترل‌گرها که ممکن است برقی یا بادی باشند، باید مطابق با مقتضیات این آیین‌نامه روی دیگ نصب شوند. مالک یک دیگ باید مقتضیات قوانین محلی را نیز رعایت کند. کنترل‌گرها بر اساس وظیفه‌ای که در دیگ انجام می‌دهند طبقه بندی می‌شوند که عبارت‌اند از کنترل‌گر عملیاتی، کنترل‌گر حد، کنترل‌گر ایمنی و کنترل‌گر برنامه‌پذیر.

۹. کنترل‌گر عملیاتی:

کنترل‌گرهای عملیاتی دستگاه‌هایی هستند که عملیات مشعل سوخت را کنترل می‌کنند تا مطابق با

شرایط مطلوب کار کند. این کنترل‌گرها وظایف زیر را انجام می‌دهند:

- راه اندازی، توقف و تعدیل مشعل
- حفظ سطح آب مناسب در دیگ بخار
- حفظ فشار آب مناسب در دیگ گرمایش با آب گرم

مثال‌هایی از کنترل‌گرهای عملیاتی عبارت‌اند از کنترل‌گر محافظ شعله، کنترل‌گر حد بالای فشار، کنترل‌گر حد بالای دما (آب گرم)، کنترل‌گر حد فشار عملیاتی، کنترل‌گر حد دمای عملیاتی (آب گرم)، کنترل‌گر فشار تعدیل، کنترل‌گر دمای تعدیل (آب گرم)، کنترل‌گر حفظ شعله کم، کنترل‌گر قطع کم آبی و کنترل‌گر قطع کم آبی کمکی

۱۰. کنترل‌گر حد:

هنگامی که دیگ به حدود عملیاتی می‌رسد، دستگاه‌هایی وجود دارند که دیگ را خاموش می‌کنند. این دستگاه‌ها وظایف زیر را انجام می‌دهند:

- قطع مشعل هنگامی که فشار بخار یا دمای آب گرم از کنترل‌گر حد (۱۵psiدر دیگ بخار و (۱۲۱° C) ۲۵۰°F در دیگ آب گرم) بیشتر شود.
- قطع مشعل هنگامی که سطح آب از حداقل سطح ایمنی کمتر شود.
- در صورت لزوم، قطع مشعل در شرایط غیرعادی مانند دمای زیاد دودکش، فشار کم یا زیاد سوخت گازی و دمای کم یا زیاد سوخت نفتی.

۱۱. کنترل‌گر ایمنی:

دستگاه‌هایی در مدار کنترل مشعل و روی مشعل وجود دارند که تنها در صورتی جریان سوخت را جاری می‌کنند که شرایط لازم فراهم باشد. این دستگاه‌ها وظایف زیر را انجام می‌دهند:

- قطع جریان سوخت در صورت خرابی سیستم احتراق
- قطع جریان سوخت در صورت قطع شعله اصلی
- قطع جریان سوخت در صورت خرابی دمنده مکانیکی
- قطع جریان سوخت در صورت خرابی مدار

دیگ‌های برقی، گازی و نفتی باید به کنترل‌گر ایمنی اولیه (محافظ شعله)، کلید حد ایمنی و مشعل با المنت برقی مطابق با استاندارد ملی مجهز باشند.

۱۲. کنترل‌گر برنامه‌پذیر:

این دستگاه‌ها توالی صحیح عملکرد کنترل‌گرهای عملیاتی، کنترل‌گرهای حد و کنترل‌گرهای ایمنی را کنترل می‌نمایند تا اطمینان حاصل شود که تمامی شرایط لازم برای کارکرد صحیح مشعل فراهم است. مثال‌هایی از کنترل‌گر برنامه‌پذیر عبارت‌اند از چرخه پیش‌تخلیه و پس‌تخلیه برای خروج گازهایی که ممکن است در کوره جمع شده باشند.

۲-۴ نحوه‌ی آزمایش ایمنی سیستم آب‌رسانی

هدف از این بخش ایجاد شناخت از تعریف سختی، انواع آن، عوامل بوجودآورنده، مضرات سختی در سیستم‌های مکانیکی و دستگاه‌ها، حد مجاز سختی برای دستگاه‌ها و طرق اندازه‌گیری میزان سختی، راه‌های کاهش یا از بین بردن سختی و تصفیه آب، طرز کار دستگاه سختی‌گیر، طریقه شستشوی معکوس دستگاه سختی‌گیر رزینی (regeneration) (و احیای مجدد back wash)، مواد شیمیایی مورد استفاده برای تصفیه آب و وظایف مواد شیمیایی می‌باشد. این مقررات توصیه شده، برای تصفیه آب در دیگ‌های گرمایش با آب گرم و گرمایش با بخار کاربرد دارد.

آب حاوی ناخالصی‌های مختلف مثل جامدات، گازها، آلاینده‌های صنعتی و ضایعات دیگر است. ناخالصی‌های جامد در آب تصفیه نشده، در سطوح گرمایش دیگ به شکل شوره رسوب می‌کنند. ناخالصی‌های گازی در آب باعث خوردگی و سوراخ شدن فلز دیگ می‌شوند. در صورتی که از آب تصفیه نشده در دیگ استفاده شود، مشکلات زیادی به وجود خواهد آمد مثل شکنندگی، رسوب‌گذاری، خوردگی، انتقال آب به خط، بیش گرمایش و مشابه آن که باعث از کار افتادن دیگ یا اجزای سیستم می‌شود. آب مورد استفاده در دیگ باید به‌منظور ایمنی و داشتن بیشترین بازده، تصفیه شود.

مدیریت شرکت باید از قبل درباره نیاز به تصفیه آب برای دیگ‌ها تصمیم بگیرد. پس از این که قرار شد آب تصفیه شود، نوع تصفیه باید دقیقاً مشخص شود. در تعیین نوع تصفیه آب باید عوامل زیر در نظر گرفته شود:

۱. نوع دیگ: یعنی چدنی یا فولادی، بخار یا آب گرم. برای دیگ‌های مختلف موجود در یک سیستم، از روش‌های مختلف تصفیه آب استفاده می‌شود. در چنین مواردی، برای تزریق آب تصفیه شده به هر دیگ به مخزن تغذیه دیگ نیاز است و در این صورت، خواص شیمیایی مواد داخل هر دیگ باید به درستی کنترل شود. دانستن ظرفیت نگهداری آب دیگ برای محاسبه مقدار ترکیبات تصفیه آب لازم است. این ظرفیت باید از دفترچه راهنمای سازنده تعیین شود. در صورت نبودن دفترچه راهنما، هنگام پر کردن اولیه، باید از کنتور آب استفاده شود تا ظرفیت به‌دست آید.

۲. ماهیت آب تصفیه نشده: یعنی سخت یا شیرین، خورنده یا رسوب گذار.

۳. تصفیه اولیه آب: یعنی تهیه آب شیرین، پیش‌گرمکن آب، هواگیری آب.

۴. مقدار آب جبرانی و تخلیه لازم (درین).

۵. استفاده از بخار: یعنی بخار فقط برای گرمایش استفاده خواهد شد یا برای مقاصد دیگر.

۶. مقدار نظارت و آزمون کنترل.

تصفیه آب، یک حوزه تخصصی است و فقط یک متخصص می‌تواند روش‌های مناسب تصفیه آب را برای یک دیگ، توصیه کند. شرکت‌های تصفیه آب وجود دارند که خدمات اعزام متخصص و مواد شیمیایی تصفیه دیگ را ارائه می‌دهند. یک مهندس دیگ باید با یک متخصص تصفیه آب درباره شرایط آب و نصب دیگ خاص مشورت کند. این متخصص می‌تواند کیت آزمون را به متصدیان دیگ ارائه دهد تا تحلیل آب

روزانه آنها ساده‌تر شود. همچنین، این متخصص می‌تواند ترتیب نمونه‌گیری از آب دیگ و ارسال نمونه به آزمایشگاه را مشخص نماید و برای به دست آوردن نتایج درست میزان مواد شیمیایی را تنظیم کند.

▪ ۴-۲-۱ مشکلات آب دیگ

آب تصفیه نشده مشکلات زیادی در دیگ‌های گرمایش با آب گرم و گرمایش با بخار ایجاد می‌کند. بعضی از مشکلات ایجاد شده بر اثر آب تصفیه نشده عبارت‌اند از:

۱. **خوردگی:** آب تصفیه نشده حاوی ناخالصی‌های مختلف از جمله گازهای نامحلول مثل اکسیژن و دی اکسید کربن است. این گازها باعث می‌شود آب خورنده شده و باعث خوردگی فلز دیگ شود. اگر این مسئله کنترل نشود، باعث خوردگی شدید و نازک شدن دیگ و لوله‌ها می‌شود و نهایتاً منجر به از کار افتادگی دیگ خواهد شد.

۲. **رسوب سخت:** آب تصفیه نشده حاوی نمک‌های نامحلول و اساساً ترکیبات کلسیم و منیزیم است. وقتی که یک دیگ در حال کار باشد، بی‌کربنات کلسیم و بی‌کربنات منیزیم روی سطوح فلزی گرم رسوب کرده و رسوب سخت تشکیل می‌گردد. این رسوب روی لوله‌های دیگ مانند عایق عمل کرده و باعث اتلاف گرما و بازده می‌شود. این رسوبات همچنین باعث بیش گرمایش می‌شود که باعث از کار افتادگی لوله یا کوره می‌گردد.

۳. **شکنندگی فلز:** هرگونه محلول قلیایی، به درون ترک‌هایی که به درستی ترمیم (بتونه کاری) نشده‌اند یا به درون پرچ‌ها وارد شود، باعث شکنندگی آن می‌گردد. خاصیت قلیایی یک محلول ناشی از مقدار هیدروکسیدهای موجود در محلول، مثل سود سوزآور است. شکنندگی سوزآور باعث ترک خوردن فلز، زیر خط آب و زیر پرچ‌ها، جوش‌ها، درزهای طولی و سر لوله‌های دیگ می‌شود. این نوع خرابی محدود به دیگ‌های فولادی است.

۴. **تشکیل کف، قطران، انتقال آب:** « تشکیل کف » عبارت است از نوسانات سریع سطح آب بر اثر ناخالصی روی سطح آب. « قطران » عبارت است از باقی ماندن قطرات کوچک آب در خط پایپینگ. «انتقال » عبارت است از باقی ماندن آب درون خطوط بخار ناشی از وجود مواد قلیایی، جامدات نامحلول، روغن و لجن. پدیده انتقال در خطوط بخار می‌تواند باعث ایجاد ضربه آب شود که باعث خرابی خطوط بخار یا کلکتور، خرابی اجزای سیستم یا کاهش راندمان سیستم می‌گردد.

▪ ۴-۲-۲ مواد شیمیایی برای تصفیه آب

مواد شیمیایی بسیاری برای تصفیه آب دیگ وجود دارند. هدف استفاده از این مواد شیمیایی در دیگ باید از قبل مشخص شود. معمولاً از مواد شیمیایی زیر برای تصفیه آب دیگ استفاده می‌شود:

مواد غیرآلی: مواد غیرآلی برای جلوگیری از رسوب‌گذاری از نمک‌های سخت آب به‌کار می‌روند. بعضی از مواد غیرآلی عبارت‌اند از:

۱- سود سوزآور (هیدروکسید سدیم) – NaOH

۲-تری سدیم فسفات (TSP) -Na_3PO_4
۳- سدیم اسید فسفات - NaH_2PO_4
۴- سدیم‌تری پلی فسفات - $Na_5P_3O_{10}$
۵- بورات سدیم -$Na_2B_4O_2$
۶- کرومات سدیم- Na_2CrO_4
۷- سولفیت سدیم- Na_2SO_3
۸- نیترات سدیم - $NaNO_3$
۹- نیتریت سدیم - $NaNO_2$

مواد آلی: مواد آلی به عنوان کلوئیدهای محافظ عمل می‌کنند. بعضی از مواد آلی مورد استفاده برای تصفیه آب عبارت‌اند از:

۱- آلژنیت سدیم و سایر مشتقات خزه دریایی (Alginate)
۲- تانن یا جوهر مازوی کبراکو(quebracho tannin)
۳- لیگنین سولفونات (ligning sulfonate)
۴- نشاسته

■ ۳-۲-۴ وظایف مواد شیمیایی

برای تصفیه آب دیگ از مواد شیمیایی مختلف استفاده می‌شود. این مواد که به گروه‌های مختلف تقسیم می‌شوند، وظایف خاصی در تصفیه آب ناخالص و تبدیل آن به آب مناسب برای دیگ انجام می‌دهند.

۱. سود سوزآور: از هیدروکسیدسدیم (سود سوزآور) برای کنترل درجه قلیایی آب دیگ و کنترل رسوب‌گذاری نمک‌های منیزیم استفاده می‌شود. PH آب دیگ باید بین ۷ و ۱۱ باشد تا از تشکیل رسوب جلوگیری شود. آب دیگ با PH برابر با ۷ خنثی است. آب دیگ با PH بیشتر از ۷ قلیایی است.

۲. رومات‌ها یا سولفیت‌ها: کرومات سدیم و سولفیت سدیم به‌منظور کنترل خوردگی به دیگ افزوده می‌شوند. کرومات سدیم به عنوان یک بازدارنده برای حفاظت از فلز دیگ عمل می‌کند، در حالی که سولفیت سدیم یک جاذب اکسیژن است که اکسیژن را از آب دیگ جمع می‌کند. اکسیژن موجود در آب دیگ، سولفیت سدیم را به سولفات سدیم تبدیل می‌کند.

۳. فسفات ها: از فسفات‌های سدیم برای کنترل رسوب‌گذاری نمک‌های سخت به صورت آهک نامحلول و فسفات منیزیم استفاده می‌شود.

۴. نیترات‌ها و نیتریت‌ها: از نیترات‌ها برای کنترل شکنندگی فلز استفاده می‌شود. نیتریت‌ها مانند سولفیت‌ها به کنترل خوردگی اکسیژن کمک می‌کنند، اما در شرایط معین که فلزات ناهمگن به ویژه مس، برنج یا لحیم نرم در آب دیگ غوطه ور باشند، باعث خوردگی موضعی شدید می‌شوند، مگر این که از عوامل

بازدارنده مناسب استفاده شود. لازم به ذکر است که استفاده از آین مواد محدود به سیستم‌های آب گرم است.

۵. مواد آلی: از مواد آلی برای کنترل مواد نامحلول در سوسپانسیون (Suspension به مخلوط معلق جامد در مایع گفته می‌شود که در حال عادی ناپایدار هستند و پس از مدتی نگهداری در حالت سکون ته نشین می‌شوند)، به صورت لجن و جلوگیری از تشکیل رسوب سخت و چسبنده در سطوح انتقال گرما استفاده می‌شود.

۶. ترکیبات جوشان: از ترکیبات تجاری جوشان برای تصفیه آب در دیگ‌های کوچک استفاده می‌شود. این ترکیبات که می‌توانند جامد یا مایع باشند، مخلوطی از مواد شیمیایی تصفیه آب هستند. فرمول مخلوط سازی این ترکیبات، یک راز تجاری سازنده است. به‌طور کلی از دو نوع ترکیبات جوشان استفاده می‌شود:

- ترکیبات جوشان مبتنی بر کرومات
- ترکیبات جوشان مبتنی بر ترکیبات نمک قلیایی به علاوه سولفیت سدیم

مخلوط‌سازی و جابه جایی مواد شیمیایی: مواد شیمیایی، چه جامد چه مایع، باید با دقت جا به جا شوند زیرا بسیار قلیایی بوده و به پوست آسیب می‌رسانند. همیشه به‌خاطر داشته باشید که مواد شیمیایی مایع را قبل از استفاده، رقیق کنید. مواد شیمیایی جامد مطابق با دستورات تأمین‌کننده حل می‌شوند و باید کنترل شود که قبل از استفاده حل شده باشند. اگر مواد شیمیایی به آرامی حل می‌شوند، با استفاده از کاردک، محلول را هم بزنید یا آب را توسط بخار گرم کنید و مخلوط را تکان دهید.

از سیستم‌های تغذیه‌دهنده برای افزودن مواد شیمیایی به دیگ استفاده می‌شود. نوع تغذیه‌دهنده به دفعات افزودن، مقدار تخلیه و اتلاف چگالش بستگی دارد. معمولاً به روش‌های زیر تغذیه انجام می‌شود:

- در این روش، مواد شیمیایی توسط اپراتور در یک وعده یا در فواصل زمانی کوچک به دیگ افزوده می‌شود.
- در این نوع تغذیه‌دهنده، مواد شیمیایی به نسبت مقدار آب جبرانی افزوده می‌شود (یعنی با فرمان پمپ آب جبرانی فعال می‌شوند).
- در این نوع تغذیه‌دهنده، مواد شیمیایی به آرامی افزوده می‌شوند (یعنی همواره در حال تزریق اند).

۷. تخلیه زنی: از آنجایی که مقدار زیاد جامدات نامحلول، باعث تشکیل کف، قطران و انتقال آب می‌شود، برای کنترل مقدار رسوبات نامحلول و لجن درون دیگ، از تخلیه استفاده می‌شود. به عنوان یک قاعده سرانگشتی، حدود ۱۰۰۰ppm به‌عنوان حداکثر حد ایمنی جامدات نامحلول در نظر گرفته می‌شود. دفعات تخلیه با تحلیل آب دیگ تعیین می‌شود که باید حداقل باشد، زیرا باعث اتلاف گرما و مواد شیمیایی می‌گردد.

■ ۴-۲-۴ روش‌های تصفیه آب

آب دیگ را می‌توان قبل از ورود به دیگ (تصفیه خارجی) یا در درون دیگ (تصفیه داخلی) تصفیه کرد. با وجود این، آب دیگ با ترکیبی از تصفیه خارجی و داخلی بهتر تصفیه می‌شود تا بتواند در برابر مشکلات ناشی از آب تصفیه نشده مقاومت کند.

۱. تصفیه خارجی: از تصفیه خارجی برای خارج کردن نمک‌های رسوب ساز و گازهای نامحلول استفاده

می‌شود. این نوع تصفیه شامل نرم‌کننده زئولیت، فرآیند سود آهک، هواگیری و کانی زدایی است.

۲. تصفیه داخلی: در تصفیه داخلی، مواد شیمیایی مستقیماً به دیگ افزوده می‌شوند. روش تصفیه به شرایط آب درون شبکه آب و بخار بستگی دارد. می‌توان سولفیت سدیم که جاذب اکسیژن است را به آب دیگ تزریق کرد، سولفیت سدیم با اکسیژن واکنش داده و به سولفات سدیم تبدیل شده که در کف دیگ جمع می‌شود و سپس سولفات سدیم از طریق خط تخلیه کف دیگ یا خط تخلیه دائمی یا اتومات، تخلیه می‌گردد.

از آنجا که دیگ‌های چدنی نسبت به دیگ‌های فولادی، کمتر در معرض خوردگی هستند، در صورتی که تمیزکاری سالیانه دیگ (در واحدهای گرمایش کم فشار) انجام شود، تصفیه آب لازم نیست. اگر سیستم بخار یک سیستم بسته باشد، یعنی بخار به صورت چگالیده به دیگ برگردد و آب جبرانی اندک باشد، تاثیر آب تصفیه نشده در دیگ قابل چشم پوشی است. اگر آب دیگ تصفیه نشود، انجام تمیزکاری اسیدی دوره‌ای برای زدودن رسوبات لازم است.

■ ۵-۲-۴ نگهداری از دیگ‌های رزرو:

گاهی از برخی دیگ‌ها به صورت فصلی استفاده می‌شود، پس ممکن است برای مدت طولانی (بیش از ۳۰ روز) بیکار باشند و باید با روش درست کنار گذاشته شوند. این روش با طول مدت خاموش بودن و شرایط کارخانه تعیین می‌شود. روش‌های کنارگذاری نادرست دیگ، باعث آسیب دیدگی ناشی از خوردگی اکسیژن و سوراخ شدن بدنه می‌گردند. بدون توجه به روش مورد استفاده، ابتدا باید دیگ را از سمت آب و سمت آتش کاملاً تمیز کرد و کلیه تعمیرات را انجام داد. طی دوره بیکاری دیگ، با تخلیه و خشک نگه داشتن کلیه سطوح آن و یا با پر کردن کامل با آب تصفیه شده، در برابر خوردگی محافظت می‌شود.

۱. روش خشک: در صورتی که دیگ در معرض یخ زدگی باشد یا قرار باشد مدتی طولانی بیکار باشد، باید مراحل زیر را انجام داد (از این روش در دیگ‌های چدنی استفاده نکنید):

- دیگ را کاملاً تخلیه و تمیز کنید.
- دیگ را با هوای گرم خشک کنید.
- آهک، ژل سیلیکا، یا جاذب رطوبت مناسب درون سینی‌های باز درون پوسته دیگ قرار دهید.
- ورودی‌های دیگ را محکم ببندید تا رطوبت و هوا وارد نشود.
- کلیه تجهیزات مربوطه، مثل مخازن و پمپ‌های چگالش، باید کاملاً تخلیه شوند.
- هر ۲ یا ۳ ماه دیگ را کنترل کنید و آهک و ژل سیلیکا را در صورت لزوم تعویض کنید.

۲. روش مرطوب: به‌منظور محافظت از دیگ طی دوره زمانی کوتاه، باید مراحل زیر را انجام دهید:

- دیگ را کاملاً تخلیه و تمیز کنید.
- دیگ را تا بالای محفظه با آب پر کرده و برای مدتی کوتاه دیگ کار کند و آب بجوشد تا گازهای نامحلول آزاد شوند.

- سود سوزآور (۴۰۰ ppm) و سولفیت سدیم (۱۰۰ ppm) به آب گرم بیفزایید. غلظت سولفات سدیم را برای دیگ‌های بخار حداقل در ۱۰۰ ppm و برای دیگ‌های آب گرم در ۳۰۰ ppm نگه دارید.
- کلیه شیرها از جمله هواکش دیگ را ببندید.
- کلیه اتصالات دیگ را از نظر نشتی کنترل کنید. به‌طور هفتگی نمونه‌گیری کنید تا مطمئن شوید که میزان قلیا و سولفیت ثابت‌اند.
- هر از گاهی آب را با پمپ بچرخانید.

۳. تمیزکاری: اگر قرار است یک دیگ برای فصل بیکاری یا برای مدت طولانی از مدار خارج شود، لوله‌ها و سایر سطوح گرمایش جانبی شعله باید کاملاً تمیز شوند. همچنین، دودکش و سایر نواحی که ممکن است دوده یا رسوب جمع شود باید تمیز شوند.

۴. حفاظت در برابر خوردگی: برای محافظت در برابر خوردگی می‌توان از روغن معدنی خنثی روی تجهیزات جانبی شعله استفاده کرد. به‌طور مشابه، یک سینی کلرید کلسیم یا آهک زنده در محفظه احتراق برای خشک نگه داشتن سطح داخلی دیگ قرار دهید.

■ ۶-۲-۴ سختی آب

سختی آب به مجموعه املاح کلسیم و منیزیم موجود در آب اطلاق می‌شود. سختی آب از نظر پایداری به دو دسته تقسیم می‌شود:

۱. سختی موقت (سختی ناپایدار یا سختی کربناتی)
۲. سختی دائم (سختی پایدار یا سختی غیرکربناتی)

سختی موقت، ناشی از وجود بی کربنات کلسیم و بی کربنات منیزیم در آب می باشد. حد اشباع این سختی ها در آب ۴۵۰میلی‌گرم در لیتر است. سختی دائم شامل سولفات ها، کلرورها، نیترات ها، فسفات ها و سیلیکات های منیزیم وکلسیم می باشد. حد اشباع سختی پایدار در آب حدود ۱۸۰۰میلی‌گرم در لیتر می باشد. واحد اندازه گیری سختی آب درکشورهای مختلف متفاوت است. مهم‌ترین واحد متداول، میلی گرم در لیتر به ازاء $CaCo_3$ می‌باشد و یا برحسب یک قسمت در میلیون قسمت که آن را با PPM (part per million) نشان می‌دهند. به طور کلی می توان گفت که سبک کردن آب و کاهش سختی آن در تأسیسات صنعتی بسیار ضروری است.

سختی آب باعث بوجود آمدن رسوب سختی در جدار لوله دیگ ها می‌شود. این امر علاوه بر افزایش افت فشار در طول مسیر، سبب کاهش ضریب انتقال حرارت و همچنین بالا رفتن دمای سطحی از دیگ که در برابر شعله مشعل است نیز می گرددکه این امر به نوبه خود ضایعاتی را در پی دارد. بنابراین مقتضی است خروجی سختی گیر همیشه صفر PPM باشد. برای کنترل این عدد از کیت‌های سختی سنج در رنج‌های مختلف می‌توان استفاده نمود.

چگونگی انتخاب تست کیت

تست کیت ها، ازنظر دقت تشخیص و همچنین دامنه اندازه گیری، انواع مختلفی دارندکه بسته به نوع مصرف باید انتخاب شوند. مثلاً تست کیتی که برای اندازه گیری آب نرم خروجی از سختی گیر مناسب است، با ضریب دقت ۲ و برای رنج اندازه‌گیری زیر PPM ۱۰۰۰ می‌باشد.

نکات قابل توجه در استفاده از تست کیت ها:

- هنگام آزمایش ظرف محلول را به صورت عمودی در دست بگیرید.
- پس از مصرف درپوش ظرف ها را محکم ببندید.
- ظرف ها را در جعبه مخصوص کیت، دور از نور و در جای خنک نگهداری نمایید.
- آب آزمایش شده و یا معرف های شیمیایی را به هیچ عنوان داخل آب مصرفی نریزید.
- محلول ها سمی و خطرناک می باشند، از تماس آنها با چشم یا پوست جلوگیری کنید.

■ ۴-۲-۷ طریقه کاهش و یا از بین بردن سختی آب جبرانی

معیارهای پذیرش آب تغذیه برای سلامت دیگ و تجهیزات آن، به‌طور کلی در پارامترهای زیر دارای محدودیت‌می‌باشد:

- PH: 10. 5 – 11
- سختی کل: 0
- TDS: 3500-4000 ppm املاح محلول
- O_2: 0. 03 mg/lit اکسیژن آزاد
- CO_2: 0. 02 mg/lit گاز کربنیک

همچنین با بازدید از داخل محفظه دیگ و بررسی وضعیت رسوبات می‌توان به شرایط آب تغذیه پی برد. لذا بررسی نوع و میزان مواد افزودنی به آب، کارکرد دستگاه دی اریتور و توانایی آن در بالا بردن دمای آب ورودی به دیگ، در این امر مفید واقع می‌گردد. ضمن اینکه مطالعه نحوه عملکرد سختی گیر با استفاده از گزارشات روزانه اپراتور، اطلاعاتی از وضعیت سلامت سیستم بیان می‌کند. برای این منظور عموماً از سه روش سختی‌گیری استفاده می‌شود:

۱- دستگاه RO یا روش اسمز معکوس
۲- سختی گیرهای رزینی
۳- سختی گیرهای الکترونیکی (مغناطیسی)

۱- دستگاهRO (reverse osmosis) : اسمز معکوس روشی است که در آن آب با افزایش فشار از یک غشای نیمه‌تراوای اسمز معکوس عبور کرده و یون‌ها و مواد معدنی آن حذف می‌شوند.

۲- سختی گیرهای رزینی: این دستگاه‌ها در ظرفیت‌های مختلف برحسب نیاز ساخته می‌شوند.

ساختمان کلی سختی‌گیرها با هم مشابه بوده و تفاوت فقط در نوع تجهیزات‌کنترلی آنها است. دستگاه‌های سختی‌گیر از یک مخزن استوانه‌ای شکل که از ورق فولادی جوشکاری شده از داخل و خارج ساخته شده و مجهز به حداقل دو عدد دریچه بازشو جهت دسترسی و بازدید است. درون مخزن یک بستر از سیلیس و روی آن طبقات رزین ریخته شده است. هردستگاه دارای یک لوله برای ورود آب سخت و یک لوله برای خروج آب نرم با کلیه اتصالات و شیرآلات (یا شیر چند راهه) است. برای توزیع یکنواخت آب ورودی، در قسمت فوقانی در سختی گیر یک آب پخش کن تعبیه شده است. همچنین برای جمع‌آوری آب نرم و توزیع یکنواخت آب در زمان شستشوی معکوس، درکف هر سختی گیر یک صفحه فولادی برای قرار دادن نازل‌ها تعبیه شده است. نازل‌های پلاستیکی بر روی صفحه فولادی مستقر در کف سختی‌گیر به تعداد مناسب حداقل سه عدد به ازای هر فوت مربع سطح از سختی‌گیر نصب شده است.

برای فرآیند احیاء رزین از یک مخزن آب نمک که در حال حاضر اکثراً از جنس PVC ساخته می‌شود، استفاده می‌گردد. یک لوله دو منظوره، برای پرکردن آب و همچنین برای ورود آب نمک به داخل مخزن سختی گیر وجود داردکه معمولاً از بالا تا حدود ۲۰cm مانده به انتهای مخزن امتداد می یابد. تا زمانی که سختی به صفر PPM برسد، این فرآیند احیاء ادامه می‌یابد.

کنترل این‌سیستم به صورت دستی بوسیله شیرفلکه های برنجی، قابل تنظیم و باز و بسته شدن است و یا به صورت نیمه اتوماتیک یا شیر چند راهه و هم‌چنین با شیرهای تمام اتوماتیک نیزکنترل می‌گردد.

عملکرد سختی گیرهای رزینی به نحوی است که وقتی آب با ترکیبات شامل سولفات‌های کلسیم و منیزیم از روی رزین عبور داده می‌شود، کلسیم و منیزیم جای خود را با سدیم موجود در رزین عوض می کنند و بدین وسیله سختی آب کم می شود. زمانی که تمام یون سدیم رزین مصرف شد (رزین اشباع شد)، می‌توان آن را به وسیله عبور دادن محلول آب نمک (کلرور سدیم) احیاء نمود. بدین ترتیب عمل عکس انجام گرفته، یعنی کلسیم و منیزیم از رزین جدا شده و یون سدیم جایگزین می گردد. اندازه سختی گیرها بستگی به مقدار عبور آب در واحد زمان (دبی) از سختی گیر و مقدار املاح موجود در آب دارد. قدرت کارکرد هر دستگاه نیز بستگی به گذر آب، سرعت حرکت آب و میزان سختی آب دارد.

۳-تصفیه مغناطیسی آب‌های صنعتی: همان طور که ذکر شد، املاح کلسیم و منیزیم مخصوصاً به صورت کربنات مهم‌ترین عوامل ایجاد رسوب آب در جداره تاسیسات حرارتی هستند، بدین معنی که وقتی آبی را گرم نماییم تبلور میکروسکوپی املاح کم محلولی که به حال اشباع رسیده‌اند باعث پیدا شدن رسوب خواهند شد. هر رسوب از تجمع تعداد زیادی بلور و هر بلور از تعداد زیادی یون‌های مختلف بوجود آمده و براساس اندازه‌گیری‌های انجام شده بوسیله اشعه ایکس فاصله بین یون‌های هر بلور ۰.۰۰۲ میکرون است. برای چسبیدن یون‌های متبلور به یکدیگر به مقداری نیروی الکترومغناطیسی احتیاج است. تبلور خاص املاح کلسیم و منیزیم باعث خواهد شد این رسوبات به صورت سختی و اگر توام با سیلیس باشد به صورت شیشه‌ای به جدار تاسیسات حرارتی بچسبد و ایجاد هر میلی‌متر رسوب سخت، مصرف سوخت دیگ‌های

بخار را ۸ تا ۱۱ درصد بالا خواهد بود.

املاح کلرور و سولفات و سایر املاح کلسیم و منیزیم اثر زیادی مثل کربنات در پیدایش رسوب ندارند و املاح سدیم و پتاسیم اصولاً در تشکیل رسوب دخالتی نمی‌نمایند. مهمترین روش‌های جلوگیری از ایجاد این نوع رسوبات همان طور که به‌طور کامل‌تری در بخش ۲-۲-۴ شرح داده شدند، به اختصار به قرار زیر هستند:

۱. سبک کردن آب یعنی جانشین کردن کلسیم و منیزیم با سدیم

۲. سبک کردن آب از طریق کاهش کربنات کلسیم با استفاده از آهک و کربنات سدیم

۳. درگیر نمودن املاح کلسیم و منیزیم بصورت املاحی که ترکیب آنها خاصیت چسبندگی به جدار تاسیسات حرارتی را ندارد. (بطور مثال با تزریق فسفات)

۴. استفاده از اسید کلریدریک برای متلاشی کردن کربنات‌های کلسیم و منیزیم بدون ملح کردن (نمک شویی) آنها با استفاده از رزین‌های آنیونی و کاتیونی

اشکالاتی که روش‌های تصفیه فوق دارند عبارتند از:

- سرمایه‌گذاری زیاد اولیه مخصوصاً در روش بدون ملح کردن آب (با هزینه بهره برداری زیاد)
- غیر موثر بودن تزریق فسفات در حرارت‌های بالاتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد
- آب حاصل از سبک شدن، اغلب به شدت خورنده است.
- روش‌های تصفیه با آهک اغلب در بهره برداری نیاز به تخصص داشته و لجن زیادی در این روش‌های تصفیه بوجود می‌آید که دفع آنها خالی از اشکال نیست.

توجه به این اشکالات ذکر شده، متخصصین مربوط به تصفیه آب‌های صنعتی را وادار نموده که به فکر ابداع روش‌های جدیدتری باشند که از نظر اقتصادی و بهره برداری مقرون به صرفه بوده و اشکالاتی نظیر آنچه که بیان شد، نداشته باشد. دستگاه‌های تصفیه مغناطیسی اولین بار در ۱۹۴۵ توسط یکی از مهندسین برجسته بلژیکی به نام ورمرین اختراع گردید و از ۱۹۵۰ رسماً در صنعت تصفیه آب‌های دیگ بخار مورد استفاده قرار گرفت. بدیهی است که دستگاه فوق به مرور تکامل یافته و امروز در بیش از ۵۰ کشور جهان مورد استفاده قرار گرفته است.

همان‌طور که می‌دانیم هر اتم از تعدادی الکترون که به گرد هسته مرکزی غیر قابل تغییر در حرکت هستند تشکیل یافته و همین الکترون‌ها هستند که در فعل و انفعالات شیمیایی دخالت می‌نمایند. وقتی جریان القایی از طریق میدان مغناطیسی به اتم القاء می‌شود، تغییراتی در بالانس بار الکتریکی اتم به وقوع خواهد پیوست. از طرفی می‌دانیم وقتی یک هادی مانند آب در میدان مغناطیسی حرکت نماید، پتانسیل الکتریکی در هادی تولید خواهد شد که باعث به هم خوردن تعادل بار الکتریکی یون‌های موجود در آب، مخصوصاً یون‌های کلسیم و منیزیم خواهد گردید. قبلاً توضیح داده شده که رسوبات از تعدادی بلور که از تعداد زیادی یون تشکیل شده‌اند، بوجود خواهند آمد و بوسیله نیروی الکترومغناطیسی بهم چسبیده‌اند. حال اگر تغییراتی از طریق القای جریان الکترومغناطیسی در این نیروی چسبندگی بلورها و حتی تغییراتی در خاصیت چسبندگی رسوبات بوجود بیاوریم، مانع چسبیدن آنها و پیدایش لایه‌های تخت رسوبی در جداره تأسیسات خواهیم شد و مبنای کار واحدهای

تصفیه مغناطیسی آب نیز بر همین اصل استوار است. رسوبات املاح کلسیم و منیزیم که در حالت عادی سه محوره بوده و به صورت سخت به جدار تأسیسات حرارتی می‌چسبید، بعد از عبور آب از میدان مغناطیسی با به هم خوردن تعادل بار الکتریکی یون‌ها، فرم تبلور املاح کلسیم و منیزیم به صورتی تبدیل خواهد شد که دیگر خاصیت چسبندگی به جدار تاسیسات حرارتی را ندارند، یعنی بلورها یک محوری و بی‌شکل بوده و از طریق تخلیه زنی در دیگ‌های بخار قابل دفع هستند. چون در اثر این تغییر بار یون‌ها، مقدار کلسیم و منیزیم آب تغییری نمی‌کند، لذا خواص آب در اثر عبور از واحدهای تصفیه مغناطیسی بدون تغییر باقی می‌ماند.

پس از آنجایی که هدف اصلی یک دیگ بخار تولید بخار فوق العاده خالص با حداقل مواد جامد می‌باشد، اگر مواد جامد معلق یا محلول در بخار وجود داشته باشند و حذف نشوند احتمال بروز مسائلی مانند تشکیل رسوب، خوردگی و Carry over (انتقال آب به خط) در سیستم وجود دارد که این مسائل در نهایت منجر به کاهش تبادل حرارتی و کاهش عمر مفید تجهیزات می‌گردد.

افزایش دمای دودکش دیگ بخار نیز می تواند نشان دهنده تشکیل رسوب در سمت آتش یا سمت آب دیگ بخار باشد. این رسوبات مانع از انتقال حرارت به آب شده و سبب باقی ماندن حرارت در گازهای اگزوز می گردند. درک درستی از موازنه های جرمی شامل آب تغذیه، آب ترکیبی(makeup)، کندانس برگشتی، بلودان و میزان بخار تولیدی و اینکه این موارد چگونه بر کارایی دیگ بخار مؤثر می باشند، بسیار ضروری است و استفاده از این اطلاعات بیان شده برای تکنسین های تأسیسات، به منظور تشخیص درست مشکل و تعیین روش اصلاحی صحیح، مؤثر خواهد بود.

۳-۴ نحوه‌ی آزمایش ایمنی سیستم اگزوز دود و حذف آلاینده‌های ناشی از احتراق

آلاینده‌های نیتروژنی تولید شده توسط دیگ‌ها عبارت‌اند از اکسید نیتروژن (NO) و دی اکسید نیتروژن (NO_2)، که مجموعاً به آنها NO_x گفته می‌شود. ۹۵٪ از NOx تولید شده طی احتراق، NO است. وقتی که NO در هوا پخش شود، واکنش داده و NO_2 تشکیل می‌شود که با آلاینده‌های دیگر ترکیب شده و ازن تشکیل می‌شود. یک دیگ صنعتی گاز طبیعی (با NO کنترل نشده) می‌تواند (۱۱۲ ppm) ۰.۱۳۳lb/ MMBtu اکسید نیتروژن تولید کند.

NO_x سمی بوده و نقش عمده‌ای در تشکیل باران اسیدی، مه و ازن ایفا می‌کند(تاثیر استنشاق بیش از حد ازن در کوتاه مدت، احساس سوزش در مجرای تنفسی و در نتیجه سرفه می‌باشد). انتشار NO_x تحت تأثیر عواملی مثل دمای شعله، مقدار نیتروژن در سوخت، میزان هوای اضافی و دمای هوای احتراق است. در دیگ‌های صنعتی، NO_x به دو صورت تشکیل می‌شود:

۱. **NO_x حرارتی:** NO_x حرارتی هنگامی تشکیل می‌شود که نیتروژن و اکسیژن در هوای احتراق در

دمای زیاد شعله با هم ترکیب می‌شوند. NO_x حرارتی، حجم بیشتری از NO_x تشکیل شده طی احتراق گازها و نفت‌های سبک را تشکیل می‌دهد.

۲. NO_x سوختی: NO_x سوختی با واکنش نیتروژن سوخت با اکسیژن هوای احتراق تشکیل می‌شود. این مشکلی جدی برای سوخت‌های گازی نیست ولی در نفت‌های حاوی نیتروژن، NO_x سوختی می‌تواند تا ٪۵۰ کل NO_x منتشره را تشکیل دهد. NO_x سوختی در دیگ‌های تجاری و صنعتی، با استفاده از صافی کاهش می‌یابد.

■ ۱-۳-۴ روش‌های کنترل NO_x

با کنترل میزان NO_x همراه با سایر آلاینده‌های اولیه، میزان باران اسیدی و ازن کاهش می‌یابد. روش‌های کنترل NO_x را می‌توان به دو دسته، روش‌های کنترل احتراق و روش‌های کنترل پس احتراق تقسیم کرد:

روش‌های کنترل احتراق: این روش‌ها با کنترل تشکیل شدن NO_x طی فرآیند احتراق، باعث کاهش انتشار NO_x می‌شوند. این روش‌ها مقرون به صرفه‌تر از روش‌های پس احتراق بوده و در دیگ‌های صنعتی استفاده می‌شوند. این روش‌ها عبارت‌اند از:

۱) انتخاب سوخت: زغال سنگ دارای نیتروژن کم (کمتر از ۱.۵٪)، می‌تواند باعث عدم نیاز به استفاده از روش‌های کاهش NO_x گردد. گاز طبیعی اصلاً نیتروژن ندارد. نفت کوره دارای نیتروژن کمتری نسبت به زغال سنگ است. برای یک دیگ دارای کوره پردما باید از سوخت کم نیتروژن استفاده شود.

۲) احتراق با هوای اضافی کم: دیگ‌ها برای احتراق کامل، با هوای اضافی کار می‌کنند. اما هوای اضافی بیش از اندازه (۴۵٪<) باعث افزایش تشکیل NO_x می‌گردد، زیرا نیتروژن و اکسیژن اضافی که همراه هوای اضافی وارد شعله می‌شوند، باعث افزایش NO_x به میزان ۵ تا ۱۰ درصد نسبت به NO_x گاز طبیعی می‌گردد.

۳) انتخاب مشعل: انتخاب یک مشعل متناسب با ابعاد کوره باعث کاهش اکسیژن موجود برای تشکیل NO_x می‌شود، در حالی که باعث ایجاد شعله بزرگتر نیز می‌گردد. برای دیگ‌های قدرتی از سیستم‌های احتراق هوادمنده با NO_x کم استفاده می‌شود. این سیستم یک پکیج آماده شده و تست شده در کارخانه با احتراق NO_x کم است که دارای بازگردش گاز دودکش (FGR) و احتراق گاز ثانویه (SGC) برای کاهش میزان انتشار NO_x است. این مدل با NO_x کم را می‌توان مستقیماً در مشعل قرار داد. لذا می‌توان مشعل موجود را بدین طریق اصلاح کرده تا میزان NO_x کاهش یابد.

(Flue gas recirculation (FGR)، Secondary gas combustion (SGC))

۴) تزریق آب یا بخار: به‌منظور کاهش دمای شعله می‌توان آب یا بخار را به شعله اضافه کرد، که بدین طریق باعث کاهش تشکیل NO_x حرارتی می‌شود. تزریق آب یا بخار به سوخت گاز طبیعی می‌تواند NO_x را تا ٪۸۰ کاهش دهد. بعضی مواقع از تزریق آب یا بخار همراه با سایر روش‌های کاهش NOx استفاده می‌شود.

۵) بازگردش یا کاهش گاز دودکش: کاهش گاز دودکش (Flue Gas Reduction (FGR)) مؤثرترین روش کاهش NO_x در دیگ‌های صنعتی است. FGR روشی برای بازگردش بخشی از گازهای خروجی نسبتاً

سرد به ناحیه احتراق برای کاهش دمای شعله است. در حال حاضر، این روش مؤثرترین و رایج‌ترین روش در دیگ‌های لوله دودی و لوله آبی است. روش FGR با سوخت گاز طبیعی می‌تواند تا ۸۰٪ و با نفت کوره می‌تواند از ۲۰ تا ۲۵ درصد باعث کاهش NO_x شود.

روش‌های پس احتراق: این روش‌ها باعث حذف انتشار NO_x پس از تشکیل آن طی فرآیند احتراق می‌شوند. روش‌های پس احتراق گران‌تر از روش‌های کنترل احتراق بوده و معمولاً در دیگ‌های با ورودی بیش از ۱۰۰MMBtu/hr استفاده می‌شوند. روش‌های پس احتراق عبارت‌اند از:

۱) کاهش غیرکاتالیزوری انتخابی: این روش شامل تزریق عامل کاهش NOx مثل آمونیاک یا اوره در گازهای خروجی دیگ در دمایی حدود ۱۶۰۰-۱۴۰۰ F° (۸۷۰ ° C-۷۶۰) است. آمونیاک و اوره باعث شکست NO_x در گازهای خروجی، به آب و نیتروژن می‌شوند. اگر این روش به درستی اعمال شود، باعث کاهش NO_x تا ۵۰٪ می‌گردد.

۲. کاهش کاتالیزوری انتخابی: این روش شامل تزریق آمونیاک در گازهای خروجی دیگ در حضور یک کاتالیزور است. کاتالیزور باعث می‌شود تا آمونیاک میزان NO_x را بیش از روش غیر کاتالیزوری، کاهش دهد. از روش کاهش کاتالیزوری انتخابی می‌توان در دماهای گاز خروجی بین ۱۲۰۰-۶۵۰ F° (۶۵۰ ° C-۳۵۰) استفاده کرد. اگر این روش به درستی اعمال شود، باعث کاهش NO_x تا ۹۰٪ می‌گردد.

۴-۴ نحوه‌ی آزمایش ایمنی سیستم سوخت رسانی و مشعل

احتراق سوخت‌ها برای تولید گرما در دیگ‌های گرمایش، لازم است. یک سیستم سوخت رسانی باید در محل وجود داشته باشد تا سوخت را در شرایط مناسب، برای فرآیند احتراق تأمین کند. سوخت‌های اصلی مورد استفاده شامل گاز، نفت، زغال سنگ و برق به عنوان منبع گرما می‌باشند. سیستم سوخت شامل دستگاه‌های لازم برای ذخیره‌سازی، گرمایش، تصفیه و تأمین سوخت به دیگ در شرایط مناسب و ایمن است.

احتراق فرآیندی از ترکیب شیمیایی اکسیژن با عناصر موجود در سوخت است که باعث تولید گرما می‌شود. فرآیند احتراق برای دستیابی به احتراق کامل (یعنی سوختن تمام سوخت با کمترین مقدار هوا) طراحی می‌شود و بالاترین بازدهی احتراق تنها در احتراق کامل حاصل می‌شود. تجهیزات احتراق عبارت‌اند از پیلوت، مشعل و کنترلرها. این تجهیزات همچنین باید با کنترل تشکیل شدن NOx طی فرآیند احتراق، آلودگی هوا را نیز کاهش دهند. بخش ۴ آیین‌نامه ASME برای مقررات مراقبت و عملیات دیگ‌های گرمایش، حاوی نکاتی درباره سوخت‌ها، تجهیزات احتراق و کنترلرها است. به علاوه، مقتضیات مجموعه سوخت، کنترلرها و دستگاه‌های ایمنی سیستم احتراق را می‌توان در آیین‌نامه ASME CSD-1 یافت.

■ ۱-۴-۴ آزمون‌های دوره‌ای سیستم سوخت رسانی

آزمون‌های دوره‌ای سیستم سوخت رسانی برای همه دیگ‌ها لازم است تا بتوانند در شرایط خوب و ایمن کار کنند. اقدامات احتیاطی کافی هنگام آزمایش باید به عمل آید تا از آسیب دیدن پرسنل آزمون‌گر و تجهیزات جلوگیری شود. آزمون‌های دوره‌ای باید توسط یک متصدی یا مهندس باتجربه که با روش‌های آزمون آشنا است انجام شود. این آزمون‌ها شامل موارد زیر می‌گردد:

۱. آزمون‌های دستگاه محافظ شعله
۲. آزمون‌های راندمان احتراق
۳. آزمون‌های کنترل‌گرهای مشعل

۱. آزمون‌های دستگاه محافظ شعله:

آزمون‌های زیر برای دستگاه محافظ شعله توصیه می‌شوند:

- آزمون حرارتی (برای سوخت گاز)
- آزمون حرارتی با کلید دودکش (برای سوخت نفت)
- آزمون شمع الکترونیکی با پیلوت ایستاده (برای سوخت گاز)
- آزمون شمع الکترونیکی با جرقه قطع شونده (برای سوخت گاز)
- آزمون اسکنر شعله الکترونیکی
- آزمون اسکنر نوع الکترونیکی با تشخیص شعله پیلوت
- آزمون خاموش شدن پیلوت

۲. آزمون‌های راندمان احتراق:

یک آزمون راندمان احتراق باید روی هر دیگ، دست کم سالی یک بار انجام شود. در دیگ‌های بزرگتر می‌توان دفعات آزمون‌ها را بیشتر کرد. راندمان باید در نرخ‌های مختلف احتراق آزمایش شود تا معلوم شود که آیا مشعل‌ها دارای نرخ احتراق متغیر هستند یا خیر.

از یک تحلیل‌گر احتراق دستی برای آزمون راندمان احتراق استفاده می‌شود. این تحلیل‌گر میزان O_2، دما، مکش، NOx و CO گاز دودکش را اندازه می‌گیرد. به‌طور همزمان، این دستگاه راندمان احتراق، هوای اضافی، NOx و CO_2 (مرجع O_2 و CO هوای آزاد) را محاسبه کرده و نمایش می‌دهد. یک کاربر می‌تواند تا ۱۰۰ آزمون را ذخیره کرده و چاپ نماید، یا کل این اطلاعات را به یک کامپیوتر شخصی انتقال دهد. در شکل ۴-۴ دو نوع دستگاه آنالایزر دودکش نشان داده شده است.

شکل ۴-۴. دو نوع دستگاه آنالایزر دودکش

وجود این دستگاه و انجام این اندازه‌گیری‌ها، در هر ممیزی انرژی لازم بوده و از طریق آن می‌توان دیگ گرمایش را تنظیم کرد.

همان طور که اشاره شد احتراق سوخت یک واکنش بین اتم‌های اکسیژن و کربن همراه با تولید حرارت می‌باشد که این اکسیژن از هوای ورودی به مشعل تأمین می‌گردد. برای تکمیل احتراق سوخت به‌طور ایده آل، به مقدار مشخصی هوا نیاز است. به این مقدار هوا، معمولاً هوای استوکیو متریک گفته می‌شود. اما در واکنش‌های احتراق واقعی، برای تکمیل احتراق سوخت به‌طور کامل، هوای بیش‌تری نسبت به حالت ایده آل (یا استوکیو متریک) مورد نیاز است. بهترین کار برای اطمینان از شرایط کارکرد بهینه دیگ‌های بخار، تأمین هوای اضافی کافی برای احتراق سوخت است. عموماً ۱۰٪ هوای اضافی که هوای بهینه به نسبت سوخت را برای احتراق کامل فراهم می‌کند، پذیرفته شده است. هوای اضافی بیش از اندازه نیز باعث افزایش تلفات حرارتی از دودکش شده و نیازمند سوخت بیش‌تری برای گرم کردن این مقدار اضافی هوا، برای تنظیم دما است. از طرف دیگر، در صورت عدم تأمین هوای اضافی کافی، احتراق غیر کامل رخ می‌دهد و دمای شعله نیز کاهش می‌یابد.

بازدهی کل دیگ، از بازدهی احتراق، تلفات حرارتی دودکش و تلفات حرارتی سطوح خارجی دیگ تشکیل شده است. منظور از بازدهی حرارتی، کارآیی مشعل در تنظیم نسبت سوخت به هوای بهینه برای احتراق کامل سوخت می‌باشد. بنابراین بر اساس ترکیب و دمای گاز دودکش، می‌توان برای تعیین بهترین نسبت هوا به سوخت برای بهبود بازدهی دیگ، برخی تنظیمات مشعل را انجام داد. برای تنظیم کارکرد دیگ، قوانین عمومی زیر باید کنترل شوند:

دمای دودکش: هر چقدر دمای دودکش پایین‌تر باشد، بازدهی احتراق بالاتر است. دماهای بالای گاز در دودکش نشان‌دهنده عدم انتقال حرارت خوب بین گاز احتراق و آب است. لوله‌ها و اتاقک‌های درون دیگ بخار، باید از هرگونه دوده، ته نشست و رسوبی که ممکن است انتقال حرارت را کاهش دهند، زدوده شوند.

در عین حال دمای دودکش نباید خیلی پایین باشد، تا از چگالش بخار آب درون دودکش جلوگیری شود. آب چگالیده، با سولفور ترکیب شده و باعث خوردگی دودکش می‌گردد. حد پایین دمای گاز دودکش، برای جلوگیری از خوردگی دود کش در جدول ۱-۴ بیان شده است.

جدول۱-۴. حد پایین دمای گاز دودکش

سوخت‌های مورد استفاده در بویلر	محدوده دما (درجه سانتی گراد)
نفت کوره	۲۰۰
زغال سنگ قیر دار	۱۵۰
گاز طبیعی	۱۰۵

میزان CO_2: هر چقدر سطح CO_2 بالاتر باشد، بازدهی احتراق بیشتر است. سطح پایین قابل قبول برای CO_2 در دیگ‌های بخار گاز سوز ٪۱۰ و در دیگ‌های بخار گازوییل سوز ۱۴ درصد است. در صورتی که سطح CO_2 از این حدود کم‌تر باشد، به احتمال زیاد احتراق کامل نیست. نسبت هوا به سوخت باید طوری تنظیم گردد تا هوای اضافی بیشتری تامین شود.

میزان CO: هیچ مقداری از CO نباید در گاز دودکش موجود باشد. در واقع، وجود CO نشان‌دهنده واکنش احتراق ناقص است و نشان‌دهنده آن است که هوای دمش کافی نیست. وجود CO در گاز دودکش را می‌توان از روی نشستن دوده روی لوله‌ها و اتاقک‌های دیگ بخار، تشخیص داد.

میزان O_2: هر چقدر سطح O_2 پایین‌تر باشد، بازدهی احتراق بالاتر است. در واقع، سطح بالای O_2 نشان‌دهنده مقدار هوای بیش از حد نیاز است. سطح بالای قابل قبول برای O_2، ۱۰٪ است. وقتی که سطح O_2 بیش از ۱۰٪ باشد، باید هوای اضافی کاهش داده شود.

در صورت کافی نبودن هوای اضافی، می‌توان از روش تنظیمات زیر در دیگ بخار استفاده نمود:

۱- دیگ بخار را با یک نرخ احتراق مشخص، به‌کار انداخته و کنترل احتراق را روی تنظیم دستی قرار دهید.

۲- پس از رسیدن به‌کارکرد پایدار، مجموعه کاملی از اندازه گیری‌ها (یعنی تجزیه و تحلیل دمای گاز دودکش) را انجام دهید.

۳- هوای اضافی را ۱ تا ۲ درصد افزایش دهید و مجدداً اندازه گیری‌ها را انجام دهید (پس از رسیدن به شرایط کارکرد پایدار دیگ بخار).

۴- هوای اضافی را کم‌کم کاهش دهید تا زمانی که O_2 به کم‌ترین مقدار ممکن برسد. وقتی که احتراق ناقص ایجاد می‌شود و سطح CO قابل توجهی (بالاتر از ۴۰۰ppm) در گاز دودکش دیده می‌شود، همراه با تغییرات رخ داده اندازه گیری‌ها را انجام دهید (اجازه دهید دیگ بخار به شرایط کارکرد پایدار برسد).

۵- داده‌های اندازه‌گیری شده را برای تعیین تغییرات سطح CO به صورت تابعی از درصد O_2 در گاز

دودکش، رسم نموده. با مشاهده نمودار حد O_2 بیش از مقدار کمینه، قابل استخراج است. معمولاً، محدوده ۰.۵٪ تا ۲٪ بیش از مقدار کمینه، برای O_2 استفاده می‌شود.

۶- برای نگه داشتن سطح O_2 اضافی، در محدوده‌ای که در گام ۵ مشخص شد، کنترل‌های مشعل را باید ریست نمود.

۷- برای نرخ‌های احتراق مختلف که در کارکرد دیگ بخار در نظر گرفته می‌شوند، گام‌های ۱ تا ۶ را تکرار نموده. پیشنهاد می‌شود که این تست، از نرخ‌های احتراق بالاتر به پایین انجام پذیرد.

برای اطمینان از کارکرد صحیح دیگ بخار، کنترلرهای عملیاتی باید با دقت، در فاصله‌های زمانی مناسب (یک یا دو ماه) باز بینی شوند.

هم‌چنین نمودارهایی وجود دارند که از آن‌ها می‌توان برای تعیین بازدهی جامع دیگ بخار بر اساس اندازه‌گیری ترکیب و دمای گاز دودکش، استفاده نمود.

۸- مشعل و کنترل‌گرها: محفظه احتراق دارای پوشش نسوز حداقل ۲ اینچی است تا بتواند در برابر حرارت مقاومت کند و برای دماهای کاری ۲۰۰۰° F (۱۰۹۳. ۳° C) یا بیشتر تایید شده‌اند. تمامی چند راهه‌های گاز باید خارج از محفظه احتراق بوده و هوای اولیه باید مستقیماً از خارج کلکتور تامین شود. احتراق در حالت چهار زمانه با کنترل الکترونیکی انجام شده و دمای آب باید دائماً کنترل گردد و مشعل باید برای بهترین کارکرد تنظیم شود. یک مجموعه گازسوز باید مطابق با مقتضیات آیین‌نامه ASME CSD-۱ (دستگاه‌های کنترل‌گر و ایمنی برای دیگ‌های خودکار) تعبیه شود. سیستم ایمنی احتراق، دارای احتراق الکترونیکی متناوب با نظارت شعله الکترونیکی است. در صورت قطع شعله، مدار کنترل ۱۱۵ ولت در کمتر از ۰.۸ ثانیه عمل می‌کند.

سیستم کنترل استاندارد با برق VAC24 و مبدل رده ۲ کار می‌کند. همه کنترل‌گرها باید مطابق مقتضیات استاندارد ANSI Z21. 13 و آیین‌نامه ASME CSD-1 باشند. این کنترل‌گرها شامل موارد زیر هستند:

- محافظ احتراق
- کلید حد دمای زیاد
- کنترل‌گر دمای کار
- تنظیم‌کننده فشار گاز
- شیر گاز برقی
- حسگر جریان آب
- شیر قطع گاز دستی

■ ۲-۴-۴ انتخاب سوخت

انتخاب سوخت که قبلاً بر اساس صرفه اقتصادی انجام می‌شد، در دنیای امروز تحت حاکمیت قوانین آلودگی هوا قرار دارد. این اقدامات دولتی و محلی و اقدامات آژانس حفاظت از هوای پاک ۱۹۶۳ در سال‌های ۱۹۷۰، ۱۹۷۷ و ۱۹۹۰ اصلاح گردید که قانون اصلاح شده سال ۱۹۹۰ شامل ۱۱ عنوان درباره امکان تأثیر منابع

بر آلودگی هواست.

گاز مورد استفاده در دیگ‌ها می‌تواند به شکل خنثی، صنعتی، مخلوط یا گاز نفتی مایع باشد. گاز طبیعی شامل متان (۹۹-۷۵)٪، اتان (۲۳-۵)٪ و درصد کمی از سایر گازها (۱۱-۰.۰۰۸)٪است. از این نوع گاز در سطح وسیع استفاده می‌شود زیرا تمیز می‌سوزد و آلودگی اندکی دارد. همچنین به واسطه سهولت کاربرد، نیاز به نگهداری کم و هزینه معقول، عمومیت یافته است. گاز صنعتی یک محصول جانبی از فرآیندهای صنعتی است و مقدار گرمای آن بسته به ساخت آن متفاوت است. گاز کوره بلند، گاز کوره کک و گازهای پالایش، چند نمونه از گازهای صنعتی هستند. گاز مخلوط، ترکیبی از گازهای مختلف بوده و برای مقاصد خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد. ارزش گرمایی که با واحد Btu بیان می‌شود، نشان می‌دهد که یک گاز چه مقدار گرما می‌تواند تولید کند.

گاز نفتی مایع (LPG) از صنایع هیدروکربن به دست آمده و در حالت مایع در مخازن تحت فشار زیاد ذخیره می‌شود. هنگامی که این فشار کاهش یابد، مایع در فشار مشعل به گاز تبدیل می‌شود. LPG باید مطابق مقررات محاکم قانونی محلی حمل و ذخیره شود. از آنجا که پروپان و بوتان (دو نوع LPG) به عنوان سوخت اولیه گران هستند، بیشتر به صورت سوخت ثانویه یا به صورت سوخت اولیه در مناطقی که سوخت دیگری موجود نباشد، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تجهیزات سوخت: از تجهیزات سوخت برای احتراق سوخت به‌طور کارآمد و آزادسازی انرژی گرمایی موجود در سوخت استفاده می‌شود. اصلی‌ترین تجهیز سوخت، مشعل است که سوخت و هوا را، پس از طی زمان پیش‌تخلیه (برای اطمینان از این که مواد پسماند قبل از احتراق، از کوره، کانال دودبر و دودکش خارج شده اند) به داخل کوره هدایت می‌کند.

پیلوت: برای احتراق شعله قبل از احتراق مشعل، از پیلوت استفاده می‌شود. ترتیب احتراق چنین است که ابتدا شعله پیلوت روشن می‌شود، توسط یک حسگر، شعله تشخیص داده می‌شود و سپس شعله اصلی روشن می‌شود. پیلوت‌ها بر اساس زمان کار با توجه به شعله اصلی طبقه بندی می‌شوند. انواع مورد استفاده از آن عبارت‌اند از پیوسته، متناوب و ناپیوسته که پیلوت پیوسته همیشه روشن است. پیلوت متناوب، قبل از احتراق شعله اصلی روشن می‌شود و مادامی که مشعل روشن است روشن می‌ماند. پیلوت ناپیوسته، به اندازه‌ای روشن می‌ماند که مشعل اصلی روشن شود و سپس خاموش می‌شود. بیشتر پیلوت‌ها از گاز طبیعی یا پروپان استفاده می‌کنند، اگرچه در بعضی از پیلوت‌ها از نفت هم استفاده می‌شود..

نوع سوخت مورد استفاده، نوع تجهیزات احتراق را تعیین می‌کند، به عنوان مثال، تجهیزات گازسوز، تجهیزات نفت‌سوز و تجهیزات زغال‌سوز. علاوه بر این، برای کنترل کارکرد تجهیزات سوخت، کنترل‌های عملیاتی، کنترل‌های محدوده، کنترل‌های ایمنی و کنترل‌های برنامه‌ریزی لازم است.

نوع مشعل گازی را می‌توان بر اساس فشار گاز موجود انتخاب کرد. دو نوع مشعل گازی وجود دارد: مشعل اتمسفری و مشعل قدرتی که مشعل اتمسفری با لوله ونتوری از انرژی گاز برای تأمین هوای اولیه استفاده می‌کند. این مخلوط به ناحیه شعله می‌رود و وقتی که شعله تثبیت شد، هوای ثانویه از فضای اطراف کشیده می‌شود تا احتراق کامل شود. این مشعل‌ها با هوای اضافی بیشتری کار می‌کنند. مشعل اتمسفری

برای هوای احتراق، دمش طبیعی نیاز دارد. در مشعل‌های قدرتی، هوا با استفاده از یک فن دمیده می‌شود تا با گاز مخلوط شده و دم مناسب برای احتراق کامل را فراهم آورد. معمولاً از یک فن هوامکنده یا یک فن هوادمنده برای تأمین دم مناسب در کوره استفاده می‌شود. بر اساس نوع دم، مشعل‌های قدرتی به هوا مکنده و هوادمنده طبقه بندی می‌شوند:

۱- **مشعل هوامکنده:** این نوع مشعل در حالی کار می‌کند که فشار کوره قدری کمتر از فشار اتمسفر است، به‌طوری که هوای محیط می‌تواند به درون دیگ جریان یابد. وقتی که احتراق واقع شد، گازهای احتراق به درون دودکش جریان می‌یابند و سپس به اتمسفر آزاد می‌شوند. برای تامین هوای مناسب در کوره از یک فن هوامکنده استفاده می‌شود.

۲- **مشعل هوادمنده:** این نوع مشعل در حالی کار می‌کند که فشار کوره قدری بیشتر از فشار اتمسفر است. برای تامین هوای مناسب در کوره از یک فن هوادمنده استفاده می‌شود.

۴-۵ تعیین مفاد آموزش‌های ایمنی لازم برای ارایه به متصدی تاسیسات

وظایف یک متصدی یا مهندس تاسیسات عبارت‌اند از مشاهده و رسیدگی به کنترل‌گرهای مکانیکی و خودکار و انجام آزمایش‌ها، تمیزکاری و تخلیه این کنترل‌گرها برای اطمینان از کارکرد صحیح آنها می‌باشد. یک متصدی یا مهندس دیگ باید بتواند تجهیزات یا دستگاه‌های کنترل‌گر یک دیگ کم فشار را دست کم هر ۸ ساعت بازرسی کند. صلاحیت یک متصدی یا مهندس دیگ کم فشار، تحت قوانین استانداردهای ملی تعیین می‌شود. با وجود این، بسیاری از قوانین دولتی لازم می‌دانند که مالک، متصدیان یا مهندسان دارای مجوز، برای کار با دیگ‌های کم فشار به‌کار گرفته شوند. بسیاری از دانشکده‌ها و آموزشکده‌های فنی، دروسی برای گواهی متصدیان دیگ‌های کم فشار ارائه می‌دهند. عناوین رایج برای این افراد صلاحیت‌دار عبارت‌اند از متصدی کارگاه دیگ، مهندس درجه اول، دوم و یا سوم دیگ. هر متصدی یا مهندس دیگ می‌تواند امتحانات « انجمن بین المللی بازرسان دیگ و ظروف تحت فشار » (ISBI) را انجام دهد.

حالت‌های اضطراری در اتاق دیگ به دلایل مختلف روی می‌دهد. حالت‌های اضطراری ناشی از نشتی بخار، آب یا سوخت، اگر نظارت نشود و هیچ اقدامی برای اصلاح آنها صورت نگیرد می‌تواند خطرناک باشد. هرنوع آتش، انفجار یا خرابی دیگ و قطعات آن می‌تواند باعث حوادث ناگوار شود. در حالت‌های اضطراری، متصدی یا مهندس مسئول عملیات اتاق دیگ باید اقداماتی انجام دهد. هنگام کارکرد دیگ، مشعل و سیستم سوخت، اقدامات احتیاطی ایمنی عادی باید انجام شود. متصدی یا مهندس باید با اقدامات اضطراری اتاق دیگ که در جدول ۲-۴ نشان داده شده آشنا باشد.

جدول ۲-۴. حالت‌های اضطراری اتاق دیگ

عارضه	اثر	چاره
۱- سوخت		
نشتی خط گاز	آتش سوزی یا انفجار	آزمون نشتی قبل از راه اندازی
گاز مرطوب	آتش سوزی یا انفجار	کنترل سیستم تغذیه
گاز پرفشار	آتش سوزی یا انفجار	کنترل فشار گاز
نشتی شیر قطع	انفجار سمت آتش	کنترل شیرهای قطع
دمای کم نفت	انفجار سمت آتش	کنترل دمای نفت
دمای زیاد نفت	آتش کثیف و دودزا	کنترل دمای نفت
خرابی پودرکننده	احتراق ناقص	تعویض یا تعمیر نازل پودرکننده
۲- بخار		
نشتی بخار	سوختگی شدید	سفت کردن اتصالات
خرابی شیر ایمنی	خرابی دیگ بخار	تعویض شیر ایمنی
تخلیه شیر ایمنی	سوختگی شدید	تخلیه در محل امن
خرابی درجه فشار	دیگ زیر فشار اضافی	تعویض درجه معیوب
۳- آب		
سطح کم آب	آسیب به دیگ	بازدید کنترل سطح آب
رسوب‌گذاری سطوح داخلی	گرمایش زیاد	تمیزکاری سطوح داخلی
فشار زیاد مخزن	انفجار مخزن	کنترل پرشرها
۴- هوا و محصول احتراق		
هوای ناکافی	انفجار کوره	تأمین هوای کافی
فشار منفی زیاد	انفجار داخلی کوره	تنظیم فشار
کمبود اکسیژن	خطر مرگ	تنظیم اکسیژن
فشار کم پودرسازی	پودرسازی ضعیف	کنترل فشار هوای پودرسازی
نشتی منوکسید کربن	خطر مصمومیت	کنترل میزان منوکسید کربن
نشتی گاز سوختی	جراحت	از بین بردن نشتی
۵- کنترل‌ها و دستگاه‌های ایمنی		
خرابی کنترل‌گر احتراق	انفجار سمت آتش	بررسی کنترل ایمنی
خرابی پیلوت	انفجار کوره	کنترل پیلوت
تأخیر جرقه زنی	انفجار کوره	کنترل پیلوت
دستکاری کنترل ها	کارکرد نادرست	جلوگیری از دستکاری

عارضه	اثر	چاره
۶- برق		
خرابی سیم‌های برق	شوک الکتریکی	جلوگیری از خرابی عایق سیم‌ها
باز بودن جعبه تابلو برق	شوک الکتریکی	پوشاندن جعبه تابلو
خرابی سیم ارت	شوک الکتریکی	استفاده از سیم ارت مناسب
ورود غبار به تجهیزات	آتش سوزی یا انفجار	عایق کردن دستگاه‌های برقی
۷- آتش		
قطع برق	آتش سوزی یا انفجار	کارکردن صحیح با دستگاه‌ها
خرابی قطعات مکانیکی	انفجار	کارکردن صحیح با دستگاه‌ها
آتش سوزی منبع زغال	آتش سوزی	انجام اعمال ایمن
ایستگاه‌های سوخت	آتش سوزی	استفاده از سیستم‌های حفاظت در برابر آتش

آنچه که متصدیان در خصوص نگهداری و بهره برداری ایمن مخازن تحت فشار، به‌طور تخصصی و کلی باید بدانند در بخش‌های زیر بیان گردیده است.

- بهره برداری ایمن از دیگ جدید
- موارد ایمنی در راه اندازی عادی دیگ
- افزودن یک دیگ به سیستم قبلی
- بازرسی‌های دوره‌ای کنترلرها و سیستم‌های ایمنی

■ ۱-۵-۴ تمیزکاری و آماده‌سازی یک دیگ جدید

یک دیگ که جدیداً نصب شده، قبل از راه اندازی باید کاملاً تمیز شده و از آب پر شود. همچنین شستشوی سیستم‌های سوخت دیگ قبل از اولین بار استفاده، مهم است. برای آماده‌سازی یک دیگ قبل از راه اندازی، مراحل زیر باید انجام شود:

۱. **بازرسی:** داخل دیگ باید بازرسی شود تا معلوم شود که هیچ جسم خارجی مانند ابزار، تجهیزات، پارچه تنظیف، نخاله و هیچ آلودگی درون دیگ باقی نمانده است.

۲. **کنترل قبل از پرسازی:** کنترل کنید که مشعل در شرایط عملیاتی است، زیرا آب درون دیگ بلافاصله باید به جوش آید. این جوشش یا گرمایش آب تا دمای حداقل ۱۸۰°F (۸۲. ۲°C)باعث خروج گازهای محلول می‌گردد که در غیر این صورت باعث خوردگی دیگ می‌شوند.

۳. **تمیزکاری سیستم:** پس از این که دیگ به اندازه کافی از آب پر شد، سیستم باید به مدت چند روز با وجود بخار درون کل سیستم کار کند تا روغن و ضایعات از سیستم به دیگ برگردد.

۴. **جوشش:** جوشش، یک روش تمیزکاری شیمیایی برای دفع روغن و گریس از یک دیگ جدید نصب شده یا تعمیر شده است. این کار طی مراحل زیر انجام می‌شود:

۱. پر کردن دیگ تا خط آب عادی
۲. باز کردن سرپوش شیرها در بالاترین نقطه دیگ
۳. افزودن ماده جوشش مناسب از بالاترین نقطه
۴. تعویض سرپوش یا شیرهای ایمنی
۵. راه اندازی تجهیزات احتراق و کنترل کنترل‌گرهای عملیاتی، حدی و ایمنی
۶. جوشاندن آب به مدت دست کم ۵ ساعت
۷. توقف تجهیزات احتراق
۸. تخلیه دیگ
۹. شستشوی کل دیگ با جریان آب پرفشار
۱۰. پر کردن دیگ تا خط آب عادی
۱۱. افزودن ماده تصفیه دیگ برحسب نیاز
۱۲. جوشاندن آب یا حرارت دادن آن تا دمای (°180 F(2 .82C)
۱۳. اکنون دیگ آماده کار است.

ماده جوشش ذکر شده در مرحله ۳، نوعی ترکیب پاک‌کننده قلیایی از عناصر مختلف است. در رابطه با ماده شیمیایی مناسب باید با یک متخصص تصفیه آب صلاحیت‌دار مشاوره شود.

■ ۲-۵-۴ راه اندازی عادی دیگ

هنگام راه اندازی دیگ باید مراحل زیر دنبال شوند:

۱. بازنگری توصیه‌های سازنده در مورد راه اندازی مشعل دیگ
۲. قرار دادن کلید کنترل در وضعیت خاموش (Off)
۳. کنترل، نبود مانع سر راه هوای اتاق دیگ
۴. کنترل موجودی سوخت
۵. کنترل سطح آب در آبنما
۶. استفاده از شیر تخلیه، در صورت وجود، برای کنترل کنترل‌گر سطح آب
۷. تخلیه محفظه احتراق برای خروج گازهای نسوخته
۸. تمیزکاری شیشه اسکنر شعله
۹. قرار دادن شیر قطع بخار اصلی در وضعیت باز (Open)
۱۰. باز کردن شیر ورود آب سرد به آبرسان. باز کردن شیرهای مکش و تخلیه در پمپ‌ها و تنظیم کلیدهای

برقی در وضعیت مناسب

۱۱. کنترل فشار عملیاتی دیگ

۱۲. کنترل دستی، در صورت وجود، در کنترل حد بالای فشار و قطع‌کننده کم آبی

۱۳. تنظیم شیر گاز دستی یا منبع نفت کوره دستی در وضعیت باز (Open)

۱۴. تنظیم مدار قطع کن در وضعیت روشن (On)

۱۵. قرار دادن کلیدهای اضطراری دیگ در وضعیت روشن (On)

۱۶. قرار دادن کلید راه اندازی کنترل دیگ در وضعیت روشن (On یا Start)

۱۷. بالا بردن دما و فشار به آرامی

۱۸. طی راه اندازی، حضور در اطراف دیگ و مشاهده عملکرد تجهیزات و لوله کشی

۱۹. بلافاصله پس از خاموش کردن مشعل، بازرسی ستون آب و باز کردن شیرهای تخلیه برای تنظیم سطح آب

۲۰. وارد کردن موارد زیر در دفتر سوابق:

- تاریخ و ساعت راه اندازی
- نابسامانی‌های مشاهده شده و اقدامات اصلاحی انجام شده
- زمان قطع کنترل گرهای مشعل در فشار معین، آزمون‌های انجام شده و موارد مشابه
- امضای متصدی

۲۱. کنترل شیر ایمنی و انجام آزمون اهرم تخلیه

در صورتی که شرایط غیرعادی طی افزایش تدریجی فشار یا خاموش کردن پیش آید، بلافاصله کلید اضطراری را فعال کنید. تا زمانی که مشکل مشخص نشده و اصلاح نشده است، سعی نکنید دیگ را راه اندازی کنید.

تجهیزات اتاق دیگ بسته به نوع و اندازه سیستم گرمایش، متفاوت است. یک متصدی یا مهندس دیگ باید با تمامی شرایط عملیاتی و متغیرهای کارکرد تجهیزات اتاق دیگ آشنا باشد. حفظ شرایط عملیاتی صحیح و تأمین فشار بخار لازم در خروجی دیگ، از وظایف متصدی و مهندس دیگ است. شرایط زیر به‌عنوان بخشی از عملیات روزمره دیگ باید کنترل شود:

۱. **سطح آب:** اولین چیزی که متصدی دیگ هنگام ورود به اتاق دیگ باید انجام دهد، کنترل سطح آب تمام دیگ‌ها است. این کار با تخلیه آبنمای شیشه‌ای به ترتیب زیر انجام می‌شود:

- شیر آبنمای پایین را ببندید، سپس شیر تخلیه را که زیر این شیر قرار دارد، باز کنید.
- شیر تخلیه را بسته و شیر آبنمای پایین را باز کنید.
- در این نقطه، آب باید بلافاصله به شیشه برگردد، اگر آب بلافاصله برنگردد، آبنمای پایین را باز گذاشته و آبنمای بالا را ببندید.
- شیر تخلیه را باز کرده و صبر کنید تا آب جاری و شفاف شود.
- در این لحظه، شیر تخلیه را بسته و اولین آزمون فوق را در حالی که آبنمای پایین بسته است، انجام دهید.

- اگر آب در آبنما ناپدید شد، آبنما را تخلیه کنید تا ببینید آیا آب برمی‌گردد یا خیر.
- اگر آب برنگشت، بلافاصله دیگ را خاموش کنید.
- در نهایت، دیگ را سرد کرده و تا ۱ اینچ درون آبنما، آب اضافه کنید و عیب یابی نمایید.

۲. فشار بخار: گاهی شیرهای ایمنی بر اثر تشکیل رسوب و خوردگی بین دیسک و نشیمن شیر، باز نمی‌شوند. همچنین، نشتی طولانی می‌تواند باعث چسبیدن یا انجماد شیر ایمنی گردد که این موارد باید بازدید و برطرف گردند. کنترل کنید که فشارسنج، فشار صحیح را نشان می‌دهد، زیرا به فشارسنج در مقیاس‌های کوچک صفحه نمایش نمی‌توان اعتماد کرد. اگر فشار عملیاتی بیش از ۱۰psig در دیگ‌های کم فشار لازم باشد، نباید از ۱۵psig منهای فشار تخلیه شیر ایمنی، بیشتر باشد.

۳. تخلیه: برای دفع رسوبات و حفظ غلظت شیمیایی در سطح مطلوب، تخلیه لازم است. این کار با باز کردن شیر تخلیه زودبازشو و شیر تخلیه دیربازشو نصب شده در کف پوسته دیگ انجام می‌شود. هنگام تخلیه، باید ابتدا شیر زودبازشو باز شود، سپس شیر دیربازشو به آرامی باز گردد. سپس شیر دیربازشو کاملاً بسته شده و بعد از آن شیر زودبازشو بسته شود.

۴. ظهور زنگ زدگی: اگر زنگ زدگی در آبنمای شیشه‌ای مشهود است، حاکی از خوردگی در سیستم است. ابتدا خط برگشت و سایر بخش‌های سیستم را از لحاظ خوردگی بررسی کنید. سپس آب ورودی و آب دیگ را بررسی کرده و بر اساس آن، ماده تصفیه به آب اضافه کنید.

۵. نوسان خط آب: تشکیل کف یا تقطیر می‌تواند باعث نوسان خط آب دیگ شود. تشکیل کف به معنی وجود یک لایه کف روی سطح آب درون دیگ است که ممکن است بر اثر کثیفی، روغن یا سایر ناخالصی‌های درون آب دیگ حاصل گردد. تقطیر هنگامی روی می‌دهد که ذرات کوچک آب در خطوط بخار منتقل می‌شوند و باعث افزایش سطح آب دیگ می‌گردند. تشکیل کف و تقطیر را می‌توان با تخلیه دیگ، کاهش داد.

۶. اتلاف غیرعادی آب: اتلاف غیرعادی آب در یک دیگ بخار با نیاز به آب جبرانی زیاد مشخص می‌شود. در صورتی که اتلاف غیرعادی آب در دیگ وجود داشته باشد، می‌توان بلافاصله یک بازرسی کلی انجام داد تا علت معلوم شود. در نتیجه این بازرسی، تعمیر یا تعویض قطعات باید انجام شود تا مشکل اصلاح گردد.

۷. آب جبرانی: آب جبرانی به‌منظور جبران آب تلف شده یا خارج شده از سیستم، به دیگ داده می‌شود. هنگامی که آب جبرانی لازم باشد، می‌توان این کار را با یک آب رسان خودکار یا دستی انجام داد. مقدار اندکی آب باید اضافه شود زیرا به عنوان یک منبع اکسیژن، باعث خوردگی می‌شود. با وجود این، اگر مقدار زیادی آب جبرانی لازم باشد، می‌توان از یک هواگیر (دیاریتور) برای خارج کردن گازهای محلول، از جمله اکسیژن استفاده کرد یا می‌توان از یک ماده جاذب اکسیژن به عنوان یکی از فرآیندهای تصفیه شیمیایی استفاده کرد.

۸. قطع‌کننده کم آبی: آمار نشان می‌دهد که بیشتر حوادث دیگ‌های بخار ناشی از عمل نکردن قطع‌کننده کم آبی است. برای کارکرد صحیح، قطع‌کننده کم آبی، کنترل‌گر پمپ و آبرسان (در صورت وجود) را کنترل کنید. همچنین، قطع‌کننده کم آبی تحت شرایط عملیاتی باید به‌طور دوره‌ای آزمایش شود. این آزمون

با قطع آب ورودی دیگ انجام می‌شود. اگر دیگ مجهز به یک پمپ تغذیه باشد، باید آن پمپ خاموش شود تا آب ورودی قطع گردد. با قطع آب ورودی، سطح آب دیگ کمی افت می‌کند تا جایی که به نقطه‌ای می‌رسد که دستگاه قطع کم آبی عمل کرده و مشعل را خاموش می‌کند. این آزمون باید هنگامی انجام شود که دیگ با شرایط احتراق کم کار می‌کند.

۹. پدیده چگالش: هنگامی که یک دیگ گازی از حالت سرد راه اندازی شود، ممکن است در دیگ و لوله‌ها، چگالش روی دهد. بسته به حالت سرد، مقدار آب چگالیده ممکن است بقدری باشد که به نظر برسد دیگ چکه می‌کند. با وجود این، پس از گرم شدن دیگ، این آب چگالیده خشک شده و چگالش متوقف می‌شود.

▪ ۳-۵-۴ افزودن یک دیگ به سیستم قبل

وقتی یک دیگ راه اندازی می‌شود و درون خط با سایر دیگ‌هایی که از قبل در حال کار هستند قرار می‌گیرد، مراحل زیر باید انجام شود:

۱. دیگ اضافی را در حالی که شیر قطع بخار و شیر قطع برگشت بسته است، راه اندازی کنید.
۲. هنگامی که فشار دیگ به فشار خط بخار اصلی رسید، شیر قطع بخار را قدری باز کنید.
۳. اگر شرایط عادی بود، شیر قطع بخار را به آرامی باز کنید تا این که کاملاً باز شود.
۴. شیر قطع خط برگشت را باز کنید.

توجه: وقتی که شیر قطع خروجی دیگ بسته است، شیر قطع خط برگشت آن دیگ نیز باید بسته باشد.

▪ ۴-۵-۴ بازرسی دوره‌ای دستگاه‌های ایمنی و کنترل گر

مالک یا کاربر یک دیگ، باید سیستمی برای آزمایشات دوره‌ای دستگاه‌های کنترل‌گر و ایمنی ایجاد نماید. هنگام ایجاد یک لیست کنترلی دقیق، باید دستورات سازنده نیز دنبال شود. آیین‌نامه ASME CSD-1 لیست کنترلی زیر را توصیه می‌کند:

روزانه:

- کنترل درجه‌ها و عقربه‌ها
- کنترل تنظیمات کنترلرها و تجهیزات
- دستگاه قطع‌کننده کم آبی و آژیر آن
- کنترل شعله مشعل

هفتگی:

- کنترل شمع سیستم احتراق
- کنترل قدرت سیگنال شعله
- کنترل سیستم تشخیص قطع شعله
- کنترل شدت شعله
- کنترل شنیداری و دیداری شیر پیلوت و شیر سوخت اصلی

ماهیانه:

- کنترل خفه کن دودکش و تهویه
- آزمون مکش، فشار هوای فن و ضامن سیستم خفه کن
- کنترل ضامن راه اندازی شعله ضعیف
- آزمون ضامن دما و فشار کم یا زیاد نفت
- آزمون ضامن فشار گاز کم یا زیاد

شش ماهه

- تنظیم همه درجه‌ها
- کنترل قطعات سیستم تشخیص خرابی شعله
- کنترل شدت شعله
- کنترل لوله کشی و سیم کشی کلیه ضامن‌ها و شیرهای قطع
- بازرسی قطعات مشعل

سالیانه:

- تشخیص خرابی شعله، آزمون خرابی پیلوت
- سیستم تشخیص خرابی شعله، آزمایش محافظ نسوز
- کنترل کنترل‌گر مبدل سوخت دوگانه
- آزمایش کنترل‌گر فشار بخار یا دمای عملیاتی و حد بالا
- تعویض لوله‌های خلأ، اسکنرها، نازل‌ها مطابق با دستورات سازنده
- آزمایش شیرهای اطمینان و ایمنی بر اساس آیین‌نامه ASME بخش ۴

انجام آزمون احتراق:

- کنترل سیم پیچ‌ها، دیافراگم‌ها و سایر قطعات شیرهای کنترل و ایمنی
- آزمایش کلید شیر سوخت بر اساس دستورات سازنده
- آزمایش نشتی در شیرهای سوخت نفت یا لوله و پیلوت گاز
- آزمایش کلید تخلیه هوا بر اساس دستورات سازنده
- آزمایش ضامن هوا / بخار بر اساس دستورات سازنده
- آزمایش ضامن محل مشعل بر اساس دستورات سازنده
- آزمایش ضامن فنجان دوار بر اساس دستورات سازنده
- آزمایش ضامن راه اندازی سوخت ضعیف بر اساس دستورات سازنده برحسب نیاز
- تمیزکاری یا تعویض دستگاه قطع سوخت در کم آبی
- تمیزکاری صافی و پودرکننده نفت در مشعل‌های نفتی
- کنترل صافی و ظرف چکه در مشعل‌های گازی
- آزمایش سیستم تشخیص قطع شعله و پیلوت
- آزمایش سیستم تشخیص شعله و محافظ نسوز

۵

فصل پنجم

معرفی آیین‌نامه‌ها و استانداردها

معرفی آیین‌نامه‌ها و استانداردها

۱-۵ تعریف استاندارد

استاندارد مدرکی است در برگیرنده قواعد، راهنمایی‌ها یا ویژگی‌ها، برای فعالیت‌ها یا نتایج آنها به‌منظور استفاده عمومی و مکرر، که از طریق هم راءیی فراهم و به وسیله سازمان شناخته شده‌ای تصویب شده باشد و هدف آن دستیابی به میزان مطلوبی از نظم در یک زمینه خاص باشد که ضمن انجام بهینه کارها و جلوگیری از بروز مشکل، ادعاهای احتمالی را نیز حل و فصل می‌نماید.

اصل مهم قانون سلامت و ایمنی در کار

یک اصل مهم قانون سلامت و ایمنی در کار تفهیم مسؤلیت‌های کارفرما و همچنین مسؤلیت‌های کارکنان به ایشان است. این اصل مسؤلیت‌های کارفرما و کارکنان را به صورت زیر روشن می‌کند:

مسؤلیت کارفرما شامل موارد زیر است (هرچند فقط محدود به این موارد نیست):

- شناسایی مخاطرات
- ارزیابی ریسک هر خطر بر سلامت و ایمنی افراد
- تامین تجهیزات حفاظتی و اقدامات لازم
- ارائه اطلاعات و آموزش لازم به‌کارکنان

مسؤلیت کارکنان، شامل موارد زیر است (هرچند محدود به این نیست):

- همکاری با اقدامات کارفرما
- عمل به دستوالعمل‌های سلامت و ایمنی محیط کار و دنبال کردن راهنماها و علایم
- استفاده از پوشش‌ها و به‌کار بردن تجهیزات حفاظتی

بنابراین بهترین منبع برای رعایت این اصل، ارجاع به دستورالعمل‌های تصویب شده در مراجع مؤسسات استاندارد ملی و بین المللی می‌باشد.

۲-۵ آشنایی با انواع استانداردها

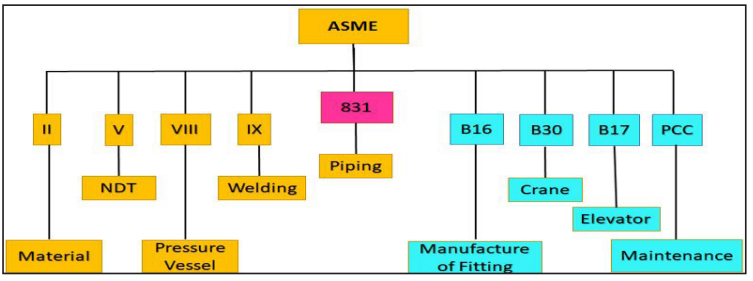
لیست استانداردهای مورد استفاده در طراحی و بازرسی مخازن تحت فشار به شرح زیر می‌باشد:

- EN 13445: استاندارد طراحی مخازن در اروپا
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII: قوانین ساخت مخازن تحت فشار
- BS 5500: استاندارد قدیمی انگلیسی که با EN 13445 جایگزین شده‌است
- AD Merkblätter: استاندارد آلمانی ساخت مخازن
- EN 286 (قسمت ۱ تا ۴): استاندارد اروپایی برای ساخت مخازن ساده (تانکر هوا)
- BS4994: مشخصات طراحی و ساخت مخازن و تانکرهای پلاستیکی مسلح
- ASME PVHO: استاندارد آمریکایی برای ساخت مخازن در تصرف انسان
- CODAP: استاندارد فرانسوی برای ساخت مخازن تحت فشار بدون آتش
- API 510: استاندارد آمریکایی برای بازرسی مخازن تحت فشار
- ASTM-1: استاندارد آمریکایی برای بازرسی دیگ‌های لوله آبی
- ASME BPVC SEC I: استاندارد آمریکایی برای قوانین ساخت دیگ‌های بخار
- BS2790: استاندارد انگلیسی برای دیگ‌های بخار و آب داغ لوله دودی

همچنین استاندارد ملی ۴۲۳۱ و ۷۹۱۱ برای دیگ‌های بخار و آب داغ لوله دودی می‌باشند که ترجمه استاندارد بین المللی BS2790 است و استاندارد DIN4754 برای دیگ‌های روغن داغ می‌باشد.

مهمترین و کاربردی‌ترین استانداردی که در این کتاب نیز بیشتر به آن ارجاع شده است، استاندارد ASME فصل ۸ می‌باشد که به تفصیل در این بخش با اصول و تقسیم بندی مطالب آن آشنا می‌شویم (استاندارد ASME section VIII-2019 (ASME Boiler and Pressure Vessel Code)).

این مجموعه شامل تحقیقات مدوني است که از سال ۱۹۱۱ توسط انجمن مهندسین مکانیك ایالات متحده در زمینه لوله، ظروف تحت فشار و اتصالات جمع‌آوری شده است. مجموعه ASME دارای بیش از ده ها بخش و زیر مجموعه می باشد که می توان به صورت کلي آنها را به صورت زیر تقسیم بندی کرد.

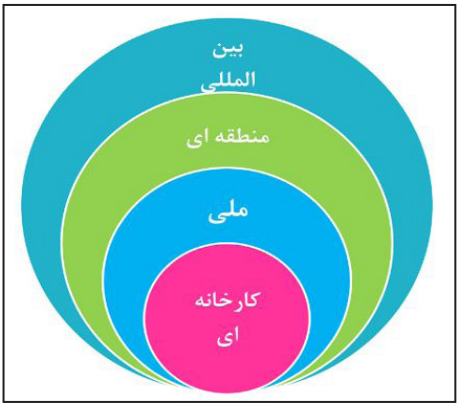


شکل ۱-۵. بخش‌های کتاب استاندارد ASME

مخازن تحت فشار، مخازن فلزی معمولاً استوانه‌ای یا کروی برای نگه داری و یا انجام فرآیندهای شیمیایی مایعات و یا گازها می‌باشند که توانایی مقاومت در برابر بارگذاری‌های مختلف (فشار داخلی، و یا فشار خارجی و خلا در داخل) را دارا می‌باشند. استاندارد اصلی برای طراحی این مخازن ASME Section VIII می‌باشد که توسط انجمن مهندسان مکانیک آمریکا تدوین شده و هر چهار سال یکبار مورد بازنگری قرار می‌گیرد.

امروزه با توجه به گسترش صنایع مختلف، نیاز به مراجع تایید شده جهت طراحی، ساخت، نصب و بازرسي فني ضروری می باشد. تدوین کد و استاندارد همزمان با انقلاب صنعتي در کشور های توسعه یافته آغاز گردید. در واقع صنعتگران تجربیات گذشته خود در صنایع را مدون و در فعالیت های صنعتي مشابه استفاده می نمودند. با وارد شدن صنعت به مراحل پیشرفته و مدرن، نیاز به استفاده از استاندارد و کد بیشتر احساس می شد. بنابراین استاندارد ها بر اساس فعالیت های تجربي گذشته و همچنین تلفیق آنها با اطلاعات دانشگاهي شکل گرفته اند و موسسات و انجمن های صنعتي مختلف اطلاعات خود را در مجموعه هایي به نام کد و استاندارد ارائه دادند.

در واقع استاندارد قوانین مشخص شده‌ای است که هم می تواند به صورت جهاني و فراگیر و هم به شکل منطقه‌ای و ناحیه‌ای استفاده شود. شکل۲-۵یك تقسیم بندی کلي از استاندارد ها را در کشور های مختلف صنعتي نشان می دهند.



شکل ۲-۵. بخش‌های کتاب استاندارد ASME

اولین فعالیت‌های محسوس در این زمینه در اواخر قرن نوزدهم در ایالات متحده شکل گرفت و با توسعه بخش‌های صنعتی شکل وسیع‌تری به خود گرفت. در ایالات متحده موسسات مختلفی مانند انجمن صنعت نفت، انجمن مهندسین مکانیک، انجمن آزمایش‌ها و مواد، انجمن جوشکاری و ... استانداردهای مختلفی را در زمینه‌های کاری خود تدوین کرده و طی سالیان اخیر و با توسعه صنعت استانداردهای مذکور را بهینه کرده‌اند. انجمن مهندسان مکانیک آمریکا (American Society of Mechanical Engineers) که به اختصار به آن ASME گفته می‌شود، یک انجمن علمی مهندسی با تمرکز در زمینه مهندسی مکانیک است. این انجمن در سال ۱۸۸۰ برای تدوین استاندارد دیگ‌های بخار بنیان گذاشته شد.

امروزه این موسسه در راستای اهدای کمک مالی، برای توسعه تکنولوژی و توسعه نیروی انسانی به‌منظور بهبود افزایش کیفیت زندگی بشر فعالیت می‌کند. این موسسه یکی از بزرگترین ناشران مجلات علمی و تخصصی بوده و همه ساله تعداد زیادی همایش تخصصی و حرفه‌ای در زمینه‌های مختلف مهندسی مکانیک برگزار می‌کند. ASME بیش از ۱۳۰۰۰۰ نفر عضو در ۱۵۸ کشور دنیا دارد.

استاندارد ASME section VIII-2019 از سه بخش (Division) تشکیل شده است که با نام DIV3، DIV2، DIV1 نام‌گذاری می‌شوند. مهم‌ترین آن‌ها DIV1 است. DIV2 و DIV3 به عنوان الزامات جایگزین برای ساخت مخازن فشار بالا معروف هستند.

در بخش DIV1 استانداردها، قوانین و مقررات لازم برای طراحی و ساخت مخازن تحت فشار بیان شده است.

استاندارد ASME section VIII DIV۱ ۲۰۱۹ به سه زیر بخش اصلی تقسیم بندی می‌شود:

- **زیربخش A:** که در آن الزامات عمومی مشخص شده‌اند و کدگذاری الزامات با UG شروع می‌شود.
- **زیربخش B:** که در آن الزامات روش‌های ساخت (جوشکاری بصورت UW، فورجینگ بصورت UF و لحیم‌کاری سخت بصورت UB) مشخص شده‌اند.
- زیربخش C: که در آن الزامات مربوط به مواد مورد استفاده در ساخت مشخص شده‌اند.

استاندارد ASME section VIII-2019 Div 2 مربوط به قوانین انتخاب مواد، طراحی‌ها و بررسی‌های غیر مخرب برای مخازنی است که در فشارهای داخلی یا خارجی بسیار بالا (بیش از ۱۵ psi) نگه داری می‌شوند.

استاندارد ASME section VIII-2019 Div 3 نیز مربوط به الزامات و استانداردهای جایگزین برای ساخت مخازن تحت فشار است.

استاندارد ASME Boiler & Pressure Vessel Code (BPVC) یکی از مهم‌ترین استانداردهای تحت حوزه این انجمن است که بر طراحی و ساخت نیروگاه‌ها و مخازن تحت فشار نظارت دارد. این استانداردها توسط افراد خبره‌ای از این مؤسسه که سال‌ها در این حوزه تخصص دارند، نگاشته می‌شود. این قسمت از استانداردها از ۱۲ بخش تشکیل شده که به شرح زیر است:

بخش ۱: قوانین ساخت مولدهای بخار نیروگاهی

- ASME BPVC Section I – Rules for Construction of Power Boilers

بخش ۲: استانداردهای مربوط به مواد و ویژگی‌های آن‌ها

- ASME BPVC Section II – Materials
- Part A – Ferrous Material Specifications
- Part B – Nonferrous Material Specifications
- Part C – Specifications for Welding Rods، Electrodes and Filler Metals
- Part D – Properties (Customary)
- Part D – Properties (Metric)

بخش ۳: قوانین مربوط به ساخت تجهیزات هسته ای

- ASME BPVC Section III – Rules for Construction of Nuclear Facility Components
  - Subsection NCA – General Requirements for Division 1 and Division 2
  - Appendices
  - Division 1
    - Subsection NB – Class 1 Components
    - Subsection NC – Class 2 Components
    - Subsection ND – Class 3 Components
    - Subsection NE – Class MC Components
    - Subsection NF – Supports
    - Subsection NG – Core Support Structures
  - Division 2 – Code for Concrete Containments
  - Division 3 – Containment Systems for Transportation and Storage of Spent Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Material
  - Division 5 – High Temperature Reactors

بخش ۴: قوانین مربوط به ساخت مولدهای بخار

- ASME BPVC Section IV – Rules for Construction of Heating Boilers

بخش ۵: استانداردهای مربوط به بازرسی‌های غیر مخرب

- ASME BPVC Section V – Nondestructive Examination

بخش ۶: استانداردهای پیشنهادی برای مراقبت و کارکرد مولدهای بخار حرارتی

- ASME BPVC Section VI – Recommended Rules for the Care and Operation of Heating Boilers

بخش ۷: دستورالعمل‌های پیشنهادی برای مولدهای بخار

- ASME BPVC Section VII – Recommended Guidelines for the Care of Power Boilers

بخش ۸: الزامات مربوط به خطوط تحت فشار

- ASME BPVC Section VIII – Rules for Construction of Pressure Vessels
  - Division 1
  - Division 2 – Alternative Rules
  - Division 3 – Alternative Rules for Construction of High Pressure Vessels

بخش ۹: الزامات مربوط به جوشکاری، لحیم کاری و شرایط آن‌ها

- ASME BPVC Section IX – Welding، Brazing، and Fusing Qualifications

بخش ۱۰: الزامات مربوط به مخازن تحت فشار از جنس پلاستیک‌های تقویت شده با الیاف

- ASME BPVC Section X – Fiber-Reinforced Plastic Pressure Vessels

بخش ۱۱: قوانین مربوط به بازرسی اجزای نیروگاه‌های هسته ای

- ME BPVC Section XI – Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components
- Division 1 – Rules for Inspection and Testing of Components of Light-Water-Cooled Plants
- Division 2 – Requirements for Reliability and Integrity Management (RIM) Programs for Nuclear Power Plants

بخش ۱۲: قوانین مربوط به ساخت و ساز و سرویس مخازن جابه جا شونده

- ASME BPVC Section XII – Rules for the Construction and Continued Service of Transport Tanks

کدهای مربوط به مولدهای بخار و مخازن تحت فشار

- ASME BPVC Code Cases – Boilers and Pressure Vessels
- استاندارد ASME بخش دوم در ویرایش ۲۰۱۹ آن، از ۴ بخش تشکیل شده است:

۱. **Part A:** مواد آهنی و ویژگی‌های آن‌ها
۲. **Part B:** مواد غیر آهنی و ویژگی‌های آن‌ها
۳. **Part C:** میله‌های جوشکاری، الکترودها، پرکننده‌های فلزی برای مواد فلزی و غیر فلزی
۴. **Part D:** خواص فیزیکی و مکانیکی مانند خواص فیزیکی و مکانیکی فلزات مانند ضریب انبساط حرارتی، هدایت الکتریکی، تنش تسلیم، استحکام، مدول الاستیسیته فلزات

قبل از پرداختن به کد و استاندارد های موجود در ASME، باید با تعاریف مربوط به کد و استاندارد آشنا بوده و تفاوت این دو مرجع بیان گردد.

کدگذاری معمولًا شامل الزامات مورد نیاز جهت انجام طراحی، انتخاب متریال، ساخت، نصب آزمایشات و انجام بازرسي از تجهیزات و مجموعه های مرتبط مانند جوشکاری و فرایند های ساخت و نصب لوله ها می باشد. در صورتي که استاندارد شامل قوانین طراحی و الزامات آن برای اتصالات لوله و تجهیزات مانند زانو، فلنج، شیرالات و غیره می‌باشد.

کد عموماً باید بدون تفسیر و به صورت کامل با در نظر گرفتن تلورانس های ذکر شده اعمال گردد. ولي استاندارد در مجموعه خود نیاز به انجام محاسبات اضافي و تفسیر و اجرا دارد.

هر کد محدود به محتویات درون خود بوده ولي مراحل استفاده و محدوده استفاده از استاندارد قابل بسط می باشد. بنابراین یك مجموعه استفاده کننده از کد و استاندارد باید تفکیك دو مورد مذکور را رعایت کند. البته کشور های صنعتي هر کدام به صورت جداگانه برای خود دارای استاندارد هستند.

تعاریف مربوط به این بخش از استاندارد ASME به‌طور مختصر در زیر اشاره شده است.

لوله و اتصالات، به مجموعه زانو، سه راهي، کاهنده و فلنج، اتصالات یا Fitting می گویند. لوله های موجود در صنایع هم به صورت درزدار و هم به صورت بدون درز موجود می باشند. در تولید لوله به شکل

درزدار ابتدا ورق‌های موجود را به صورت استوانه‌ای خم و سپس درز موجود جوشکاری می‌شود. لوله‌های بدون درز را نیز به روش کشش یك بوش تو خالی تولید می‌کنند.

استاندارد ساخت اتصالات:

عمده این استاندارد ها ASME B16. 28، ASME B16. 11، ASME B16. 9 بوده که اقلام می بایست مطابق با استاندارد ساخت باشند. یکی از مواری که در استاندارد ساخت به آن اشاره می کند، مشخصات ابعادی می‌باشد. اتصالات نیز مانند لوله ها دارای ضخامت و ابعاد مشخص می‌باشند و در استاندارد ساخت موارد مذکور قید شده است.

استاندارد ماده (متریال):

استاندارد متریال به نوع آلیاژ، خواص مکانیکي آلیاژ، آزمایش های لازم و .... اشاره می کند.

گروه بندی آلیاژها و فلزات با کد های مشخص انجام می‌شود، به عنوان مثال یکی از استاندارد های مربوط به متریال ASME section VIII-DIV 2- Part A می‌باشد.

از مزایای استفاده از استاندارد می توان، به انجام فعالیت ها با سرعت و دقت بیشتر اشاره نمود.

صنعتگران کشور ما نیز در این زمینه از استاندارد های بین المللي استفاده می کنند و در برخی موارد وابسته به نیاز یک صنعت، استاندارد هایي در آن زمینه صنعتی توسط کارشناسان مربوطه تدوین شده است مانند استانداردهای صنعت نفت ایران IPS (Iranian Petroleum Standard). بنابراین استفاده از استاندارد برای افرادی که به نوعي مشغول انجام فعالیت های صنعتي در بخش های مختلف طراحی، ساخت، نصب، تعمیر و نگهداری می باشند ضروری است.

۳-۵ نهاد قانون گذار

یکی از راهبردهای اصلی و بالادست در موضوع ایمنی و بهداشت کار که توسط جوامع بین المللی و محلی دنبال می‌شود تاسیس نهادهای قانون گذار در این زمینه است. نهادهای قانونی با اختیارات لازم برای قانون‌گذاری و اقدامات متقابل آغازگر تغییرات و پیشران سلامت و ایمنی محیط کار و زندگی هستند. دامنه فعالیت این نهادها ممکن است بین المللی، محلی و ملی باشد و یا ممکن است در قالب سازمان‌های مردم نهاد و مستقل عمل نمایند. معرفی این نهادها و سازمان‌ها از نظر آگاهی از قوانین و مقررات و همچنین شناخت خدمات و دسترسی به استانداردها و راهنماها مفید است. در این بخش نهاد قانون گذار در زمینه ایمنی کار در صنایع مختلف از جمله ظروف تحت فشار فعال هستند، معرفی می‌گردد.

■ ۵-۳-۱ شورای‌عالی حفاظت فنی کشور

شورای‌عالی حفاظت فنی ایران از معاونان وزارت خانه‌های مختلف تشکیل می‌شود و زیرنظر وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی فعالیت می‌نماید.. به استناد ماده ۸۶ قانون کار جمهوری اسلامی ایران، شورای‌عالی حفاظت فنی متشکل از اعضای مذکور در این ماده قانونی، مسئول تهیه موازین و آیین‌نامه‌های حفاظت فنی بوده و مدیرکل بازرسی کار، دبیر شورا می‌باشد. بر اساس ماده ۸۵ قانون کار، رعایت مصوبات شورای‌عالی حفاظت فنی که به استناد تبصره ۱ ماده ۸۶ به تصویب وزیر تعاون، کار و رفاه اجتماعی رسیده است؛ برای کلیه کارگاه‌ها، کارفرمایان، کارگران و کارآموزان الزامی است. همچنین به استناد بند "د" ماده ۹۶ قانون کار، بررسی و تحقیق پیرامون اشکالات ناشی از اجرای مقررات حفاظت فنی و تهیه پیشنهادهای لازم جهت اصلاح میزان‌ها و دستورالعمل‌های مربوط به موارد مذکور، مناسب با تحولات و پیشرفت‌های تکنولوژی از وظایف بازرسی کار است. از جمله مصوات این شورا، تصویب و ابلاغ آیین‌نامه تحت عنوان آیین‌نامه حفاظتی مولد بخار و دیگ‌های آب گرم بوده که در سال ۱۳۶۲به تصویب شورای‌عالی حفاظت فنی رسیده است.

■ ۵-۳-۲ آشنایی با مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار:

مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی، با استعانت از درگاه خداوند منان و همکاری با مراکز بین‌المللی در زمینه حفاظت فنی و بهداشت کار و به‌کارگیری تجهیزات پیشرفته و آزمایشگاه‌های تخصصی، وظایف مهم بررسی و تجزیه و تحلیل مخاطرات و عوامل مختلف زیان‌آور و آلاینده‌های محیط کار در سطح کشور، ارائه خدمات آموزشی نظام‌مند و منسجم در زمینه‌های مختلف حفاظت فنی و بهداشت کار در سطوح مختلف، انجام مطالعات تطبیقی در زمینه مقررات، آیین‌نامه‌ها، استانداردها و معیارهای ایمنی کار از طریق هماهنگی با مراجع ذی‌صلاح، مسأله‌شناسی نظام ایمنی و بهداشت کار کشور با تمرکز بر حوزه تحقیقات و تعلیمات با رویکرد سیاست‌گذاری و تصمیم‌سازی و خط مشی‌سازی و تهیه راهبرد و برنامه برای رسیدن از وضع موجود به وضع مطلوب در حوزه تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار کشور را به عهده دارد. ساختار این مرکز از دو معاونت اجرایی و تحقیقات و تعلیمات تشکیل شده است و با داشتن پنج گروه تخصصی ستادی و ۹ گروه تحقیقاتی و آموزشی در اقطاب صنعتی کشور، با بهره‌گیری از کارشناسان خبره و متخصص در رشته‌های مختلف ایمنی صنعتی، بهداشت حرفه‌ای، فنی و مهندسی و علوم پایه به خدمت‌رسانی در حوزه حفاظت فنی و بهداشت کار می‌پردازد. معاونت اجرایی مرکز به صورت تخصصی به بحث سیاستگذاری، برنامه‌ریزی و نظارت در حوزه آموزش، اطلاع‌رسانی و ارتقای فرهنگ ایمنی کار کشور می‌پردازد و معاونت تحقیقات در حوزه آلاینده سنجی، تست وسایل حفاظت فردی، حفاظت فنی، راهبری امور مشاوران، مشارکت در تدوین آیین‌نامه‌ها و استانداردها فعالیت‌می‌نماید.

۶

فصل ششم

منابع

منابع

منابع فصل اول

۱. ISIRI 4231 استاندارد ملی ایران به شماره ۴۲۳۱، سازمان ملی استاندارد ایران

۲. ISIRI 7911 استاندارد ملی ایران به شماره ۷۹۱۱ تحت عنوان دیگ‌های بخار آب گرم لوله دودی، سازمان ملی استاندارد ایران

۳. استاندارد ملی ایران INSO 18132-1، دیگ‌ها و مخازن تحت فشار (بخش الزامات اجرایی)، ویرایش اول، ۱۳۹۲

۴. نفردستگردی. ج، خواجه زاده. م، ایمنی کار در بهره برداری از ظروف تحت فشار سطح بازرسان و کارشناسان ایمنی، ویرایش اول، ۱۳۹۹

5. British Standards، Specification for design and manufacture of shell boilers of welded construction (BS 2790)، 1992.

6. British Standards، Specification for welded steel boilers for central heating and indirect hot water supply (BS 855)، 1990.

7. ISO 16528-1، Boilers and Pressure Vessels-Part 1: Performance Requirment، 2007.

منابع فصل دوم

۱. ISIRI 4231 استاندارد ملی ایران به شماره ۴۲۳۱، سازمان ملی استاندارد ایران

۲. ISIRI 7911 استاندارد ملی ایران به شماره ۷۹۱۱ تحت عنوان دیگ‌های بخار آب گرم لوله دودی، سازمان ملی استاندارد ایران

۳. استاندارد ملی ایران INSO 18132-1، دیگ‌ها و مخازن تحت فشار (بخش الزامات اجرایی)، ویرایش اول، ۱۳۹۲

۴. نفردستگردی. ج، خواجه زاده. م، ایمنی کار در بهره برداری از ظروف تحت فشار سطح بازرسان و کارشناسان ایمنی، ویرایش اول، ۱۳۹۹

5. British Standards، Specification for design and manufacture of shell boilers of welded construction (BS 2790)، 1992.

6. British Standards، Specification for welded steel boilers for central heating and indirect hot water supply (BS 855)، 1990.

7. ISO 16528-1، Boilers and Pressure Vessels-Part 1: Performance Requirment، 2007.

منابع فصل سوم

1. امینیان. م، راهنمای کار با دیگ‌های بخار، ویرایش اول، 1392

2. AWS D1. 1 (Structural Welding Code-Steel)، 2005 ویرایش بیست و چهارم

3. Section VIII (Boiler and Pressure Vessels Code (BPVC)) ASME، 2019 ویرایش

4. ASME (BPVC) Sec V (Nondestructive Examination)، 2015 ویرایش

5. (Welding Qualification) ASME Sec IX، 2012 ویرایش سوم

6. API 5L (Specification for Line Pipe)، 2012 ویرایش چهل و پنجم

7. API 1104 (Welding of Pipelines and Related Facilities)، 2018 ویرایش

8. ASME B 31. 3 (Processing piping guide)، 2009 ویرایش

9. British Standards، Non-destructive testing. Magnetic particle testing. General principles (BS EN ISO 9934-1)، 2016.

10. British Standards، Non-destructive testing. Magnetic particle testing. Detection Media (BS EN ISO 9934-2)، 2002.

11. British Standards، Non-destructive testing. Magnetic particle testing. Equipment (BS EN ISO 9934-3)، 2015.

منابع فصل چهارم

۱. امینیان. م، راهنمای کار با دیگ‌های بخار، ویرایش اول، ۱۳۹۲

2. AWS D1. 1 (Structural Welding Code-Steel)، 2005 ویرایش بیست و چهارم

3. Section VIII (Boiler and Pressure Vessels Code (BPVC)) ASME، 2019 ویرایش

4. ASME (BPVC) Sec V (Nondestructive Examination)، 2015 ویرایش

5. (Welding Qualification) ASME Sec IX، 2012 ویرایش سوم

6. British Standards، Non-destructive testing. Magnetic particle testing. General principles (BS EN ISO 9934-1)، 2016.

7. British Standards، Non-destructive testing. Magnetic particle testing. Equipment (BS EN ISO 9934-3)، 2015.

منابع فصل پنجم

۱. آیین‌نامه حفاظتی مولد بخار و دیگ‌های آبگرم، شورای‌عالی حفاظت فنی کشور

2. Control of Substances Hazardous to Health 2002 (COSHH). 2002؛ Available from: https: //www. hse. gov. uk/nanotechnology/coshh. htm.

3. Control of Noise at Work Regulations 2005، https: //www. hse. gov. uk/noise/regulations. htm، HSE، 2005، http: //www. legislation. gov. uk/uksi/2005/1643/contents/made.

4. DIN EN ISO 7010، GraPHical symbols، Safety colours and safety signs، Registered safety signs (ISO 7010: 2019)؛ German and English version، DIN، D. E. ISO، 2020.

5. BS 8800، Occupational health and safety management systems — Guide، British Standards Institution، B. S. Institution، 2004.

6. S. Sorrell، The meaning of BATNEEC: interpreting excessive costs in UK industrial pollution regulation. Journal of Environmental Policy & Planning، 2002. 4(1): p. 23-40.

7. TLVs-BEIs، Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices، ACGIH، ACGIH، 2019.

Technical instructions on periodic safety tests of pressure vessels

ISBN:978-600-6203-20-1