



## طراحی اتصالات جوشی در مخازن تحت فشار

### مقدمه

روشهای طراحی مکانیکی مخازن تحت فشار چندین مشغله مهم مهندسی و کاربرد تکنیک های مختلف را در بر می گیرد همه آنها برای این است که طراح مطمئن شود که واحد مخزن با اطمینان خاطر با مینیمم خرج سرمایه گذاری اولیه و خرج سرویس و تعمیرات بعدی، در مدت عمر تعیین شده، بدون ایجاد دردسر مهمی کار نماید. چندین مورد مهم از این مشغله ها در زیر بررسی می گردند.

### (۱) مقاومت مصالح

هدف اولیه طراح مکانیکی این است که محفظه ای طرح نماید به طوری که بتواند سیالهایی که در آن جریان می یابد را در خود جای دهد بعلاوه بقدر کافی مستحکم و مقاوم باشد و هیچ گونه نشستی از آن صورت نگیرد. برای اینکار نیاز به محاسبات سازه ای و تعیین ضخامت های لازم برای جداره پوسته، درپوش ها، لوله ها، فلانچ ها و نازل ها می باشد. همچنین مواد لازم برای قطعات مختلف مخزن می باید بر اساس شرایط کاری آن مانند فشار و درجه حرارت سیالها انتخاب گردد.

### (۲) ارتعاشات، تنش ها

ارتعاشات ناشی از منابع مختلف نیز می باید مد نظر طراح باشد زیرا در صورت تطابق فرکانس ارتعاشات خارجی با فرکانس طبیعی لوله ها و قطعات دیگر، ممکن است موجب بروز خسارات جبران ناپذیری گردد. توانائی ساختمانی یک مخزن در مقابل نیروهای استاتیکی چون وزن و فشار سیال نیز حائز اهمیت هستند. مخازنی که در درجه حرارت بالا کار می کنند می باید طوری طراحی شوند تا تنش های حرارتی بوجود آمده در آنها مینیمم گردد.

### (۳) خوردگی

موادی که برای ساختن قطعات مختلف مخزن استفاده می شوند می باید با سیالهای داخل خود و همچنین با مواد دیگر بکار رفته در ساختمان مخزن سازگار باشند. برای بعضی از سیالهای خورنده نیاز به فلز یا آلیاژ مخصوصی می باشد ترکیب و کاربرد فلزات مختلف در حضور سیالهایی که بعنوان الکترولیت عمل می کنند باعث تشکیل پیل الکتروشیمی می گردد که باعث خورده شدن سریع یکی از آنها می شود. بعضی از فلزات در تماس با یکدیگر، در محل اتصال بر اثر ارتعاشات وارده، سریعاً توسط خوردگی سایشی از بین می روند. همچنین با گذشت زمان خواص فیزیکی مواد بعلت تغییرات ساختمان متالورژیکی آنها که ناشی از خستگی فلز و یا واکنش با مواد و عوامل خورنده موجود در سیال می باشد به تدریج تضعیف می گردد.

## ۴) وضعیت های گذرا و غیر عادی

در طراحی مخزن علاوه بر در نظر گرفتن شرایط کارکرد عادی می باید وضعیت های غیر عادی و گذرا نیز که ممکن است در کار پیش بیاید در نظر گرفت. اینها ممکن است در سرویس عادی هنگام شروع و یا خاموش شدن دستگاه، قطع و وصل ناگهانی و پیش بینی نشده جریانها و احتمال وجود موجهای فشاری در خط جریان پدید آید. همچنین در بسیاری از نقاط احتمال وقوع زلزله نیز می باید در نظر گرفته شود.

## ۵) تعمیرات، تمیز کردن

تکنیک ساخت یکی از فاکتورهای است که در انتخاب شکل هندسی و فرم ماتریس مخزن تأثیر می گذارد و مضافاً یک فاکتور مهمی در تعیین قیمت اولیه، عمر مخزن در سرویس، کارکرد صحیح و بدون عیب مبادل و سهولت در کار تعمیراتی خواهد بود. هنگامی که مخزن برای مدت معینی در سرویس قرار گرفت رسوباتی روی سطح آن جمع می شود که باعث تضعیف عملکرد آن می گردد لذا می باید در پروندهای زمانی معینی تمیز شود و طراح می باید راههای ساده ای پیش بینی نماید تا کار تمیز نمودن، تعمیرات و تعویض قطعات به آسانی و در کمترین مدت انجام گیرد. همچنین در هنگام طراحی، راهها و یا وسایلی جهت تشخیص، تعویض و مسدود کردن لوله های معیوب می باید پیش بینی شود.

## ۶) اتصالات و سیستم های آب بندی

یکی از مهمترین مسائلی که در طراحی مکانیکی مخازن مطرح می شود طراحی سیستم آب بندی و گازکت ها در فشارهای بالا است. بعلاوه اتصالات فلانچی، در پوش ها، نازلها و ورودی و خروجی و آب بندی اتصالات آنها می باید طوری طراحی شوند تا در هنگام کار از نشت و خروج سیال فشار قوی به محیط بیرون و یا به مسیر دیگر جلوگیری گردد.

## ۱-۲ کدها و استانداردها

در سراسر دنیا چندین کد و استاندارد برای مخازن تحت فشار و مبدل های حرارتی وجود دارد که بعضی از آنها بعنوان کد ملی یک و یا چند کشور پذیرفته شده است. ممکن است در آینده کد و استانداردهای مخازن تحت فشار سازمان بین المللی استانداردها (ISO) توسط همه سازندگان و کشورهای دنیا پذیرفته شود.

در کشورهای آمریکای شمالی، مقامات دولتی کد ASME را بعنوان کد ملی پذیرفته اند. قوانین و مقررات لازم جهت طراحی مخازن تحت فشار، بویلرها و اجزاء آنها در قسمت های مختلف این کد داده شده است. همچنین تنش های مجاز برای آلیاژهای مختلف و برای شرایط بارگذاری متفاوت در این کد آمده است.

کد ASME شامل ۱۱ جزء (Section) است و هر قسمت در یک و یا چند کتاب تدوین یافته است و روبهم حدود ۲۰ کتاب قطور برای طراحی، ساخت و نگهداری مخازن تحت فشار و بویلر به چاپ رسیده است. جزء ۸ (Sect. VIII) بیشتر از سایر قسمت های دیگر برای

طراحی مخازن و مبدل های حرارتی مناسب است . کد ASME مدام توسط اعضای کمیته ASME ، مدیران و مقامات مجاز تکمیل و هر سه سال یکبار تجدید چاپ می گردد . در کشور انگلستان و بسیاری از کشورهای مشترک المنافع استانداردهای مؤسسه استاندارد بریتانیا، BSI مقررات و قوانین لازم برای طراحی مخازن تحت فشار می باشد. بعضی از کشورهای صنعتی دیگر مانند آلمان و ژاپن از استانداردهای تدوین یافته خودشان که دارای مطالب مشترک زیادی با کد ASME و BSI هستند، استفاده می کنند اما در طراحی بعضی از قطعات مثلاً در سازه های دریایی و استخراج نفت با هم اختلاف فاحشی دارند . استانداردهای گوناگون دیگری در ارتباط با مبدل های حرارتی وجود دارند که بیشتر در ارتباط با طراحی اقتصادی، تعمیراتی و صورهای مختلف کاربرد آنها می باشند . جامع ترین آنها مکمل استاندارد Sect.VIII, ASME، است. استاندارد TEMA می باشد . این استاندارد مخصوص مبدل های پوسته و لوله است و توسط کمیته ای از سازندگان و طراحان مختلف بوجود آمده و دارای مطالب ارزنده ای جهت طراحی حرارتی مکانیکی مبدل های لوله ای می باشد و مطالب آن در هر دهه یک یا دوبار تکمیل تر و تجدید چاپ می شود، بعبارت دیگر این استاندارد یک جمع بندی از تجربیات سازندگان مختلف آمریکا می باشد . استانداردهای دیگری چون API، HEI، ANSI و غیره توسط گروه های متخصص جهت بهتر طراحی کردن نوع بخصوصی از مبدل های حرارتی تدوین یافته است.

### مواد مورد استفاده در ساخت مخازن

ترکیب اسمی مواد تشکیل دهنده قطعات مختلف مخزن می بایستی در اوراق مشخصه آن ذکر گردد . مواد انتخاب شده می باید از نظر ترکیب اسمی با داده های کد (مثلاً ASME) مطابقت نماید . موادی که لازم است جوشکاری روی آنها انجام گیرد مانند رینگ های پشتی، زیانه ها و غیره می باید قابلیت جوشکاری داشته باشند . مواد رینگی پشتی می باید از نظر ترکیب اسمی مواد با فلز مادر سازگار باشند . موقعی که به یک روکش فولاد آستنیتی (مقاوم در مقابل خوردگی) نیاز باشد از ورق آستری و یا از یک لایه جوش (Cladding) می توان استفاده نمود . فلز نشانده شده روی فلز مادر می باید دارای ضخامت  $3\text{mm}$  ( $\frac{1}{8}$  in) بعد از ماشینکاری باشد .

در پوشش دادن به کمک جوش ، ضخامت لایه رویی فلز نشانده شده ( $1/16\text{mm}$ ) می باید دارای ترکیب و شرایط آلیاژ خواسته شده باشد . لایه اولی ممکن است با الکتروود آلیاژ مرغوب جوش داده شود تا جبران رقیق شدن فلز نشانده شده روی فلز مادر بشود . اگر از دو یا چند لایه استفاده شود آنگاه می باید در تست های انجام شده برای ارزیابی روکش یک آنالیز شیمیایی نیز موجود باشد تا ثابت گردد که ترکیب شیمیایی لایه خارجی با شرایط خواسته شده مطابقت دارد . همچنین سطح پرداخت شده لایه می باید توسط روش مایع نافذ (PT) تست گردد .

همه لوله های جوشکاری شده می باید توسط روش الکتریکی غیر مخرب در کارخانه مطابق روش های توصیه شده ASTM A 450 تست شوند . این تست می بایستی علاوه بر تست

فشاری انجام گیرد. هنگامی که از لوله های جوش شده فولاد زنگ نزن استفاده می شود باید با شرایط خواسته شده SA-249 کد ASME مطابقت نماید.

مواد ورق هایی که از جنس کربن استیل هستند می باید دارای کیفیت مطلوب جهت کاربرد در ساختمان مخازن تحت فشار باشند مضافاً ساختمان داخلی و دانه بندی فلز می بایستی با مقایسه با سایر کاربردها ریزتر و ظریفتر باشد.

مینیمم ضخامت آستری 2mm ( $\frac{5}{64}$  in) برای صفحه لوله است عملیات حرارتی لازم برای

ورقه آستری مطابق SA-263, 264 کد ASME می باید در کارخانه سازنده صورت گیرد. همه ورق های آستری که مطابق SA-263, 264 کد ASME هستند می باید در صورت لزوم پس از آخرین عملیات حرارتی و جرم زدایی توسط عملیات سرد مسطح شوند.

اگر ورق آستری نوع انفجاری (Explosion Cold Plate) که با SA-263, 264 کد ASME مطابقت نکند آنگاه عملیات تنش زدایی مطابق با زمان و درجه حرارت که توسط کد بکار رفته پیشنهاد می گردد، انجام می شود در صورتی که به مسطح کردن سرد نیاز باشد این کار می باید قبل از عملیات تنش زدایی انجام گیرد.

ورق آستری مطابق SA-265، از نیکل و یا آلیاژ نیکل و مس (مانل) می باید همان طوری که غلطک شده است ارائه گردد و نیازی به نرمالیزه کردن نمی باشد مگر اینکه ضخامت قطعه غلطک شده از 50 mm (2in) بیشتر است می باید مطابق ASTM A-435 تست اولتراسونیک شوند.

### طراحی اتصالات جوشی

در کد Section VIII, Div. 1, ASME، چهار کلاس مختلف برای انواع اتصالات جوشی در مخازن تحت فشار ذکر شده است. این کلاس جوش ها که با حروف A, B, C, D مشخص می شوند.

سه نوع جوش مهم و اصلی در هنگام ساخت مبادلهای حرارتی پوسته و لوله انجام می گیرد:

(a) جوش محیطی (Girth)

(b) جوش طولی (Longitudinal)

(c) اتصال جوشی نازلها به پوسته (Nozzle Attachment Welds)

سه جوش فوق الذکر می باید کاملاً عمیق باشد. اتصال بین لوله و صفحه لوله می باید مطابق استاندارد TEMA باشد. برای واحدهایی که به جوش محکم و مقاوم بین لوله و صفحه نیاز دارند روش پیشنهادی ساخت که شامل آماده سازی پی یا پی کامل محل جوش، تمیز کردن، طرز قرار گرفتن محل اتصال برای جوش، تست و سایر روشهای بازرسی و معاینه جوش همراه با یک نمونه از جوش بین لوله و صفحه لوله می باید برای مرور و بررسی، قبل از اینکه اقدام به ساخت شود، برای خریدار ارسال گردد. بعلاوه:

(۱) برای استحکام جوش لوله به صفحه لوله می بایستی طول برشی جوش (Shear Length) حداقل  $\frac{1}{4}$  برابر ضخامت لوله باشد. همچنین لوله ها در داخل سوراخ صفحه لوله منبسط می گردند.

۲) اگر طول برشی جوش از  $1/4$  برابر ضخامت حقیقی لوله کمتر باشد به آن جوش آب بندی (Seal Weld) می گویند. در این حالت می باید لوله در داخل سوراخ شیار دار صفحه لوله منبسط گردد.

۳) در بعضی از حالتها اتصال لوله و صفحه لوله طوری است که بعد از عملیات جوشکاری محل اتصال ترد می گردد، تردتر از آنچه از آنچیزی که در خصوصیات مواد خواسته شده در اوراق مشخصه مخزن ذکر شده است، برای اینکه این نوع تأثیرات مینیمم گردد می باید شکل هندسی محل اتصال بین لوله و صفحه لوله بنحو بهتری طراحی گردد و یا اینکه روش جوشکاری و عملیات حرارتی معینی بکار گرفته شود.

۴) توجه بخصوصی می باید به موادی که در هوا سخت می شوند بشود. بعنوان قسمتی از عملیات جوشکاری، سازنده می باید عملیات حرارتی بعد از جوش را انجام دهد و یا اینکه حذف و جایگزینی آن را با ارزیابی نتایج تست بعنوان قسمتی از روش جوشکاری ارائه دهد.

۵) عملیات پس گرمی جوش (Postweld heat treatment) برای جوش های استحکام (Strength Welds) همه مواد کاربردی ASME و Section I الزامی است مگر اینکه سازنده بصورت کتبی تقاضای حذف آن را نموده و کتباً موافقت خریدار را کسب نماید.

### آماده سازی برای جوشکاری

برای ورق های روکش دار اگر لبه های صفحه توسط شعله بریده و آماده شود هر گونه فرورفتگی در محل اتصال آستری و صفحه مادر می باید هموار گردد بعلاوه قسمتهای از بین رفته و گود شده در فلز مادر و آستری می باید توسط همان فلز و آلیاژ بوسیله جوش مرمت گردد. از فلز جوش نباید جهت مرمت لبه های صفحاتی که کوتاه هستند و یا دارای حفره های بزرگ می باشند استفاده گردد مگر اینکه به خریدار اطلاع داده شود.

### جوشکاری

برای روشهای جوشکاری دستی و جوش الکتریکی با پوشش گاز، (GTAW یا GMAW) در بین آزمایشات لازم جهت ارزیابی این جوشکاریها می باید تست خمشی نیز گنجانیده شود.

هنگامی که درجه حرارت طراحی بیشتر از  $700^{\circ}\text{F}$  ( $399^{\circ}\text{C}$ ) است برای جلوگیری از وقوع خوردگی در درجه حرارتهای کارکرد بالا، همه زوایید جوش (اسلاگ) می بایستی از روی فولاد زنگ نزن آستنیتی و آلیاژ نیکل و کروم توسط سنگ زدن و سایش برداشته شود.

اتصالات موقتی جوش می باید از روی پوسته محو گردند. سطوح زیرین این چنین اتصالات می بایستی بصورت صحیحی پرداخت شوند تا از تشکیل هر گونه نقاط تمرکز تنش جلوگیری گردد. چنین سطوحی می باید یا توسط ذرات مغناطیسی (Magnetic- Particles) و یا مایع نافذ (Liquid Penetrant) تست شوند.

از برخورد قوس الکتریکی بر قطعاتی که در سرویس تحت فشار قرار می گیرند می باید جلوگیری گردد. در صورت بروز چنین حادثه ای سطح مذکور می باید بطرز صحیحی مرمت شده تا از ایجاد هر گونه تمرکز تنش جلوگیری شود مضافاً بعد از عملیات مرمت کاری، سطوح می باید به کمک روش ذرات مغناطیسی و یا مایع نافذ تست شوند.

## عملیات حرارتی پس از جوش

عملیات پس گرمی جوش می باید مطابق قوانین کد بکار رفته، اوراق مشخصه مخزن و شرایط ذکر شده در آن انجام گیرد :

ماکزیمم درجه حرارت عملیات پس گرمی و یا تنش زدایی نباید از کوچکترین مقادیر زیر بیشتر باشد :

(a) ماکزیمم درجه حرارت قید شده در کد مربوطه برای این کار  
 (b) در صورتی که عملیات آبکاری روی قطعات انجام گرفته باشد آنگاه درجه حرارتی که آبکاری صورت پذیرفته و توسط سازنده گزارش شده است .

(c) درجه حرارتهایی که در زیر برای بعضی از مواد آمده است :

(۱) کربن استیل F ۱۲۰۰۰ (۶۴۹۰ C)

(۲) فولادهای %  $\frac{1}{2}$  Mn-Mo, Mo F: ۱۲۷۵۰ (۶۹۱۰ C)

(۳) فولادهای %  $\frac{1}{2}$  Cr Mn-Mo, Mo F: ۱۲۷۵۰ (۶۹۱۰ C) بجز در مواردی که درجه حرارت

طراحی فلز از F ۹۰۰۰ (C ۴۸۲۰) بیشتر است عملیات حرارتی پس گرمی، می باید در محدوده درجه حرارت F ۱۲۵۰۰ تا F ۱۳۵۰۰ برای یک پرپود مینیمم ۴ ساعته انجام گیرد .

(۴) ۲/۴ تا ۹ درصد فولادهای Cr-Mo F: ۱۲۷۵۰ (C ۷۴۶۰)

(۵)  $\frac{1}{2}$  تا  $\frac{3}{2}$  درصد آلیاژ فولاد های نیکل: F ۱۱۰۰۰ (C ۵۹۳۰)

ورق، سرهای کاسه ای بدون درز و یا قسمتی از آن ، قطعات تحت فشار که در معرض کار خمشی و شکل دادن بصورت سرد و یا گرم قرار می گیرند می باید عملیات حرارتی شوند. تنش زدایی می باید طبق پروسس حرارتی پس گرمی جوش که در کد بکار رفته آمده است، انجام گیرد .

جوش هایی که ضخامت آنها بیش از  $\frac{3}{4}$  in (۱۹mm) و یا بیشتر است و توسط روش های

الکترواسلاگ و یا الکتروگاز در یک پاس انجام می گیرند می بایستی نرمالیزه شوند .

برای لوله های U شکل که از آلیاژ فولاد آستنیتی می باشند، می باید عملیات حرارتی لازم جهت رهاسازی تنش هایی که توسط خمش سرد در لوله ها بوجود می آید انجام گیرد. موقعی که لوله از نوع 304L, 321, 316L, و یا 347 هستند پروسس حرارتی می باید شامل حرارت دادن تا F ۱۶۰۰-۱۶۵۰ (C ۸۷۱-۸۹۹) برای ده دقیقه و سپس سرد کردن آن در هوا باشد این عملیات حرارتی برای فولاد کم کربن و یا فولاد "Stabilized Grade" ممکن است برای طول کامل لوله خم شده قبل از اینکه در صفحه لوله نصب گردد صورت پذیرد .

و یا اینکه فقط قسمت خم شده لوله به فاصله یک فوت از نقطه تماس در طرف مستقیم لوله تحت این نوع عملیات قرار گیرد. یک روش دیگر از عملیات حرارتی، آنیل کردن در حمام نمک به مدت ۱۰ الی ۱۵ دقیقه است که در درجه حرارت F ۲۵۰ ± ۱۹۵۰ انجام گیرد .

## تست، بازرسی و تعمیرات

## تست فشاری

قبل از اینکه تست فشاری انجام شود همه سطوح داخلی مخزن می باید تمیز و جاروب گردد. این کار می تواند توسط مکنده های قوی و یا با استفاده از سایر روش ها انجام گیرد به طوری که مخزن مورد نظر از زائیده ها، سرپاره جوش، خورده فلز، ته مانده های میله جوشکاری و هر گونه آشغال دیگر پاک گردد. در تست فشاری مخازنی که از فولاد با روکش فولادی آستنیتی ساخته شده اند و یا اینکه دارای قطعاتی از فولاد زنگ نزن آستنیتی هستند می باید از آب کندانسه شده بویلر و یا آبی که حاوی مواد معدنی نباشد و ماکزیم مقدار یون کلر آن از ۵ ppm تجاوز نماید استفاده شود. از سایر سیالاتی که حاوی یون کلر نیستند می شود استفاده نمود مشروط بر اینکه بازرس خریدار با این کار موافقت نماید. بعد از انجام عمل تست، آب می بایستی بطور کامل از مخزن تخلیه شود و داخل آن خشک گردد و همه منافذ ورودی به آن بسته شود تا از نفوذ آب، کثافت، خاک های خورنده و بخار آب در هنگام حمل و نقل و اقامت در انبار جلوگیری گردد.

این جزو مسئولیت سازنده است که یک درجه حرارت سیال برای تست هیدرواستاتیک انتخاب نماید تا به مقدار کافی بالا باشد به طوری که همه قطعات مخزن در هنگام تست هیدرواستاتیکی نباید از مقادیر داده شده در جدول کمتر باشد. اگر هر کدام از قطعات تحت فشار مخزن مانند قطعات و اتصالات جانبی، بعد از تست موفقیت آمیز بشکند مخزن مورد نظر می بایست بعد از تعمیرات لازم دوباره تست گردد.

## بازرسی جوش

همه جوش های لب به لب (Butt Welds) بجز جوشهای موضعی (Stud Welds) در مخازن تحت فشار که از آلیاژ فولاد کروم - مولیبدن با در صد  $\frac{1}{2}\text{Cr}$  و یا بیشتر ساخته می شوند می باید تست رادیوگرافی بشوند.

قطعاتی که جوش داده شده اند بدون توجه به مواد بکار رفته، ضخامت و یا سرویس در صورتی که با هر وسیله ای مانند پرس، غلطک و غیره تحت کار شدید قرار بگیرند

( $\frac{\text{ضخامت موضعی}}{\text{شعاع}} > 5\%$ ) می باید قبل از اینکه عملیات ساخت بر روی آنها ادامه پیدا کند

یک تست کامل رادیوگرافی روی آنها انجام گیرد و یا اینکه از روشهای دیگری چون تست ذرات مغناطیسی و مایع نافذ استفاده شود.

جوش هایی که توسط الکترو اسلاگ و یا الکتروگاز یگ گذره انجام می گیرند می باید بعد از عملیات حرارتی تنش زدایی توسط روش اولتراسونیک مطابق پارگراف N625، کد Sect. III, ASME تست شوند.

سطوح جوش داده شده مواد فرتیک (Ferritic Material) می بایستی توسط روش ذرات مغناطیسی و یا روش مایع نافذ تست شوند.

فولادهای آستنیتی، بعد از اتمام همه عملیات حرارتی بر روی آنها توسط روش مایع نافذ مطابق استاندارد تست شوند. هنگامی که ضخامت جداره مخزن از ۲in (۵۰mm) بیشتر

باشد چنین تستی می باید بعد از عملیات حرارتی مورد نیاز و تست هیدرواستاتیکی انجام پذیرد .

جوش هایی که میله های جوشکاری را بهم مربوط می کند می بایستی توسط ضربه آرام چکش آزمایش شوند .

علاوه بر شرایط لازم که توسط کد ASME تعیین شده است کیفیت تصویر آزمایش رادیوگرافی می باید مطابق ASTM E142 باشد به استثناء Penetrameter که می باید مطابق کد ASME باشد . فیلم رادیوگرافی می باید دارای کیفیت مرغوب و از نوع (ASTM E94, type I or II) باشد. برای هر قطعه از فیلم بکار رفته دانسیته فیلم از جوش می بایستی بطور متوسط ۲ و هیچ کدام از فیلم های منفرد نبایستی دارای دانسیته کمتر از ۱/۵ باشند . اگر دانسیته فیلم از ۲ بیشتر شد کفایت ابزار و دید دستگاه می بایستی توسط بازرسین خریدار تصویب گردد .

موقعی که آزمایش مایع نافذ لازم باشد آن می باید روی تمام سطوح جوش که در دسترس هستند انجام گیرد. هرگونه ناهمواری روی سطح می باید با سنگ زدن، ماشین کاری و یا ابزار دیگر یکنواخت شوند . هر گاه سطح آزمایش شده از آلیاژ فولاد آستنیتی و یا آلیاژهای نیکل - آهن - کروم باشد و درجه حرارت طراحی آن از ۷۵۰°F (۳۹۹۰ C) بیشتر باشد مواد مایع نافذ می باید برای وجود سولفور آزمایش شود و یا اینکه بعد از اتمام تست سطح مورد نظر تمیز گردد .

بعد از تست هیدرواستاتیکی همه سطوح اتصالات جوشی که در دسترس هستند می باید توسط روش ذرات مغناطیسی و یا روغن نافذ تست شوند . اتصالات لوله ها و صفحه لوله می باید به کمک تست روغن نافذ معاینه شوند .

تست ذرات مغناطیسی می بایستی قبل از عملیات حرارتی صورت پذیرد البته در صورتی که به عملیات حرارتی نیاز باشد . میدان مغناطیسی می باید در یک خط باشند تا ماکزیم حساسیت برای یافتن ترک ها در پای جوش ماهیچه (در اتصال T شکل) موازی با محور جوش بدست آید (Section V, Article 7, ASME) .

همه جوش های نازل ها در مبدل های حرارتی با فشار طراحی ۱۵۰۰ PSI و بیشتر می باید توسط تست رادیوگرافی بررسی شوند . هنگامی که جوش ها را نتوان رادیوگرافی نمود سطوح جوش مواد فرتیک (Ferritic) (آلیاژهای آهنی) می باید توسط روش ذرات مغناطیسی و برای هر پاس جوش تست شوند . اگر جوشکاری از دو طرف محل اتصال انجام پذیرد با اتمام جوش طرف اول و زدودن سرباره جوش این تست روی آن انجام گیرد آنگاه بعد از انجام جوش طرف دوم آزمایش فوق الذکر برای آن نیز تکرار می گردد . اگر جوشکاری فقط از یک طرف انجام گیرد سطوح جوش می باید بعد از اتمام جوش اول، میانی و رویی تست ذرات مغناطیسی شوند . فولاد زنگ نزن می باید توسط مایع نافذ هم از داخل و هم از خارج تست شود . البته بعد از اینکه تست هیدرواستاتیکی انجام شد، در صورتی که محل مورد نظر بعد از تست هیدرواستاتیکی دیگر در دسترس نباشد تست ذرات مغناطیسی می تواند قبل از تست هیدرواستاتیکی انجام گیرد .

همه قطعات فورج شده مانند صفحه لوله ها، نازلها و فلانچ ها می باید مطابق ASTM A-388 یا معادل آن با استفاده از روش اولتراسونیک معاینه شوند .

همه جوشهای لب به لب (Butt) که ضخامت آنها از ۲ in (۵۰mm) بیشتر است می باید توسط روش اولتراسونیک مشخصه UTS-CT کد ASME آزمایش شوند . لازم به تذکر است که

این تست علاوه بر تست رادیوگرافی، تست ذرات مغناطیسی و تست روغن نافذ که قبلاً بحث شده است انجام می گیرد .

### **تعمیرات**

با استفاده از روشهای جوشکاری صحیح عیوب موجود می باید برداشته شود و در صورت لزوم دوباره جوش شوند . محل جوش تعمیراتی می باید مجدداً عملیات حرارتی ببیند (البته اگر از اول چنین نیازی وجود داشته است) همچنین محلهای مورد نظر می باید توسط روشهای اولیه که جهت تشخیص عیوب بکار رفته است دوباره تست شوند . اگر چنین تصحیحی موجب تغییرات زیادی در طرح اولیه شود موافقت خریدار در این مورد لازم است .

منبع : اصول طراحی مبدل های حرارتی : محمد رضا خوش گفتار

**WWW.WELD.4T.COM**

**گردآوری از: اکبر موسوی مهندس جوش و مربی آموزشی آزمایشگاههای گروه مواد  
دانشگاه شهید چمران اهواز**

**Email: akbamos@yahoo.com**