GS EsC OIEC KOREA
CONSORTIUM

PHASES
9 & 10

OIL INDUSTRIES ENGINEERING & CONSTRUCTION
شرکت مهندسی و ساختمان صنایع نفت

دوره آموزشی

مقدمه ای بر تنش زدائی

OIEC SP-9&10

تهیه کننده : مهندس ستار محمودی
ویرایش و تنظیم : مهندس حمید رضا شاه جلال الدین

مقدمه

برخی از فرآیند های عملیات حرارتی و یا مکانیکی در قطعات ایجاد تنشهای داخلی می کنند که این تنشها می توانند مخرب بوده و بر عملکرد و کارآیی این قطعات تاثیر نامطلوب گذارند. تنشهای داخلی حاصل اگر چه به تنهائی ممکن است باعث تغییر فرم در قطعه نشوند ولی در حین بهره برداری بار اعمالی با تنش پسماند ترکیب شده و مجموعه آنها از تنش تسلیم قطعه تجاوز می کند و باعث تغییر شکل ، و در نهایت شکست قطعات می گردد.بنابرین تنشهای داخلی حاصل ممکن است منجر به تاب برداشتن،ترک خوردن و یا انهدام قطعات در تنشهایی به مراتب کمتر از سطح طراحی شده برای آنها شود.

تعریف

آزاد سازی یا کاهش تنشهای بوجود آمده در اثر کار گرم یا کار سرد در قطعات ، تنش زدائی(Stress Relief) گفته میشود.
اثرات این عملیات بین ۶۸۰-۴۵۰ می باشد ومی تواند شامل بازیابی(Recovery)، استراحت یا تقلیل تنشهای داخلی (Relaxation) ، برگشت یا برطرف شدن نقاط سخت(Drawing,Tempering) ، تبلور مجدد(Recrystallization) و کروی شدن (Spheroidizing) باشد.
کلیه عملیات حرارتی فوق زمانبر بوده و کاهش زمان در عملیات تنش زدائی باعث عدم دستیابی به خواص مورد نظر می گردد.

اصول عملیات حرارتی تنش زدائی

با افزایش درجه حرارت ، اتمهائی که به صورت الاستیک جابجا شده اند همانند فنری به حالت اولیه خود بر می گردند و بیشتر تنشهای داخل را آزاد می سازند.
اصول عملیات حرارتی تنش زدائی رساندن قطعه به تنش تسلیم و نهایتاً حذف این تنشها میشود.
افزایش درجه حرارت وخمیری شدن فلز باعث کاهش تنش تسلیم میشود.بنابراین در عملیات حرارتی تنش زدائی قطعه را تا جائی حرارت می دهند که تنش تسلیم به اندازه تنشهای پسماند موجود در فلز برسد،در این حالت تنشهای موجود باعث تسلیم فلز و جابجائی اتمها در جهت آزاد سازی این تنشها می شود. در این حالت در آرایش کریستالی حاصل هیچگونه تنشی وجود نخواهد داشت.
تنش باقیمانده در جسم تنش دار به چند روش مخرب و غیر مخرب قابل اندازه گیری است.
۱-تعبیه سوراخ در جسم تنش دار واندازه گیری تغییرات ابعاد با استفاده از Strain Gauge
۲-روش تفرق اشعه X و اندازه گیری فاصله اتمی کریستالهای فلز مورد نظر
۳-استفاده از امواج مافوق صوت

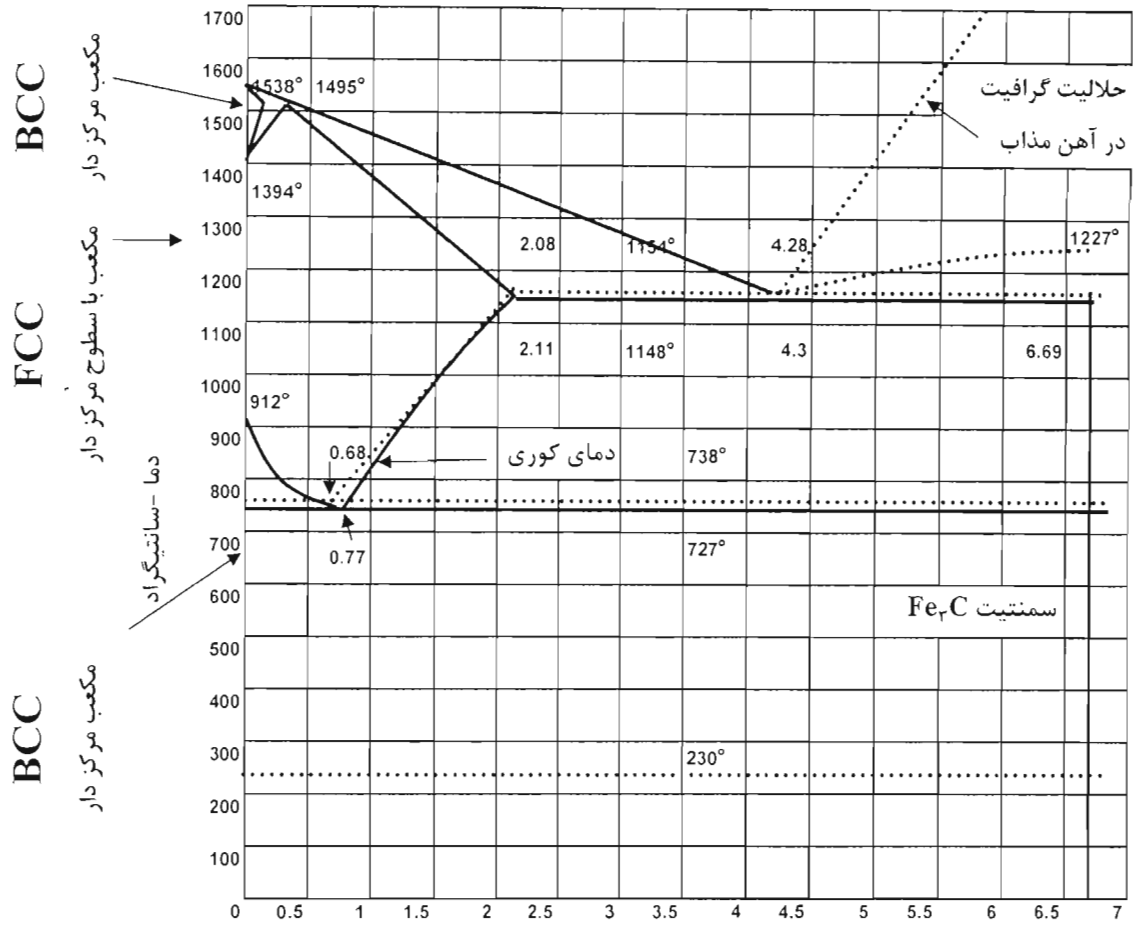
عملیات حرارتی تنش زدائی در فاصله دمائی $450^{\circ}C$ تا $720^{\circ}C$ بسته به نوع و ترکیب شیمیائی فلز مورد نظر مهمترین تاثیرات را خواهد داشت.
اگرچه مهمترین اثراین عملیات بازیابی(Recovery)است و در بعضی منابع تاکید شده است که تنش زدائی صرفاً بمنظور بازیابی صورت می گیرد ولی اثرات زیر به نسبت نوع متریال و روش اعمالی ممکن است بر تنش زدائی مترتب شود.

بهبود خواص مکانیکی:
۱-افزایش Toughness وکاهش سختی
۲-کاهش شکست هیدروژنی بوسیله خروج هیدروژن
۳-از بین بردن و یا کاهش تنشهای داخلی
۴-کاهش احتمال شکست سرد در قطعات سختی پذیر
۵-بهبود مقاومت در مقابل خوردگی
۶-کاهش اثرات حرارت فروکش

بجز تنش زدائی ارتعاشی در بقیه روشهای تنش زدائی خواص مکانیکی و فیزیکی قطعه تغییر کرده و بهبود می یابد.
هنگام جوشکاری ،فلز جوش مذاب بسرعت منجمد می شود و این انجماد همراه با انقباض می باشد. از آنجائی که منطقه مجاور فلز جوش جامد بوده و تمایلی به تغییر ساختار کریستالی ندارد در مقابل این انقباض منطقه جوش از خود مقاومت نشان می دهد و این باعث ایجاد تنشهای کششی در فلز جوش و منطقه مجاور در آن می گردد.

نمودار آهن کربن

کلیه عملیات حرارتی به هر منظوری روی فولادها صورت گیرد طبق نمودار تعادلی آهن کربن می باشد.



نمودار تعادلی آهن-کربن : خطوط ممتد مربوط به نمودار آهن-سمنتیت و خطوط منقطع مربوط به نمودار آهن -گرافیت است.

آستنیت : فازیست با ساختار FCC که با افزایش کربن پایداری آن افزایش می یابد

عناصر مختلفی که در ترکیب فولاد بکار میروند تاثیرات متفاوتی بر وضعیت دیاگرام آهن کربن دارند . از یک منظر این عناصر به دو دسته تقسیم میشوند.

الف : عناصر فریت زا : کرم ، سیلیسیم ، تنگستن ، مولیبدن و تیتانیم.

ب : عناصر آستنیت زا :نیکل و منگنز

$$AC1= 723 - 10.7Mn -16.9 Ni + 29.1Si + 16.9 Cr + 290 As + 6.38 W$$

$$AC3= 910 - 2.3 Tc - 15.2 Ni + 44.7 Si + 104 V + 31.5 Mo + 13.1 W$$

دمای بحرانی۷۲۷ : دیاگرام آهن کربن دارای چند دمای بحرانی است ، که در هر کدام از آنها تبدیل یک یا چند فاز به یک یا

چند فاز دیگر صورت می گیرد. یکی از این دماها که هنگام عملیات حرارتی تنش زدائی مورد توجه است دمای تبدیل آستنیت به فریت و سمنتیت میباشد.

در سرد شدن $\gamma \longrightarrow \alpha + Fe_3C$

فریت + سمنتیت $\xleftarrow{727}$ آستنیت

در گرم کردن تعادلی در ۷۲۷ درجه سانتیگراد بخشی از فریت و تمام سمنتیت به آستنیت تبدیل می شود و در $۷۶۰^{\circ}C$ باقیمانده فریت نیز به آستنیت تبدیل می شود که این تبدیل همراه با کاهش حجم می باشد.

در گرم شدن $\alpha + Fe_3C \longrightarrow \gamma$

منگنز و نیکل دمای یوتکتوئید را کاهش میدهند.عناصر تشکیل دهنده کاربید(Cr,Ti,Mo,W) دمای یوتکتوئید را افزایش داده و ناحیه پایداری آستنیت را کاهش می دهند.

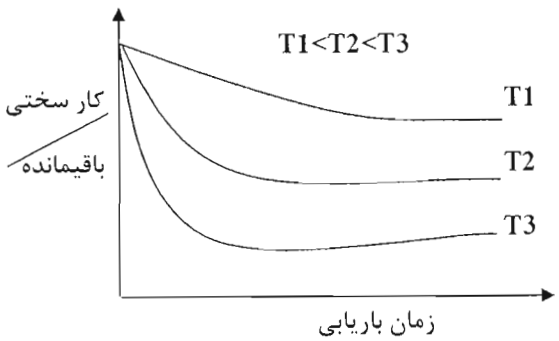
باز یابی

یک نوع عملیات حرارتی است که در آن قطعه را برای زمان معین در دمای نسبتاً پایین ($۵۱۰^{\circ}C$)قرار می دهند.در این حالت دانه های تغییر فرم داده شده در اثر کار سرد به حالت اولیهٔ نرم یا مینیمم تنش در می آیند و البته در خواص مکانیکی فلز و ساختار میکروسکپی آن تغییر قابل ملاحظه ای رخ نمی دهد.در بعضی مواقع ممکن است یک جریان ناچیز پلاستیکی نیز وجود داشته باشدکه موجب افزایش جزئی استحکام و سختی گردد.در طول مرحله بازیابی خاصیت رسانائی الکتریکی نیز به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد.از آنجائی که در مرحله بازیابی اصولاً تغییر درخواص مکانیکی فلز چندان مورد توجه نیست،بنابراین استفاده از حرارت صرفاً برای آزاد سازی تنشهای داخلی و جلوگیری از تشکیل ترکهای خوردگی تنشی در فلزاتی است که تحت کار گرم یا کار سرد قرار گرفته اند. همچنین در این مرحله جابجائی حاصل از تنشهای داخلی به حد اقل مقدار خود می رسد.

در صنعت به این مرحله اصطلاحاً باز پخت تنش زدائی گفته می شود و عموماً در دمای پائین انجام می گیرد.

در یک درجه حرارت معین کاهش مقدار سختی در ابتدا سریع بوده ولی در مدت زمان طولانی بتدریج کمتر میشود.

همچنین با افزایش درجه حرارت مقدار کاهش تنشهای داخلی در یک زمان معین افزایش می یابد.



ارتباط کار سختی باقیمانده با زمان

بطور کلی داریم :

خواص مکانیکی پائین ⟸ دانه ها درشت ⟸ جوش ضخیم و سرعت جوشکاری آهسته

راه حل : جوشکاری چند پاسه ،پیشگرم و پسگرم

پیشگرم و پسگرم

بطور کلی پیشگرم و پسگرم اثرات زیر را می تواند در پی داشته باشد.

۱-جلو گیری از ایجاد ترکهای سرد(Cold Cracking) در منطقه مجاور جوش فولادهای سختی پذیر(Hardenable Steels)

۲-افزودن چقرمگی (Toughness)

۳-کاهش (Hydrogen Embrittelment) با خروج هیدروژن جذب شده در جوش یا منطقه مجاور.

۴-کاهش تنشهای داخلی(تنشهای ناشی از انقباض-تغییر فاز- واکنش در مقابل موانع Restraints)

۵-کاهش پیچیدگی(distortion) و کشیدگی انقباضی(Shrinkage)

۶-تولید ساختار میکروسکپی خاص برای رسیدن به خواص مکانیکی و فیزیکی مورد نظر بعنوان مثال کاهش سختی و نرم شدن یا برعکس افزایش استحکام.

۷-بهبود مقاومت در مقابل خوردگی (Stress Corrosion)

۸-تقلیل اثر حرارت فروکش بویژه در طرحهای اتصال دو قطعه نا متجانس(نازک وضخیم).

عملیات نا صحیح پیشگرم یا پسگرم

عملیات ناصحیح پیشگرم یا پسگرم می تواند باعث بروز مشکلات زیر گردد.

۱-نفوذ اکسیژن حین عملیات حرارتی در درجات حرارت بالا و زمان طولانی در اتمسفر های اکسید کننده

۲-تغییر حرارت فروکش(قابلیت قطعه برای جذب حرارت داده شده برای جوش) که این موضوع در ارتباط مستقیم با وسعت HAZ می باشد.

۳-ترک ناشی از خورندگی تنشی (Stress Corrosion Cracking(SCS که نیاز به دو عامل تنش کششی استاتیک و محیط خورنده توامان دارد.

۴-خوردگی ناشی از تمرکز تنش (Stress Enhancel Corrosion(SES این نوع خوردگی در نواحی دارای تنشهای زیاد نظیر HAZ،سطوح تراشیده شده و قطعات کار سرد شده بوجود می آید.

۵-در صورتی که قطعه تا دمای بالای Acm حرارت داده شود . هنگام سرد شدن سمنتیت پرویوتکتوئید به صورت شبکه پیوسته ای در مرز دانه های آستنیت رسوب می کند و در نتیجه منجر به ترد و شکننده شدن فولاد می شود.

دمای تنش زدائی در آلیاژهای مختلف

همانطور که قید شد در عملیات تنش زدائی درجه حرارت تا جائی بالا برده می شود که تنش تسلیم به مقداری پایین بیاید که نتواند تنشهای باقیمانده را نگهدارد، بدیهی است که این درجه حرارت به جنس فلز مورد عملیات حرارتی بستگی دارد.

از آنجائی که رابطه بین تنش تسلیم و درجه حرارت بحرانی بوسیله درصد عناصر آلیاژی فلز تاثیر می پذیرد از اینرو درجه حرارت تنش زدائی مخازن تحت فشار با جوش ذوبی در BS۵۵۰۰ بصورت زیر بیان شده است :

نوع فولاد	درجه حرارت تنش زدائی $^{\circ}C$
کم کربن	۵۸۰-۶۲۰
کربن-منگنز	۵۸۰-۶۲۰
کربن-۱/۲٪ مولیبدن	۶۳۰-۶۷۰
٪۱کرم-۱/۲٪ مولیبدن	۶۳۰-۶۷۰
۱/۴-۲ ٪کرم -۱٪ مولیبدن	۶۸۰-۷۲۰
۵ ٪ کرم -۱/۲٪ مولیبدن	۷۱۰-۷۵۰
۱/۲-۳ ٪ نیکل	۵۸۰-۶۲۰

روشها و دستگاههای مورد استفاده

تنش زدائی به روشهای مختلف مکانیکی و حرارتی صورت می گیرد که مهمترین آنها عبارتند از:

۱-تنش زدائی مقاومتی

۲-تنش زدائی ارتعاشی

۳- تنش زدائی به روش شیمیائی(توسط واکنش های گرمازا)

۴-تنش زدائی شعله ای

۵-تنش زدائی القائی

۶-تنش زدائی بار گذاری

مهمترین و پرکاربرد ترین روشی که جهت تنش زدائی پس از جوشکاری بکار می رود روش حرارتی است که یا به صورت موضعی فقط اطراف جوش حرارت داده می شود و یا کل قطعه در کوره تحت عملیات قرار می گیرد.

در حالت اول از مقاومت حرارتی فلزات استفاده میشود.در این حالت از طریق عبور جریان از یک فلز با مقاومت حرارتی بالا ، حرارت ایجاد شده و به سرامیکهایی که ظرفیت حرارتی بالائی دارند منتقل می شود و از این طریق به قطعه جوشکاری شده منتقل می شود.در این حالت معمولاً از یک سری پدهائی استفاده میشود که در آنها مقاومت الکتریکی وحفاظ سرامیکی یک مجموعه را تشکیل میدهند ، که دور قطعه مورد جوش کاری پیچیده میشود.

برای اندازه های مختلف لوله ها یک یا چند پد سرامیکی ممکن است استفاده شود، تا دور تا دور لوله را کاملاً بپوشانند.

در مواردی که بستن پدها مشکل است بر حسب حالت فیزیکی سرجوش المنتهائی طراحی میشود که پر کاربردترین آنهاالمنتهای کتابی و المنتهائی بصورت طولی است که به آنها اصطلاحاً المنت ماری می گویند.

در حالت دوم با قرار دادن قطعات جوش شده در یک کورهٔ عملیات حرارتی و کنترل دما طبق سیکل مورد نظر تنش زدائی انجام میشود.

در عملیات حرارتی تنش زدائی توان مورد نیاز توسط یک دستگاه مولد (ژنراتور) تولید و بوسیله یک کابل سه فاز به سیستم منتقل می شود.در مسیر هر خروجی این کابل یک کنداکتور نصب می شود که این کنداکتور بوسیله سیم فرمان از پروگرامر دستورگرفته و عبور جریان را کنترل می کند.

حرارت منتقل شده به قطعه تحت عملیات توسط سیم ترموکوپل به یک دستگاه چاپگر منتقل می شود و این حرارت روی گرافهائی که قبلاً بدین منظور با اندازه و سرعتهای خاص طراحی شده اند ثبت می گردد. جنس سیم ترموکوپل از آلیاژهای آلومل (نیکل-آلومینیوم) و کرومل (نیکل-کروم) می باشد.

عمل تنش زدائی طی پنج مرحله صورت می گیرد که این مراحل هر کدام زمان و درجه حرارت مخصوص به خود را دارند که این زمان و درجه حرارت باید قبل از شروع کار محاسبه و به پروگرامر داده شود.

این مراحل عبارتند از:

۱-گرم شدن با سرعت نسبتاً بالا (غیر کنترل شده) تا دمای $۳۰۰^{o}C$

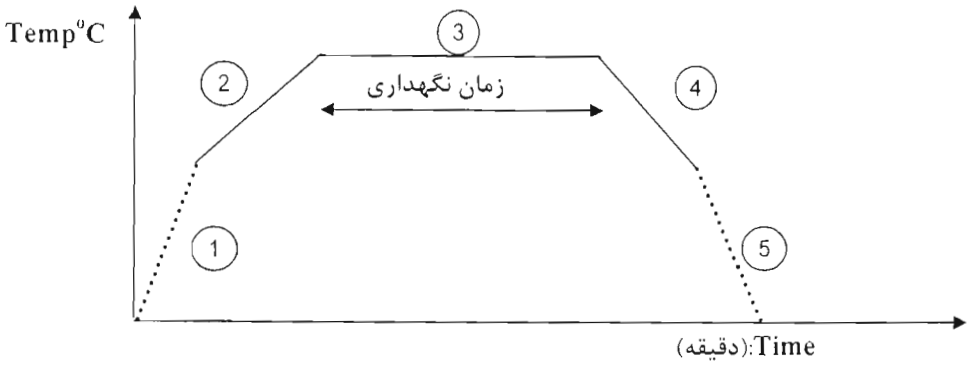
(این دما می تواند طبق دستور العمل تائید شده تغییر کند)

۲-گرم شدن از دمای $۳۰۰^{o}C$ تا دمای نگهداری با سرعت کنترل شده (Heating)

۳-نگهداری در دمای مشخص و بمدت زمان مشخص (Holding)

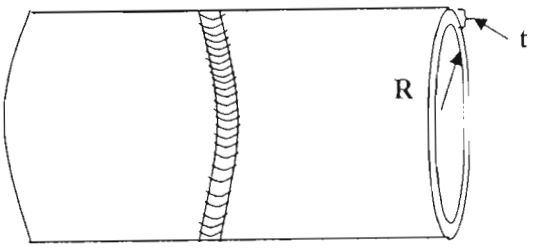
۴-سرد شدن تا دمای $۳۰۰^{o}C$ با سرعت کنترل شده(Cooling)

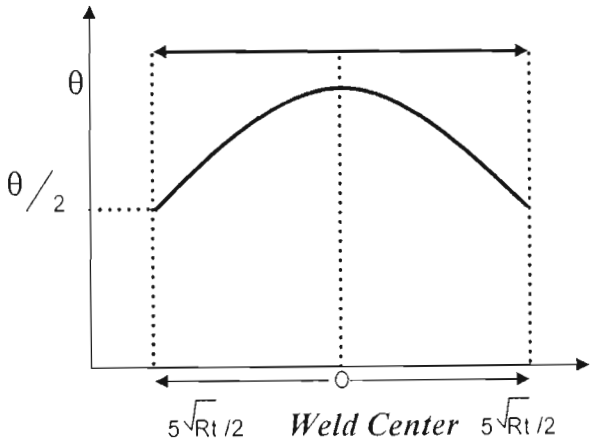
۵-سرد شدن از دمای $۳۰۰^{o}C$ تا دمای محیط بدون کنترل (معمولاً هوا)



نمودار شماتیک مراحل تنش زدائی

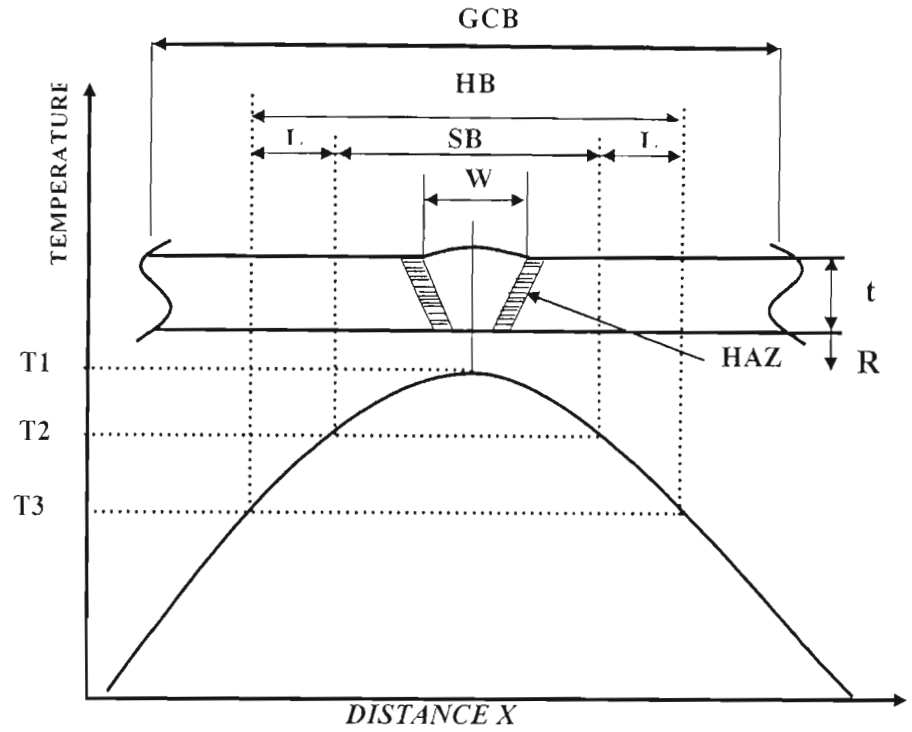
عملیات حرارتی بعد ازجوشکاری برای لوله های فولاد کربنی با ضخامت بیشتراز ۱۹mm ضروری است.
همچنین بر حسب نیاز سیال (آب دریا،گازترش ...)داخل لوله ممکن است طبق طرح و برنامهٔ کنترل کارگاه عملیات حرارتی تعیین شود.
تنش زدائی جوش لوله ها معمولاً بروش موضعی صورت می گیرد. در این صورت بایستی درجه حرارت کاملاً کنترل شود تا باعث پیچیدگی در قطعه نگردد. این کنترل با تعیین درجه حرارت در مرکز اتصال و در نقطه ای با فاصله معین از جوش اعمال می شود.





نمودار باند حرارتی اطراف درز جوش

کنترل شیب حرارتی توسط عایقهایی صورت میگیرد که روی پدهای سرامیکی بسته شده وتا فاصله مشخص از کناره های پد امتداد می یابد.پهنای عایق نباید از چهل برابرضخامت جوش کمتر باشد.جنس این عایقها معمولاً از آزبست است.
پهنای عایق باید به اندازه ای باشد که در زمان نگهداری حداکثر دمای قطعه در کناره های عایق نصف دمای نگهداری باشد.



Nomenclature:

W =Widest width of butt or attachment weld.

HAZ =Heat-affected zone

SB =Soak band(with of the volume of the material where the holding temperature equals or exceeds the minimum and equals or is below the maximum required.The minimum width is typically specified as W plus a multiple of t on each side of the weld.

L =Minimum distance over which the temperature may drop to a percentage of that at the edge of the soak band.

HB =Heated band (width of heat source).

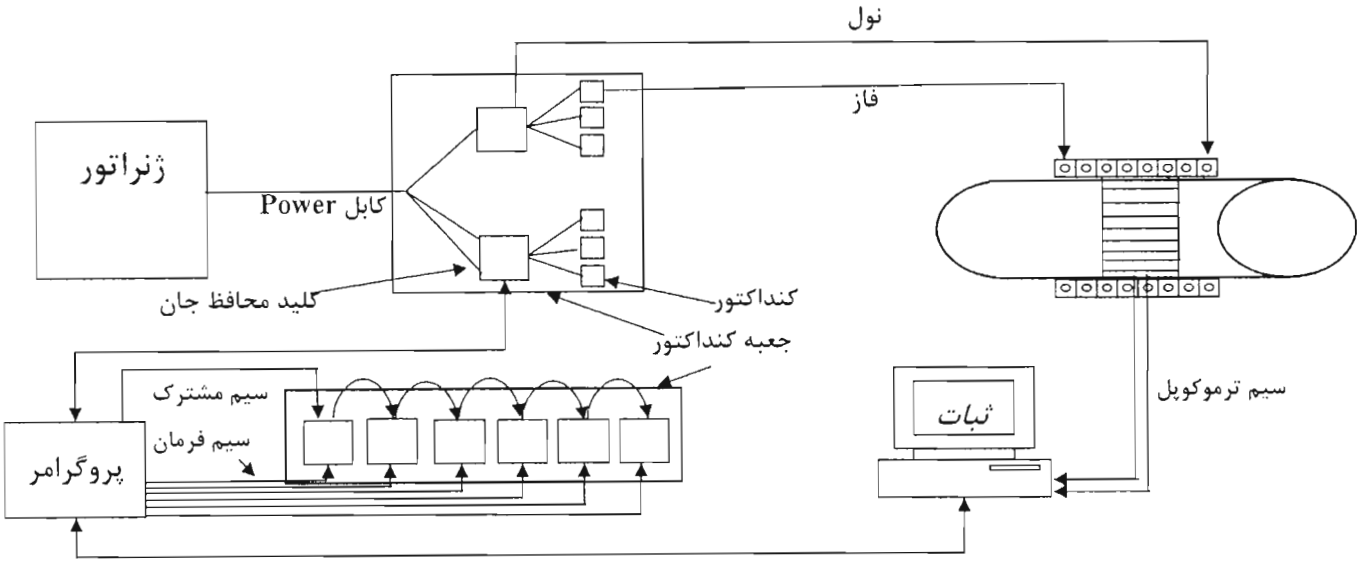
GCB =Gradient control band(minimum width of insulation and/or gradient heat source).

t =Inside radius of piping,branch connection,or nozzle neck.

R =Inside radius of piping,branch connection , or nozzle neck.

نمودار توزیع دما هنگام تنش زدائی موضعی در اطراف جوش

ضخامت این عایقها برای لوله های تا سایز ۲"،۲۵mm و بیشتر از ۲"،۵۰mm بکار میرود.



نمای کلی دستگاه های موجود در یک چرخه تنش زدائی

از هر کانال پروگرامر یک سیم فرمان به کنداکتور وصل می شود.
یک سیم مشترک از پروگرامر به کنداکتورها وصل شده و همه کنداکتورها به وسیله این سیم مشترک بهم وصل هستند.

دستگاه جوش سیم ترموکوپل

دستگاه جوش سیم ترموکوپل دارای دو کابل است ،یکی کابل اتصال که انتهای آن آهنربا دارد و به راحتی روی فلزات آهنی (فرومغناطیس) می چسبد و برق را هدایت میکند کابل دیگر به یک انبر دست متصل شده است که با آن سر سیم ترموکوپلی که قرار است جوش داده شود گرفته میشود.

اصول کار این دستگاه بر اساس تخلیه بار الکتریکی میباشد.بدین صورت که سر سیم ترموکوپلی که قراراست جوش داده شود با انبر دست دستگاه گرفته شده و در موضعی که قبلاً کاملاً جلا داده شده است قرار می گیرد، در این حالت با زدن دکمه دستگاه جریان تخلیه بار الکتریکی صورت گرفته و در محل اتصال باعث جوش خوردن سر سیم به بدنه قطعه میشود.

بدیهی است که اگر غلاف عایق انتهای سیم ترموکوپل برداشته نشود انبردست نمیتواند جریان برق را به سیم ترموکوپل برساند و لذا اتصال انجام نمیشود.

بازرسی

هر گونه عملیات حرارتی و خصوصاً تنش زدائی بسیار حساس و دارای شرایط خاص بوده و نیازمند کنترل پارامترهای زیادی می باشد که تغییر در هر یک از آنها ممکن است باعث عدم حصول خواص مورد نظر و حتی کاهش خواص مکانیکی و ایجاد عیوبی از قبیل جدایش شود.بنابراین بازرسی حین این عملیات اهمیت ویژه ای دارد.

مهمترین اصل در انجام عملیات حرارتی درک صحیح و علمی نسبت به این عملیات و تاثیرات آن و آشنائی با متالورژی ماده مورد عملیات حرارتی می باشد.

عملیات حرارتی قبل و بعد از جوشکاری در تمام موارد اثر مثبت ندارد و لزوم آن و سیکل حرارتی مناسب باید تشخیص داده شود PWHT بنا به ترکیب شیمیائی قطعه کار و خواسته ای که از چنین عملیات مورد توجه است دارای سیکل های حرارتی متفاوت می باشد.عملیات ناصحیح ممکن است سبب نرم شدن زیاد،رسوب و جدایش ترکیبات خاص، کاهش خواص مکانیکی ، خوردگی و دیگر عوارض بد شود.بنابراین در کنار این موضوع باید به سه نکته زیر توجه ویژه معطوف شود.

الف: درجه حرارت اولیه قطعه قبل از شروع عملیات جوشکاری

ب: درجه حرارت قطعه در ضمن جوشکاری بویژه در جوشهای چند پاسه

ج:نوع سیکل حرارتی لازم پس از رسوب دادن فلز جوش

سرعت گرم و سرد شدن نیز طبق مشخصات ماده مورد تنش زدائی در دستورالعملهای تائید شده پروژه ذکر می شود. این سرعت معمولاً هنگام گرم کردن بر مبنای ضخامت تا ۲۵mm نباید بیشتر از ۲۲۰°C/hr و هنگام سرد کردن بیشتر از ۲۷۵°C/hr بشود. با بالا رفتن ضخامت این سرعت کاهش می یابد.

عرض المنت مورد استفاده باید بحدی باشد که تا ۷۵mm از دو طرف جوش را بپوشاند که البته این مقدار در استاندارد های مختلف متفاوت است.

در موقع تنش زدائی بایستی قطعه آزادی انبساط و انقباض داشته باشد. در غیر اینصورت تنشهای اضافه که به قطعه وارد می شود ممکن است از تنشهای اولیه مورد نظر بیشتر با شد.

عملکرد دستگاه های مورد استفاده بایستی مرتباً مورد بازدید قرار گرفته ، قبل از شروع به کار و در دوره های تعیین شده کالیبره شود تا صحت کار و نشان دادن درجات صحیح تائید شود.

سرعت کار دستگاههای ثبات باید با سرعت کاغذ چارت یکی باشد. در غیر این صورت باید سرعت انتخاب شده در دستگاه چاپگر (ثبات) یادداشت شود.

محل اتصال سیم ترموکوپل باید قبل از جوش از هر گونه آلودگی زدوده شود و جلای فلزی داشته باشد.

محل اتصال سیم ترموکوپل بایستی با عایق یا خمیر مخصوص (Putty) پوشانیده شود تا تحت تأثیرمستقیم المنتهای حرارتی واقع نشود. بدین منظور که حرارت نشان داده شده مربوط به المنتها نباشد بلکه حرارت درز جوش (فلز مورد عملیات - -حرارتی) نشان داده شود.

تعداد ترموکوپلهای بکار رفته و موقعیت آنها باید طبق دستور العمل تائید شده بکار برده شود و این مشخصات یادداشت شوند.

دستگاه های برنامه ریز (پروگرامر) و ثبات درجه حرارت به نوع قطب حساسیت دارند و لذا مثبت و منفی بودن برق آنها بایستی کنترل شود. که برای جلوگیری از اشتباه روی دو شاخه و پریز مربوطه علامت مثبت ومنفی درج شده.

شاخه بزرگ منفی و کوچک مثبت

شاخه قرمز منفی و سفید مثبت

چون ترموکوپلها یک زوج سیم دارند وقتی یک سر به لوله جوش داده میشود بایستی دقت شود که قسمت لخت بدنه انبر دست با قسمت لخت سیم دیگر تماس پیدا نکند چون در این صورت قسمتی از جریان برق از آن طریق تخلیه میشود ، هم به دستگاه بار اضافی وارد می شود و هم جوش سر ترموکوپل خوب انجام نمی شود.

بایستی مراقبت شود در اثر عوامل مختلف مانند لگد کردن ، کشیدن و .... سیم ترموکوپل از لوله قطع نشود.این موضوع با کنترل و چک کردن ثبات قابل فهم است

اگر لوله بصورت عمودی قرار داشته باشد یعنی محور لوله قائم باشد (درز جوش بصورت افقی قرار گیرد)در آن صورت جای جوش سیم ترموکوپل مهم نیست ولی اگر لوله خوابیده باشد یعنی محور آن بصورت افقی باشد حتماً بایستی یک ترموکوپل در موقعیت فوقانی (ساعت ۱۲) قرار گیرد . در مواقعی که بیش از یک ترموکوپل نیاز است یکی در موقعیت فوقانی نصب شده و بقیه به نسبت زاویه تقسیم می شوند.

برای پرهیز از انحرافات ناگهانی درجه حرارتی یا پرش حرارتی ترجیع داده می شود که سر ترموکوپل در فضای خالی بین دو سر مقاومتهای الکتریکی قرار گیرد و در زیر خود Pad ها قرار نگیرد. ولی در هر صورت همانطوریکه گفته شد بایستی سرترموکوپل ها با خمیر(Putty) حفاظت شود.

ضخامت و پهنای عایق باید چک شده Pad ها و عایق باید کاملاً روی لوله فیت شده باشند. بطوری که از اتلاف انرژی حرارتی جلوگیری نموده و شیب حرارتی در حد مجاز نگه داشته شود.

قبل از شروع به کار بستن Pad ها و عایق باید کلیه مشخصات درز جوش (شماره Iso ، شماره خط ، شماره سرجوش ، علامت - -مشخصه جوشکار و .. .) و تعداد و موقعیت ترموکوپلها یادداشت شود.

شماره منحنی (چارت)باید یادداشت شده و در گزارش نهائی درج گردد.

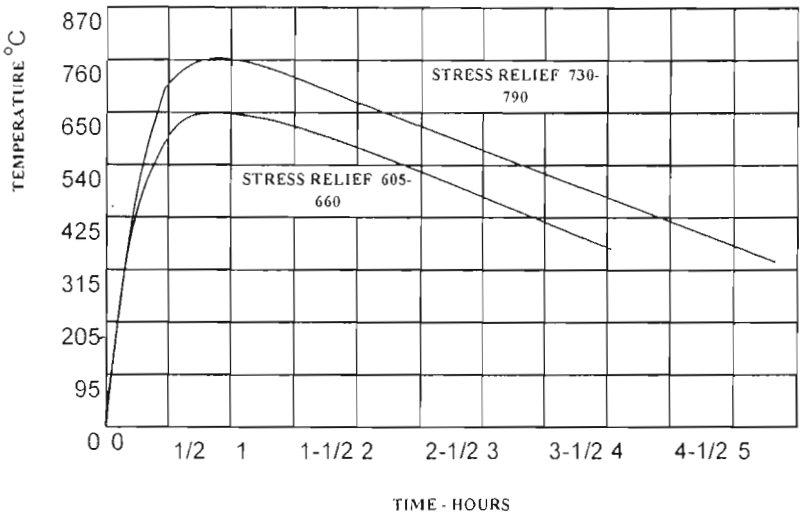
عملیات باید تحت بازرسی مرحله به مرحله صورت گرفته و بازرس باید کنار منحنی را امضاء نماید.

تذکر : امضاء بازرس بمنزله صحت و تائید تنش زدائی نمی باشد و تنها نشان می دهد که عملیات با اطلاع و حضور او انجام شده است.

بعد از پایان تنش زدائی چارت مربوطه از دستگاه جدا شده واپراتور دستگاه باید از طرف پیمانکار آن راامضاء نموده بازرس مربوطه نیز در صورت مطابقت عملیات با دستور العمل ومشخصات فنی تایید شده آنرا امضاء می نماید.

جهت اطمینان از موفقیت آمیز بودن عملیات حرارتی در صورتی که در مشخصات فنی و دستورالعمل پروژه قید شده باشد از جوش ، منطقه متاثر از حرارت و فلز مبنا سختی سنجی بعمل می آید بیشترین سختی مربوط به منطقه **HAZ** میباشد و این ناحیه ایست که معمولاً ترک زیر مهره ای از آن آغاز میشود والبته سختی سنجی از این ناحیه بخاطرشکل فیزیکی گرده جوش براحتی قابل انجام نیست.

در تنش زدائی بیشترین کاهش تنش باقیمانده در اولین ساعت رخ می دهد.نگهداری در درجه حرارت تنش زدائی بمدت بیش از دو ساعت اثر کمتری بر کاهش تنش باقیمانده دارد.



رابطه پیشرفت تنش زدائی با افزایش زمان عملیات(AWS D۱۰.۱۰)

فولاد های ضد زنگ آستینیتی در حدود ۵۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد تغییرات ساختاری می دهند. واین تغییرات به خاصیت مقاومت خوردگی ضربه میزند.در این شرایط بهتر است فولاد را تا دمای ۱۰۰۰ تا ۱۱۵۰ درجه سانتیگراد حرارت داده و سپس سریع سرد شود.به این عملیات عملیات حرارتی محلولی گفته می شود.

ولوها و قطعاتی که در اثر تنش زدائی ممکن است آسیب ببینند باید هنگام عملیات از موضع خود جدا شده و بعد از اتمام عملیات مجدداً نصب گردند.

محدوده مورد عملیات تنش زدائی باید بوسیله تابلوهای هشدار دهنده و **Warning Tape** محدود شود تا علاوه بر جلوگیری از احتمال خطرات ناشی از جریان برق در پروسه عملیات نیز خللی وارد نشود.

ترموکوپل بایستی با قطعات مورد عملیات حرارتی تماس فلزی داشته باشد ، یعنی بهتر است با روش مناسبی به آن جوش داده شده باشد.

اگردر دستور العمل و مشخصات پروژه طوردیگری قید نشده باشد.رادیوگرافی بایستی بعدازعملیات حرارتی پس ازجوشکاری صورت گیرد،زیرابسیاری ازعیوب جوش ممکن است حین عملیات حرارتی گسترش یابند.

تفسیر گراف

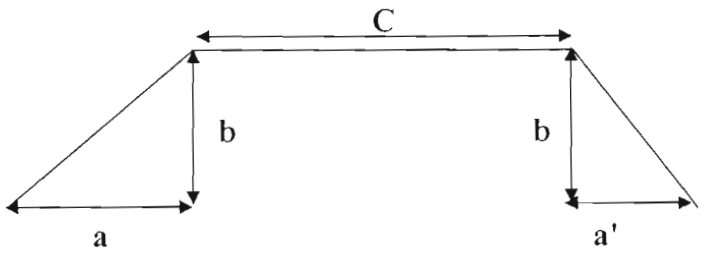
بعد از جدا کردن گراف تهیه شده بازرس مربوطه باید بعد از پیمانکار مجری اقدام به تفسیر گراف و تعیین دقیق زمان و دمای ثبت شده روی گراف بنماید.بعنوان مثال فرض کنید یک صفحه گراف طوری طراحی شده است که هر میلیمتر روی آن ۲.۴ دقیقه زمان را نشان میدهد.در اینصورت فاصله افقی ابتدا و انتهای مسیر گرم کردن را با خط کش اندازه گرفته و سرعت گرم شدن را از فرمول زیر محاسبه می کنیم

$^{0}C/hr$ سرعت گرم شدن بر حسب=۶۰ x (۲.۴ x فاصله اندازه گیری شده /۳۲۰)

سرعت سرد شدن نیز مانند سرعت گرم شدن محاسبه می شود.

طبق استاندارد سرعت گرم شدن نباید از 5500/t و سرعت سرد شدن از 6875/t بیشتر شود.

که در آن t ضخامت قطعه می باشد و برای ضخامتهای کمتر از ۲۵mm همان ۲۵mm منظور میگردد.



سرعت گرم شدن $\frac{b}{a \times 2.4} \times 60$

سرعت سرد شدن $\frac{b}{a' \times 2.4} \times 60$

زمان نگهداری $c \times 2.4$

منابع :

۱-اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها	دکتر محمد علی گلعذار
۲-تکنولوژی جوشکاری	دکتر امیرحسین کوکبی
۳-جزوهٔ آموزشی تکنولوژی جوشکاری	مهندس ادب آوازه
۴-مقدمه ای بر متالورژی فیزیکی	ترجمه علی اکبر آهنی
۵-کد ها و استاندارد های مرتبط با عملیات حرارتی	

ASME B.31.3

ASME B.31.8

AWS : D10.10

BS : 5500

API : 1104

API : 650