جوشکاری در مخازن تحت فشار

فاطمه فرهت نیا[1]

۱- مقدمه

در جهان صنعتی امروز، مخازن تحت فشار اهمیت فراوانی بخصوص در پالایشگاهها پیدا کرده اند، در ابتدا مخازن تحت فشار فقط برای ذخیره کردن نفت خام استفاده می شد ولی در حال حاضر در انواع مختلف این مخازن، عملیات تبدیل نفت خام به نفت تصفیه شده و بنزین را انجام می دهند و بطور کلی در پالایش نفت و مشتقات آن و سرویس دهی و حمل و نقل در مراکز سوخت رسانی کاربرد گسترده ای دارند.

مخازن تحت فشار در هر اندازه و شکلی ساخته می شوند. قطر کوچکترین آنها ممکن است کسری از اینچ و بزرگترین آنها دارای ۱۵۰ فوت قطر باشد. بعضی از آنها در عمقی از زمین یا اقیانوس قرار می گیرند، ولی اکثراً در سطح زمین نصب شده و یا بر روی سکوهایی محافظت می شوند. تعداد دیگری را می توان بعنوان تانکهای ذخیره کننده در واحدهای هیدرولیکی هواپیماها جستجو کرد. دامنه فشار داخلی نیز در مخازن وسیع بوده بطوریکه از یک اینچ آب تا Psi ۳۰۰۰۰۰ و بیشتر قابل تغییر است.

بنابراین در هنگام طراحی و ساخت این مخازن بایستی دقت و توجه فراوانی مبذول داشت. چنانچه عدم توجه در این خصوص منجر به انفجار و بوجود آمدن ضایعات جبران ناپذیر مالی و جانی خواهد شد.

بهمین منظور کشورهای صنعتی جهان برای یکدست کردن آنچه را که استاندارد کردن ساخت مخازن گویند، انجمن های صنعتی متشکل از مهندسان، صاحب نظران و پژوهشگران برای تصویب قوانین استاندارد در این زمینه را پایه گذاری کرده اند. یکی از بهترین این استانداردها، کد ASME است. کد ASME در خصوص طراحی و ساخت مخازن تحت فشار، بویلرها و راکتورها به ۱۰ بخش تقسیم می شود.

بخش هایی از آن در ارتباط با جوشکاری عبارتند از:

۱- بخش II کد ASME قسمت C: الکترودهای جوش و فلزات پرکننده [2]

۲- بخش V کد ASME: تست های غیرمخرب در جوشکاری [3]

۳- بخش IX کد ASME: اصول آموزشی جوشکاری با برق و گاز[4]

۴- بخش VIII کد ASME، DIV I، قسمت UW: شامل دستورالعمل های کد تحت عنوان الزامات رعایت نکات جوشکاری در ساخت مخازن تحت فشار.

طراحی مخازن تحت فشار شامل تعیین ضخامت بدنه، کلگی، ابعاد تقویت کننده ها، طراحی و انتخاب

---

[1] - کارشناس مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف و دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک دانشگاه گیلان

[2]- Welding Rods, Electrodes and Filling Metal.

[3]- Nondestructive Tests.

[4]- Welding and Brazing Qualification.

تجهیزات و متعلقات مخزن شامل نردبان، سکو، لاگ های بالابر، تعیین نوع و ابعاد تکیه گاهها طراحی فلنج ها و نازل می باشد.

با توجه به این مطلب که تمامی این اجزاء تحت بارگذاریهای مختلف قرار گرفته و اتصال آنها به یکدیگر توسط روشهای معمول جوشکاری در صنعت انجام می پذیرد، نقش جوش و رعایت صحیح اصول جوشکاری اهمیت خود را آشکار می کند. اتصال جوش بین اجزاء مختلف یک مخزن تحت فشار همانند اتصال ملکولهای یک ماده به یکدیگر توسط نیروی ملکولی بین آنهاست، توان یک ماده در برابر اعمال نیروهای بیرونی برآن را می توان مرتبط به جاذبه بین ملکولهای ماده دانست که هرچه این اتصال محکم تر باشد، مقاومت ماده نیز بالاتر است.

آنچه در این مقاله ارائه می شود، اهمیت جوشکاری و طراحی جوش در مخازن تحت فشار را مورد بررسی قرار می دهد.

۲- طبقه بندی جوش[۱]

اصطلاح طبقه بندی جوش که در این مقاله مکرراً از آن استفاده می شود، صرفاً معرف محل یک اتصال جوش در مخزن بوده، نه نوع اتصال آن. چنانکه این اصطلاح درکد ASME , DIVI شاخص نکات ویژه ای است که در ارتباط با نوع اتصال و درجه بازرسی و تست برای اتصالات در قسمت هایی از مخزن کد تحت فشار هستند، مطرح می شود. این نکات ویژه وابسته به نوع سرویس دهی مخزن (نوع سیالی که در آن تحت فشار قرار گرفته)، و جنس ماده و ضخامت در محل اتصال جوش است.

جوش های مشخص شده در هر دسته، تحت عنوان طبقه بندی های A, B, C, D نامگذاری شده اند. در شکل [۱] محل هر دسته جوش در یک مخزن تحت فشار نمایش داده شده است.

۲-۱- طبقه بندی A :

تمامی اتصالات طولی جوش در بدنه اصلی، محفظه های ارتباطی[۲] به بدنه مخزن، کاهنده ها در قطر[۳]، نازل ها و هر اتصال جوش در مخزن کروی، اتصال محیطی جوش که کلگی نیمکره را به بدنه اصلی، به یک کاهنده در قطر، به نازل و ... اتصال می دهد.

۲-۲- طبقه بندی B:

پیوندهای جوش محیطی در بدنه اصلی، محفظه های ارتباطی، نازلها، کاهنده در قطر شامل اتصالاتی که بین یک کاهنده و یک بدنه استوانه ای در انتهای قطر کوچک یا بزرگ باشد. *

۱- Welded Joint Category.

۲- Communication Chamber.

۳- Reducer in diameter.

* - در اتصال جوش لب به لب کاهنده هایی که به بدنه اصلی (استوانه ای) متصل می شوند، این نکته را بایستی مد نظر داشت که مقدار زاویه α تعریف شده در شکل [۱] از 30° بیشتر است.

پیوندهای محیطی جوش که انواع کلگی ها(باستثنای کلگی نیمکروی) را به بدنه اصلی، به کاهنده هـا در قطر یا به محفظه های ارتباطی متصل می کند.

۲-۳- طبقه بندی C:

اتصالات جوش در فلنج ها، پیوند کلگی هـای تخـت بـه بدنـه اصلـی یـا بـه کلگـی هـای شـکل دار (دارای قُرم)، به کاهنده ها در قطر و ...

۲-۴- طبقه بندی D:

شامل هر خط جوشی که محفظه های ارتباطی، نازلها را به بدنه اصلی، یا به کاهنده در قطر و به کلگی ها اتصال می دهد، اتصالات جوش بین نازل ها و محفظه های ارتباطی و ...

۳- راندمان جوش[۱]

جدول شماره [۱] راندمان جوش اتصالات مختلف در یک مخزن را برحسب نوع اتصال، نوع تست انجام شده بر روی خط جوش و طبقه بندی جوش ارائه می دهد.

راندمان جوش در واقع پارامتر مؤثری در تعیین ضخامت بدنه، کلگی، ورق های تقویتی اطراف نازلهـا و .... است. لازم به ذکر است که راندمان یک خط جوش به نوع اتصال و درجه تسـت خـط جـوش هـای دیگـر بستگی ندارد.

فلوچارتهای ارائه شده راندمان جوش اتصالات مختلف در بدنه یا کلگـی مخـزن بـرای طبقـه بندیهـای مختلف جوش را تعیین می کند. این فلوچارتها شامل:

۱- تعیین راندمان جوش در کلگی های مخروطی یا مقاطع پوسته مخروطی

۲- تعیین راندمان جوش در بدنه، کلگی ها. مخروط ها برای طبقه بندی جوش A , D شکل [۲]

۳- تعیین راندمان جوش در بدنه، کلگی ها. مخروط ها برای طبقه بندی جوش B , C شکل [۳]

۴- تعیین راندمان جوش در کلگی های تخت و دارای فرم برای طبقه بندی جوش A , D

۵- تعیین راندمان جوش در کلگی های مخروطی و مقاطع بدنه مخروطی

۴- طراحی اتصالات جوش

در اتصال دو قسمت مختلف از مخزن که دارای ضخامت های نامساوی هستند، باید به این مطلب توجـه نمود که در هنگام بارگذاری بر روی مخزن، درمحل پیوند بین دو قطعه، تنش های ناپیوسته ای بوجود می آید که تمرکز تنش حاصل از آن می تواند اثر مخربی در عمر مخزن بگذارد. بـرای جلوگـیری از ایـن وضعیـت، محـل اتصال را بگونه ای خاص طراحی می کنند بدین صورت که قسمت انتقالی بیـن دو قطعـه را پـخ زده بطوریکـه طول این قسمت نباید از ۳ برابر خارج از خط مرکز بین دو سطح مجاور بیشتر باشد. شکل [۴]

اختلاف ضخامت بین این مقاطع بایستی بیشتر از مقدار کوچکـتر ($\frac{۱}{٤}$ ضخـامت مقطـع کوچکـتر یـا $\frac{۱}{۸}$ ضخامت مقطع ضخیم تر) باشد. در ایجاد این وضعیت انتقالی بین دو مقطع، بایستی فرآیند بخوبی انجام گیرد که

---

[۱]- Joint Efficiency.

در نتیجه یک شیب یکنواخت و هموار حاصل شود. اگر این وضعیت انتقالی با برداشتن توده ای از ماده ورق ضخیم تر ایجاد می شود، محدودیت های ضخامت آن مقطع بعد از برداشتن ماده با توجه به نکات گفته شده در کد ASME تعیین می گردد. [۱]

در روش دیگری این وضعیت با افزودن میزانی از توده فلز جوش در عقب لبه جوش ایجاد شده، رعایت نکاتی دراین رابطه ضروریست، از جمله این نکات آنستکه چنین سطوح ساخته شده از فلز جوش، تحت تست های غیرمخرب مورد آزمایش قرار گیرند. [۲]

۵- بررسی محاسبه استحکام خط جوش

نازل ها، ورق های تقویت کننده و متعلقات مربوط به آن توسط جوش کمان الکتریکی یا جوش گاز به مخزن تحت فشار اتصال می یابند، گفتنی است که ورق های تقویتی به منظور کاهش تمرکز تنش در اطراف دهانه ها افزوده می شوند و معمولاً از جنس بدنه مخزن هستند و اتصال آنها به مخزن توسط جوش انجام می شود. به منظور افزایش استحکام ورق های تقویتی اطراف دهانه ها، بایستی جوشکاری مناسبی روی هر دو طرف خط جوش که از مرکز دهانه به موازات محور طولی بدنه امتداد می یابد انجام شود. در تعیین میزان بار مجاز وارد بر خط جوش لازم است که استحکام خط جوش در مساحت ناحیه ای که در معرض تنش قرار می گیرد را در نظر گرفته و مسیرهای مختلف که در آنها احتمال گسستگی جوش وجود دارد، مورد بررسی قرار گیرد.

استحکام جوش نوع شیاری [۳] به ناحیه ای که در معرض برش یا کشش است، بستگی داشته و استحکام جوش رویهم [۴] در رابطه با ناحیه ایست که در معرض تنش های برشی قرار می گیرد، این محاسبات بر مبنای حداقل ابعاد پای جوش انجام می شود. تنش مجاز برای جوش رویهم و شیاری بصورت درصدی از استحکام بدنه مخزن بیان می شود. جدول [۱]

۶- بازرسی و تست

دستورالعمل هایی که در این بخش آورده شده، خاصه به منظور تست و بازرسی مخازن تحت فشار و قسمتهایی از مخزن است که تحت عملیات جوشکاری ساخته می شوند. این قوانین در زیر مجموعه A , C از کد ASME , DIV I تحت عنوان " تست و بازرسی " تدوین شده است. در این راستا، بازرسان فنی آگاه به این قوانین به کارخانجات سازنده مخازن اعزام می شوند و سازنده بایستی نظر بازرسان فنی را در مورد آنکه جوشکاری روی مخزن بتوسط جوشکاران ماهر و مطابق با قوانین مدون در بخش IX کد ASME انجام می گیرد، تأمین کند. همچنین سازنده موظف است یک نسخه از گزارش نتایج تست های کیفیت سنجی جوش را

---

[۱]- UG - ۲۳(C), DIV I, SEC VIII, ASME.

[۲]- UW - ۴۲, DIV I, SEC VIII, ASME.

[۳]- Groove Weld.

[۴]- Fillet Weld.

در اختیار بازرس قرار داده و او نیز می تواند مهارت و آگاهی جوشکاران را از روش جوشکاری مورد بررسی قرار دهد. تست های جوش تحت نظارت بازرس فنی انجام و تأئید می گردد، بدیهی است که بازرس نباید تحت استخدام کارخانه سازنده مخزن باشد. آزمون های کیفیت سنجی جوش را آزمون های غیرمخرب می نامند. در این آزمایشات بدون تخریب جسم مورد نظر، می توان محل ترک ها و نارسایی های موجود در نمونه را تعیین کرد.

آزمون های غیرمخرب شامل تست های اولتراسونیک[1]، رادیوگرافی (کامل، نقطه به نقطه)[2]، ذرات مغناطیسی[3]، مایعات نفوذپذیر[4] می باشد. انتخاب هر یک از این روشها با توجه به محدودیت های موجود در شرایط جوشکاری و پارامترهای آن انجام می پذیرد، در اینجا به متداول ترین تست جوش، تست رادیوگرافی اشاره می شود.

۶-۱- تست رادیوگرافی:

در فرآیند رادیوگرافی، یک اشعه از منبع انرژی قابل کنترل ساطع می شود و پس از عبور از قطعه مورد آزمایش، بر روی فیلمی که در پشت جسم قرار دارد، تأثیر می گذارد و بدین ترتیب نارسائی های موجود در نمونه مورد آزمایش ثبت می شوند. اشعه ایکس و اشعه گاما دو نوع تشعشعی هستند که می توان از آنها در فرآیند رادیوگرافی استفاده کرد. اشعه ایکس از برخورد الکترونها با انرژی بالا با هسته یک اتم تولید می شود، یک منبع پرتوفشان بایستی قادر به تولید الکترونهای آزاد و هدایت آنها به سوی هدف (هسته اتم های هدف) باشد. اشعه ایکس را می توان به منظور آشکار نمودن ساختمان داخلی اکثر مواد، خطاها و ضایعات موجود در هنگام ساخت و مونتاژ قطعات بکار برد، البته این روش را نه برای اجسام دارای شکل پیچیده، بلکه فقط به منظور تست قطعات دارای شکل و طرح ساده می توان استفاده نمود. اشعه گاما نیز همان کاربردهای اشعه ایکس را دارد اما نیازی به منبع انرژی خارجی نداشته و در تولید آن از ایزوتوپ های دارای خاصیت رادیواکتیویته مانند کبالت ۶۰[5] استفاده می کنند. در هر حال روش رادیوگرافی به لحاظ استفاده از دستگاههای دقیق و هزینه بالای نگهداری آنها، روش گران قیمتی است.

تست رادیوگرافی را به دو صورت، نقطه به نقطه و کامل می توان انجام داد.

آزمون نقطه به نقطه، یک ابزار مؤثر در تشخیص نارسائی های جوش در مخزن است، دستورالعمل های این روش کمکی در جهت کنترل کیفی جوشکاری مخزن می باشد. رادیوگرافی نقطه به نقطه را می توان مستقیماً بعد از آنکه جوشکار یا اپراتور یک خط جوش را تکمیل کرد، انجام داد.البته این روش نمی تواند اطمینان لازم

---

[1]- Ultrasonic Test.

[2]- Radiography (Full, Spot).

[3]- Magnetic Particle.

[4]- Liquid Penetrant.

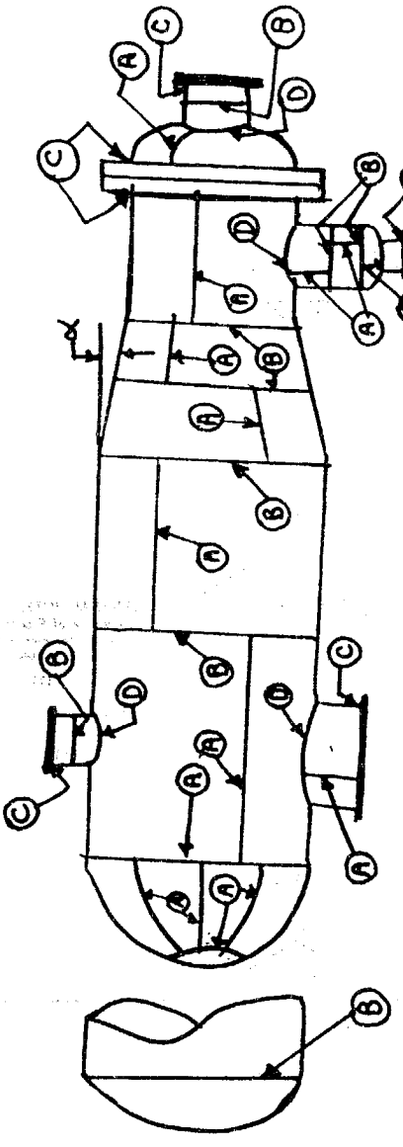
[5]- Cobalt ۶۰.

را برای نبود نقایص جوش تأمین کند، چنانچه لازم باشد کلیه نقایص در تمامی خطوط جوش آشکار شود انجام تست رادیوگرافی کامل ۱۰۰٪ در اولویت قرار می گیرد.

هر دو نقطه از تست رادیوگرافی نقطه ای، به فاصله ۵۰ فوت از گستره جوش و یا کسری از آن برای راندمان جوش داده شده در جدول [۲] انتخاب می شوند. برای آزمون مهارت جوشکار. بازرس فنی می تواند تعداد مناسبی از نقاط رادیوگرافی را انتخاب کند. محل هر نقطه توسط بازرس بعد از اتمام هر گستره جوش تعیین می گردد و در صورتیکه او پیشنهاد مشخصی در این رابطه نداشته باشد انتخاب نقاط باسازنده خواهد بود.

۷- نتیجه گیری

باتوجه به مطالب ارائه شده در بالا می‌توان نتیجه گرفت که علم جوشکاری و طراحی جوش از اهمیت ویژه ای در طراحی و ساخت مخازن تحت فشار برخوردار است. بطوریکه مهندس طراح بایستی اطلاعات کاملی از انواع اتصالات جوش، تستهای مورد نیاز و طراحی جوش داشته تا بتواند با ضریب اطمینان بالاتری مخازن تحت فشار را طراحی نماید. بدیهی است که عدم دقّت درحین طراحی، منجر به بار آوردن زیانهای مالی و هدر رفتن زمان در خط تولید یک کارخانه سازنده، خواهد شد.



Fig(1) - Illustration of welded joint locations typical of Categories A, B, C, D

شکل (۱)

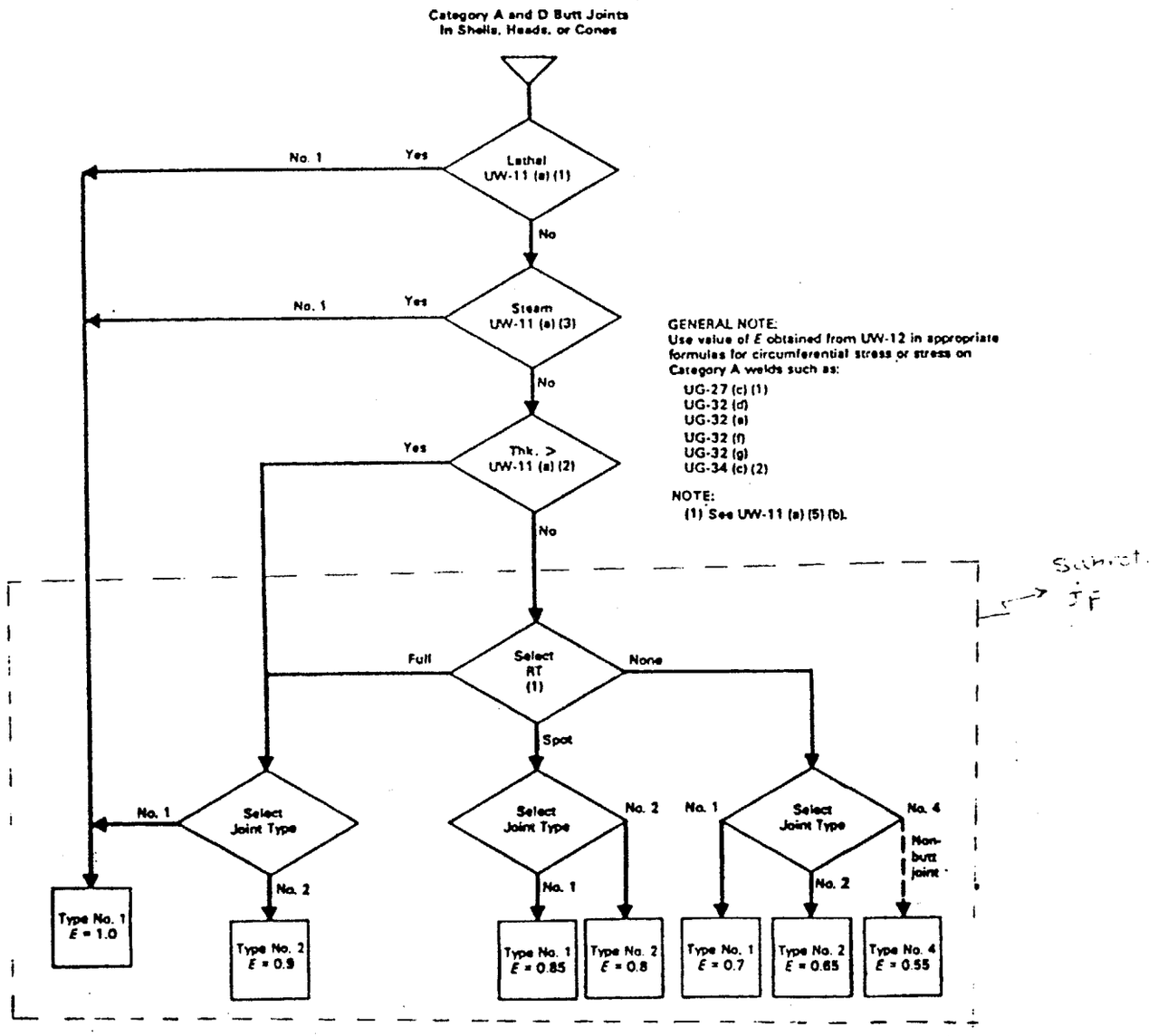


FIG. L-1.4 JOINT EFFICIENCIES FOR CATEGORIES A AND D WELDED JOINTS IN SHELLS, HEADS, OR CONES

شکل (۲)

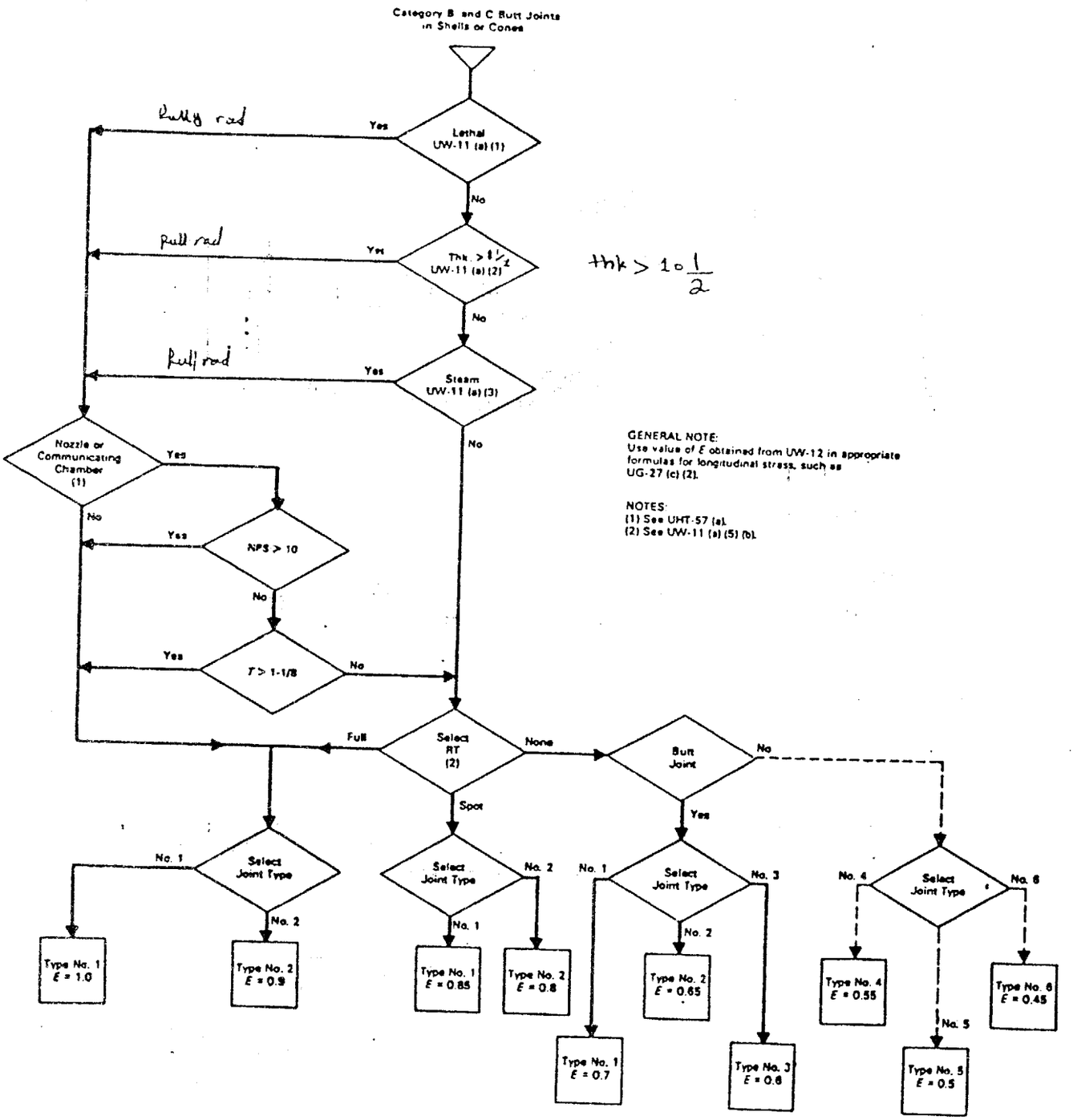
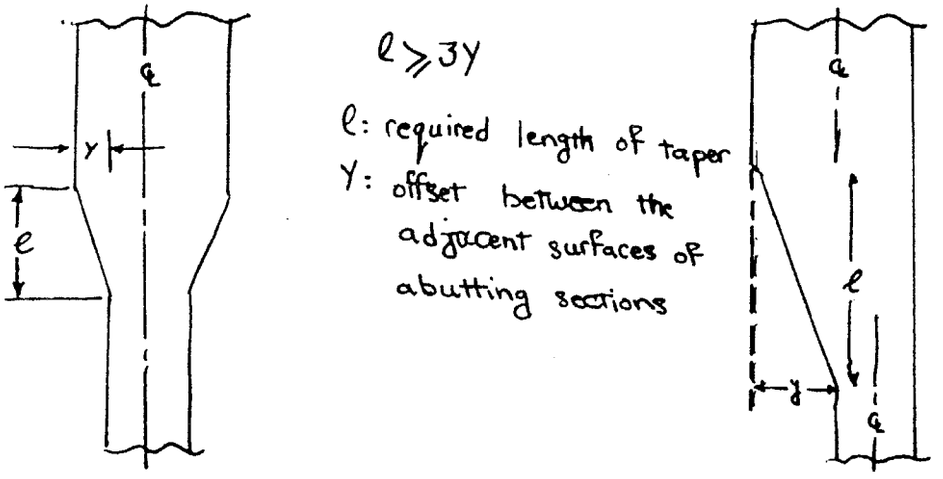


FIG. L-1.5 JOINT EFFICIENCIES FOR CATEGORIES B AND C WELDED JOINTS IN SHELLS OR CONES

شکل (۳)



Fig(4) - Butt welding of plates of unequal thickness.

شکل (۴)

بررسی محاسبات استحکام خط جوش

- حد مجاز تنش های وارد بر خطوط جوش

نوع نقش نوع جوش	Tensile S.	Shear S.
Fillet weld	۰/۵۵ S	۰/۴۴ S
groove weld	۰/۷۴ S	۰/۵۵ S

استحکام بدنه مخزن: S

جدول (۱)

TABLE UW-12
MAXIMUM ALLOWABLE JOINT EFFICIENCIES[1,5] FOR ARC AND GAS WELDED JOINTS

Type No.	Joint Description	Limitations	Joint Category	Degree of Radiographic Examination (a) Full[2]	(b) Spot[3]	(c) None
(1)	Butt joints as attained by double-welding or by other means which will obtain the same quality of deposited weld metal on the inside and outside weld surfaces to agree with the requirements of UW-35. Welds using metal backing strips which remain in place are excluded.	None	A, B, C, & D	1.00	0.85	0.70
(2)	Single-welded butt joint with backing strip other than those included under (1)	*(a)* None except as in (b) below	A, B, C, & D	0.90	0.80	0.65
		(b) Circumferential butt joints with one plate offset; see UW-13(c) and Fig. UW-13.1, sketch (k)	A, B, & C	0.90	0.80	0.65
(3)	Single-welded butt joint without use of backing strip	Circumferential butt joints only, not over $\frac{5}{8}$ in. thick and not over 24 in. outside diameter	A, B, & C	NA	NA	0.60
(4)	Double full fillet lap joint	*(a)* Longitudinal joints not over $\frac{3}{8}$ in. thick	A	NA	NA	0.55
		(b) Circumferential joints not over $\frac{5}{8}$ in. thick	B & C	NA	NA	0.55
(5)	Single full fillet lap joints with plug welds conforming to UW-17	*(a)* Circumferential joints[4] for attachment of heads not over 24 in. outside diameter to shells not over $\frac{1}{2}$ in. thick	B	NA	NA	0.50
		(b) Circumferential joints for the attachment to shells of jackets not over $\frac{5}{8}$ in. in nominal thickness where the distance from the center of the plug weld to the edge of the plate is not less than $1\frac{1}{2}$ times the diameter of the hole for the plug.	C	NA	NA	0.50

جدول (۲)