

Módulo de

Metroloxía e Ensaíos

Familia profesional	Fabricación Mecánica
Ciclo formativo	Soldadura e Caldeiraría
Grao	Medio
Módulo	Metroloxía e Ensaíos
Actividade	Control de calidade nas unións soldadas

© 2005 Xunta de Galicia

Consellería de Educación e Ordenación Universitaria

Aviso Legal: Reservados todos os dereitos.

A presente obra está protexida pola lei, que establece penas de prisión e/ou multas, ademais das correspondentes indemnizacións por danos e prexuízos, para quen reproduza, plaxie ou distribúa o seu contido en calquera tipo de soporte sen a preceptiva autorización.

1.	Datos da actividade.....	3
1.1	Título	3
1.2	Obxectivos.....	3
1.3	Contidos	3
1.4	Dominio profesional.....	4
1.5	Contidos	4
1.6	Aspectos metodolóxicos	5
2.	Soldabilidade dos aceiros.....	6
2.1	Calor aportado na soldadura.....	6
2.2	Tipos de aceiros empregados nas unións soldadas.....	7
2.3	Influencia dos elementos de aliaxe	10
2.4	Coñecementos básicos para o estudo da soldabilidade dos aceiros. Conceptos básicos.	13
2.5	Mecanismos de rotura nas unións soldadas.....	15
2.6	Soldabilidade dalgúns materiais non férreos.....	17
3.	Inspección de construcións soldadas.....	18
3.1	Clasificación dos métodos de inspección.....	20
3.2	Ensaio destrutivo ED.....	21
3.3	Ensaio Non Destrutivo. END.	24
4.	Cualificación do procedemento de soldeo.	32
4.1	Cualificación de procedementos.....	32
4.2	Cualificación de procedementos con ASME	34
4.3	Documentos para realizar a cualificación.....	36
4.4	Welding Procedure Specification, WPS	37
4.5	Registro da cualificación do procedemento de soldeo, PQR.....	38
4.6	Ensaio.....	41
4.7	Recomendacións para a cualificación.....	41
5.	Actividades a realizar.....	43
5.1	Tarefa 1	43
5.2	Tarefa 2	43
5.3	Tarefa 3	44
5.4	Tarefa 4	44
5.5	Tarefa 5	44
5.6	Tarefa 6	44
5.7	Tarefa 7	45
5.8	Tarefa 8	45
5.9	Tarefa 9	45

1. Datos da actividade

1.1 Título

- Título: Control de calidade nas unións soldadas.
- Descrición: Coñecer e describir os distintos métodos de inspección que se aplican ás unións soldadas así como executar distintos ensaios identificando as imperfeccións das soldaduras.

1.2 Obxectivos

- Describir os ensaios empregados na inspección das soldaduras, así como identificar os útiles e quipos.
- Realizar distintos ensaios superficiais para identificar defectos nas unións soldadas.
- Recoñecer os ensaios a realizar na homologación de soldadores.
- Elaborar materiais e actividades didácticas de aplicación na aula-taller.

1.3 Contidos

- RA1. Prepara instrumentos e equipamentos de ensaios destrutivos e non destrutivos, para o que selecciona os útiles e aplica as técnicas e os procedementos requiridos.
 - CA1.1. Descríbíronse conceptos relacionados cos ensaios destrutivos e non destrutivos.
 - CA1.2. Descríbíronse as condicións de temperatura, humidade e limpeza que deben cumprir as pezas que se vaian medir e os equipamentos de medición, para proceder ao seu control.
 - CA1.3. Comprobase que a temperatura, a humidade e a limpeza dos equipamentos, das instalacións e das pezas cumplan os requisitos establecidos no procedemento de verificación.
 - CA1.4. Comprobase a calibraxe do instrumento de medida.
 - CA1.5. Descríbíronse as características construtivas e os principios de funcionamento dos equipamentos.
 - CA1.6. Valorouse a necesidade dun traballo ordenado e metódico na preparación dos equipamentos.
 - CA1.7. Realizáronse as operacións de limpeza e mantemento necesarias para o seu correcto funcionamento.
- RA2. Controla características e propiedades do produto fabricado, mediante o cálculo do valor do parámetro e a comparación dos resultados coas especificacións do produto.

- CA2.3. Describíronse os ensaios destrutivos de tracción, compresión, dureza, resiliencia, fatiga, flexión e pregamento.
 - CA2.4. Describíronse os ensaios non destrutivos de inspección visual, líquidos penetrantes, radiografías, ultrasóns, partículas magnéticas e correntes inducidas.
 - CA2.5. Describíronse as máquinas e os instrumentos empregados nos ensaios destrutivos e non destrutivos, así como o procedemento.
 - CA2.6. Relacionáronse os ensaios destrutivos e non destrutivos coas características que controlan.
 - CA2.7. Explicáronse os erros máis característicos que se dan nos equipamentos e nas máquinas que se empregan nos ensaios, así como o xeito de os corrixir.
 - CA2.8. Preparáronse e acondicionáronse as materias e as probetas necesarias para a execución dos ensaios.
 - CA2.9. Executáronse algúns dos ensaios e obtivéronse os resultados coa precisión requirida.
 - CA2.10. Interpretáronse os resultados obtidos e rexistráronse nos documentos de calidade.
 - CA2.11. Aplicáronse as normas de prevención de riscos laborais e as de protección ambiental.
- RA3. Actúa consonte procedementos e normas de calidade asociadas ás competencias do perfil profesional, en relación cos sistemas e os modelos de calidade.
 - CA3.3. Identificáronse as normas e os procedementos afíns ao proceso de fabricación ou control.
 - CA3.5. Formalizáronse os documentos asociados ao proceso.
 - CA3.6. Valorouse a influencia das normas de calidade no conxunto do proceso.

1.4 Dominio profesional

- Verificar os produtos fabricados operando cos instrumentos de medida e utilizando procedementos definidos, conforme as especificacións establecidas.
- Aplicar procedementos de calidade, e de prevención de riscos laborais e ambientais, consonte o establecido nos procesos de soldadura e caldeiraría.

1.5 Contidos

- BC1. Preparación de pezas e medios para a realización de ensaios
 - Preparación de pezas para o seu ensaio.
 - Condicións para realizar os ensaios.
 - Calibraxe.
 - Rigor na preparación.

- BC2. Control de características do produto
 - Ensaio non destrutivo (END): inspección visual, líquidos penetrantes, radiografías, ultrasóns, partículas magnéticas e correntes inducidas.
 - Ensaio destrutivo (ED): de tracción, compresión, dureza, resiliencia, fatiga, flexión e pregamento.
 - Realización de ensaios.
 - Equipamentos utilizados nos ensaios.
 - Calibraxe e axuste de equipamentos de ensaios destrutivos e non destrutivos.

- BC3. Intervención nos sistemas e nos modelos de xestión da calidade aplicados aos ensaios destrutivos e non destrutivos
 - Formalización dos rexistros de calidade.
 - Conceptos fundamentais dos sistemas de xestión de calidade.
 - Normas aplicables ao proceso inherente a esta figura profesional.
 - Iniciativa persoal para achegar ideas e acordar procedementos.

- Avaliación de resultados
 - Valoración dos traballos efectuados en función dos resultados, o tempo utilizado, a metodoloxía, as ferramentas e os equipos empregados nas tarefas a realizar.
 - Preocupación por utilizar a autoavaliación como ferramenta para a mellora das capacidades persoais.

1.6 Aspectos metodolóxicos

- Tipo da actividade: de aprendizaxe, teórico-práctica e individual á hora de analizar os distintos ensaios, normativa así como toda a documentación relacionada e grupal cando se realizan os distintos ensaios.
- Temporalización: 50 horas.
- Recursos:
 - Materiais: Normativa sobre ensaios, homologación de soldadores, niveis de calidade para as imperfeccións, especificacións de procedementos de soldeo, informes de ensaios, ... así como documentación relacionada coa soldabilidade dos materiais e aspectos a ter presentes cando se proceda a realizar o soldeo dos mesmos. Tamén se empregou un arquivo de radiografías de soldaduras para interpretar defectos nas mesmas.
 - Ferramentas e equipos de taller: radiais, máquinas de soldeo, electrodos, varillas de aporte.
 - Para os distintos END empregáronse calibres para verificar as soldaduras, lápices térmicos, o termómetro dixital, líquidos penetrantes, o xugo magnético para o ensaio de partículas magnéticas e o microscopio para realiza macrografías.
 - Espazos: aula-taller.

2. Soldabilidade dos aceiros.

Un aceiro considérase soldable, nun grao prefixado por un procedemento determinado e para unha especificación concreta, cando mediante unha técnica apropiada pódese lograr a continuade metálica da unión, de forma que esta cumpra coas esixencias establecidas con respecto ás propiedades e á súa misión na construción da que forma parte.

A soldabilidade é unha propiedade cualitativa a cal está en función da obra a realizar, dos materiais a empregar e do seu destino polo que terá a seguintes facetas:

- **Soldabilidade operatoria:** é a que nos permite obter unha continuidade na unión soldada empregando os procedementos de soldeo, ferramentas e consumibles axeitados para soldar correctamente en calquera caso.
- **Soldabilidade metalúrxica:** é a que nos permite por medio da selección do material base, material de aporte, consumible, temperatura de soldeo, tratamentos térmicos, etc. obter unha unión coas características mecánicas e químicas desexables a pesares das transformacións metalúrxicas que se producen na soldadura.
- **Soldabilidade construtiva:** é a que permite que ó realizarse a soldadura non se acumulen tensións na zoa da unión nin se orixinen deformacións nin perdas das propiedades mecánicas e químicas, deseñando a peza a soldar e as secuencias de soldeo da forma adecuada para evitar os efectos non desexados producidos pola calor aportada pola soldadura.

2.1 Calor aportado na soldadura

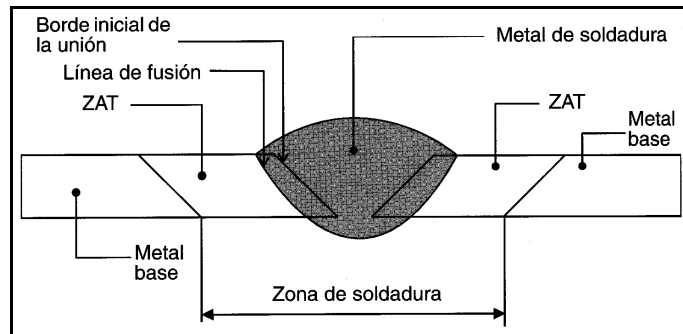
As pezas soldadas reciben calor por:

- plasma do arco eléctrico.
- Ionización e recombinación dos átomos do gas no que salta o arco.
- O choque dos electróns na peza.

Zoas na xunta soldada

As zoas máis importantes que se distinguen nunha unión soldada son as seguintes:

- **Metal base:** É a parte da construción non afectada polas operacións de soldadura. A composición química e a estrutura corresponden á inicial.
- **Metal de soldadura:** É o metal fundido polo proceso de soldeo, cunha composición química e unha estrutura que corresponden ás proporcionadas pola fusión do metal base e o de aportación.
- **ZAT (Zoa afectada térmicamente):** Zoa na que se producen transformacións ou modificacións estruturais.



2.2 Tipos de aceiros empregados nas unións soldadas

Dado que existe un listado moi extenso de aceiros, preséntase a continuación unha clasificación dos máis empregados na industria:

- Aceiros ao carbono
- Aceiros aleados
- Aceiros de alto límite elástico
- Aceiros tépedos e revenidos
- Aceiros inoxidables
- Aceiros placados

Aínda que as propiedades que definen un aceiro non só dependen da súa composición química, fundamentalmente as clasificacións dos materiais baséase nesta.

Neste achegamento aos aceiros describiranse de acordo á súa composición química, por ser esta unha característica estable na vida do material.

— Aceiros ao carbono

Trátase do tipo de aceiro que máis se emprega nas fabricaciónns soldadas polo seu baixo custo, boas características mecánicas e boa soldabilidade. En xeral, todas as edificacións metálicas, o sector naval, as tubaxes e os equipos de calderería son de aceiro ao carbono.

Estes aceiros son fabricados en serie nas siderúrxicas, que normalmente fabrican o resto de aceiros enumerados anteriormente (salvo os inoxidables) exclusivamente baixo pedido. Adoitan suministrarse normalizados. O aceiro básico contén porcentaxes en carbono de ata un 0.30%, en Manganeso de ata 1.5%, Silicio do 0.5%, e contidos en fósforo e xofre menores do 0.05%; o fósforo e o xofre son impurezas, elementos non desexados.

Poden presentar problemas de soldabilidade cando teñen un espesor alto, pero en xeral teñen boa soldabilidade.

— Aceiros aleados

Enténdese por aceiro aleado aquel con aleantes distintos dos definidos anteriormente nos aceiros comúns (Carbono, Manganeso<1.1% e Silicio<0.5%). Os elementos extra ou aleantes do devandito aceiro melloran fundamentalmente propiedades como a súa tenacidade, dureza ou resistencia á tracción. Entre os aceiros de pouca aliaxe inclúense os aceiros estruturais, os resistentes a creep (alta temperatura), os crioxénicos (traballo a baixa temperatura) e os aceiros de alto límite elástico. Son parecidos aos aceiros ao carbono en C, Mn, P, S e Si, pero ademais teñen Cr, Ni, Mo e V.

Algúns dos aleantes do aceiro supoñen importantes cambios nas propiedades mesmo para porcentaxes moi baixas de aliaxe. Ademais, modifican moito a templabilidade (e a soldabilidade) do material, polo que para compensar esta tendencia, ao subir a porcentaxe de elementos extra de aliaxe adóitase reducir a porcentaxe en carbono.

Aceiros para traballar a altas temperaturas. Levan como aleantes cromo e molibdeno, tendo contidos en carbono de ata 0.18-0.20%. (O cromo alcanza ata o 9% e o molibdeno ata 1.5%). O cromo mellora a resistencia á oxidación, mentres que o molibdeno mellora a resistencia á fluencia en quente ou creep.

Estes materiais manteñen as características mecánicas vistas para o aceiro ao carbono ata temperaturas elevadas (550-640°) e presentan resistencia á corrosión por gases oxidantes en quente, ao hidróxeno a alta presión e temperatura, a gases sulfurosos, polo que atopan un amplo campo de aplicación na industria nuclear, de xeración de enerxía, química, do petróleo e petroquímica.

Aceiros crioxénicos. O seu aleante fundamental é o níquel, que incrementa a resistencia e tenacidade, á vez que reduce a velocidade crítica de templado do material.

Aceiros de alto límite elástico

O desenvolvemento dos aceiros de alto límite elástico comezou nos anos seguintes á Primeira Guerra Mundial. Coa adición de diferentes elementos de aliaxe conséguese elevar o límite elástico.

Como principais compoñentes destes aceiros pódense sinalar o carbono, o manganeso, níquel, cobre, boro, aluminio, titanio, vanadio e niobio(<0.030%). O carbono nunca adoita superar o 0.22%, limitándose normalmente ao 0.20% por razóns de soldabilidade.

O manganeso engádese durante o proceso de fabricación do aceiro para elevar as súas características mecánicas e evitar que o xofre apareza en forma de sulfuro de ferro, que resulta moi prexudicial, pois favorece a fisuración en quente. Un dos seus principais problemas é a fisuración en frío, ou fisuración diferida, estando máis expostos que os aceiros ao carbono a este fenómeno por mor da súa templabilidade.

Aceiros templados e revenidos

Estes aceiros empezan a desenvolverse en Estados Unidos a partir da década dos 50, como resultado de investigacións sobre materiais adecuados para blindaxe.

Fabrícanse nas mesmas instalacións que os aceiros normais. Para a laminación adóitanse empregar trens pesados con obxecto de conseguir altas calidades de superficie e estreitas tolerancias.

As súas elevadas propiedades mecánicas son consecuencia da estrutura metalúrxica conseguida a través do tratamento térmico de templado e posterior revenido, denominándose o conxunto destas operacións bonificado.

Este tratamento térmico consiste nun quecemento ata a temperatura á que o aceiro alcanza a austenización completa e un enfriamento rápido nun líquido, auga ou aceite. Isto vai seguido dun ciclo de revenido, que serve para mellorar as características mecánicas das estruturas metalúrxicas obtidas no amorne. Co revenido o material experimenta unha diminución da súa carga de rotura e límite elástico e unha mellora na súa ductilidade e tenacidade.

— **Aceiros inoxidables**

De maneira sinxela pódese dicir que o aceiro inoxidable é unha aliaxe de ferro e cromo cun contido en cromo superior ao 11.5%.

Cando un material ten porcentaxes elevadas de cromo, na súa superficie fórmase unha fina capa de óxido de cromo que lle proporciona ó material resistencia á corrosión. É o que se coñece nos inoxidables como capa pasivante.

A clasificación máis habitual segundo as propiedades físicas e químicas dos aceiros inoxidables e que permite establecer unhas consideracións xerais no seu comportamento e a súa aptitude para o soldeo é a seguinte:

Austeníticos. Teñen boa soldabilidade e propiedades mecánicas, pero presentan coeficientes de dilatación térmica elevados.

Ferríticos. Son magnéticos, e aínda que soldan ben, teñen tendencia a fraxilizar.

Austeno-ferríticos ou dúplex. Teñen unha matriz 50% ferrítica - 50% austenítica, co que evitan os problemas de baixa resistencia, mal comportamento a temperatura alta e fluencia, coeficientes de condutividade baixos e de dilatación altos dos austeníticos, e a mala resistencia á corrosión dos ferríticos, combinando as boas propiedades de ámbolos tipos de aceiros. Teñen as boas propiedades dos austeníticos e os ferríticos. Presentan moi boa soldabilidade e propiedades mecánicas.

Martensíticos. Non son recomendados para o soldeo, pois fraxilizan facilmente.

Os aleantes fundamentais destes materiais son o cromo e o níquel. En canto as súas aplicacións, resulta sobradamente coñecido que o seu emprego límitase a aqueles casos nos que se requiren propiedades elevadas de resistencia á oxidación.

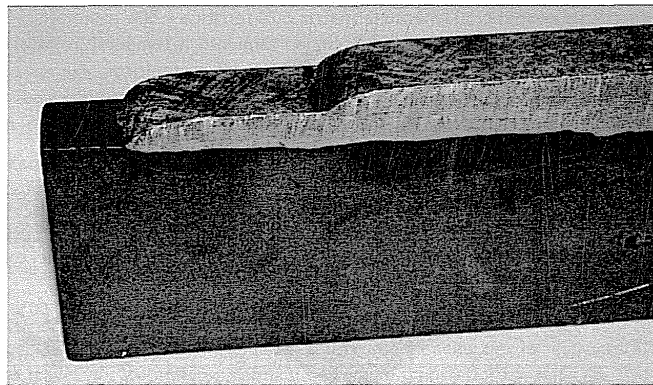
— Aceiros placados

Trátase dunha familia de materiais que nace da idea de aproveitar as vantaxes resistentes do aceiro ao carbono, e modificar as súas propiedades superficiais adherindo á súa superficie unha delgada capa dun material coas propiedades buscadas (resistencia á corrosión, á oxidación, ao desgaste, a alta temperatura, etc.). Algúns placados típicos son os formados por aceiro inoxidable, níquel e aliaxes de níquel, cobre e de cobalto sobre o aceiro ao carbono.

O baixo prezo, a elevada resistencia e a boa soldabilidade dun aceiro ao carbono aproveitase ao recorrer a aceiros placados. Nestes, as propiedades melloradas só se necesitan a nivel superficial e achégaa a placa adicional ao material resistente, que é o aceiro ao carbono. O placado pódese conseguir por distintos métodos: laminación en quente, soldeo por explosión, recargue por soldeo e combinación de soldeo e laminación en quente.

Cando a capa de propiedades melloradas é depositada por soldeo, o proceso recibe o nome de Overlay. Habitualmente no recargue empreganse os procesos de arco sumerxido, semiautomática ou electroescoria. Deberá recargarse o aceiro base de forma que se consiga unha dilución entre un 7% e un 18%.

Foto dun aceiro ao carbono cun recargue de inoxidable:



2.3 Influencia dos elementos de aliaxe

Pequenas porcentaxes de elementos de aliaxe presentes no aceiro poden chegar a modificar de forma importante as propiedades do material (resistencia mecánica, dureza, ductilidade, oxidación, tenacidade, soldabilidade, etc.). Os elementos de aliaxe adoitan atoparse disoltos na ferrita, en forma de carburos, de inclusións non metálicas ou en estado libre.

Os elementos que se atopan disoltos na ferrita normalmente entran na súa rede substituíndo a átomos de ferro. Como diferirán os seus tamaños atómicos,

orixínase unha distorsión da rede de ferrita que fai aumentar a súa dureza e resistencia mecánica.

Aqueles elementos que teñen afinidade polo carbono formarán carburos cando a cantidade de carbono presente sexa suficiente. Os diferentes carburos son sempre duros e fráxiles. Dan ó aceiro resistencia ó desgaste e un mellor comportamento a temperaturas elevadas. Como principais formadores de carburos atópanse o molibdeno e o titanio.

En forma de inclusións non metálicas insertadas na matriz férrea (óxidos e silicatos) aparecerán elementos tales como o silicio, o manganeso e o aluminio, que se engaden no proceso de colada para calmar o aceiro. O manganeso en forma de MnS evita a formación de sulfuro de ferro e con iso os riscos de fisuración en quente. Todas as inclusións teñen un efecto prexudicial sobre as propiedades mecánicas dos aceiros ó actuar como puntos concentradores de tensións sobre os que se inicia a rotura do metal.

Detállanse a continuación as principais propiedades que aporta cada elemento de aliaxe:

Carbono

É o elemento fundamental. Engade dureza e resistencia ó aceiro. Cando aumentamos a cantidade de carbono sen variar o resto dos compoñentes, aumentamos a carga de rotura, o límite elástico e a dureza e diminuímos a ductilidade, alargamento e resiliencia. Con máis do 0.25% de C temos fragilidade na soldadura.

Manganeso

Emprégase fundamentalmente como desoxidante e desulfurante dos aceiros. Proporcionálles boa forxabilidade e aumenta a súa templabilidade. Non debe atoparse por encima do 1.20%. Interesa a súa presenza para evitar a *fisuración en quente*. Ademais aumenta a resistencia ó desgaste.

Silicio

Aínda que o silicio ten certa importancia como elemento de aliaxe para aumentar a dureza do aceiro, a súa carga de rotura e o seu límite elástico, a súa maior importancia tena como axente desoxidante para controlar o contido de osíxeno no aceiro.

Aluminio

É desoxidante e afina o grao, eleva o límite elástico e baixa a sensibilidade á rotura fráxil. Todos os aceiros aleados de calidade conteñen aluminio en porcentaxes pequenísimos, entre 0,001 e 0,008%.

Níquel

Unha das súas maiores vantaxes é evitar o crecemento do gran nos tratamentos térmicos, o que serve para provocar gran tenacidade. O níquel proporciona gran resistencia á oxidación. Experimentalmente obsérvase que cos aceiros aleados con níquel obtense para unha mesma dureza, un límite de elasticidade lixeiramente máis elevado e maiores alongamentos e resistencias que cos aceiros ao carbono ou de baixa aliaxe.

Cromo

O cromo engádese a algúns aceiros en pequenas proporcións para aumentar a súa resistencia á oxidación e á corrosión. Emprégase en cantidades diversas dende 0.30% a 30%, segundo os casos e serve para aumentar a dureza e a resistencia á tracción dos aceiros, mellora a templabilidade, impide as deformacións no temple, aumenta a resistencia ó desgaste, etc. Forma carburos moi duros e comunica ó aceiro maior dureza, resistencia e tenacidade a calquera temperatura.

Molibdeno

Ten gran tendencia a formar carburos e a aumentar notablemente a templabilidade. Engádese en cantidade de 0.5 a 1.5% ós aceiros de baixa aliaxe para mellorar a súa resistencia mecánica e fluencia cando traballan a temperaturas elevadas. Os aceiros inoxidables austeníticos conteñen molibdeno para mellorar a resistencia á corrosión.

Cobre

En proporcións entre o 0.25-0.40% mellora a resistencia á corrosión e á oxidación, sen influír deste xeito na soldabilidade, polo contrario pode producir endurecemento por precipitación.

Boro

É o elemento de maior poder templante. É un desoxidante enérxico.

Titanio

Emprégase na estabilización dos aceiros inoxidables. Ten a desvantaxe que volatiliza facilmente.

Niobio

Aumenta o límite elástico. Aconséllase que a temperatura de laminación sexa baixa para evitar o posterior normalizado que baixaría as súas características mecánicas.

Tungsteno

Tamén coñecido como wolframio, forma co ferro carburos moi complexos, estables e duros, soportando ben altas temperaturas.

Cobalto

Elemento moi endurecedor. Diminúe a templabilidade. Mellora a dureza en quente. O cobalto é un elemento pouco habitual nos aceiros. Úsase nos aceiros rápidos para ferramentas, aumenta a dureza da ferramenta en quente. Utilízase para aceiros refractarios. Aumenta as propiedades magnéticas dos aceiros.

Vanadio

Posúe unha enérxica acción desoxidante e forma carburos complexos co ferro, que proporcionan ó aceiro unha boa resistencia á fatiga, tracción e poder cortante nos aceiros para ferramentas.

Chumbo

Non se combina co aceiro, atópase nel en forma de pequenos glóbulos. Favorece a mecanización por arranque de labra, (torneado, cepillado,

tradeado,...) xa que é un bo lubricante de corte. Engádese a algúns aceiros para mellorar moito a maquinabilidade.

— Impurezas no aceiro

Son elementos indesexables na composición dos aceiros. Moitas veces eliminalas resulta imposible ou é demasiado custoso, entón admítase a súa presenza en cantidades mínimas. Considéranse impurezas o xofre e o fósforo.

Xofre

Acéptase un máximo de 0.04%. Reacciona co ferro dando lugar a sulfuro de ferro, un composto de baixo punto de fusión que aparece en forma de película nos límites dos grans, orixinando a chamada *fraxilidade en quente*. O seu efecto redúcese coa adición de manganeso. O xofre aumenta a sensibilidade aos desgarrs laminares.

Fósforo

Acéptase un máximo dun 0.04%. Se a súa concentración supera o 0.08% pode ocasionar a denominada *fraxilidade en frío*. Non ofrece dificultade na soldadura pero si en traballos posteriores como o conformado das pezas soldadas xa que poden ter roturas na zona de transición. Durante a soldadura forma, xunto co ferro, fósforo de ferro, que favorece o crecemento do grao aumentando así a fraxilidade.

2.4 Coñecementos básicos para o estudo da soldabilidade dos aceiros. Conceptos básicos.

— Prequentamento e postquentamento.

A medida que aumenta o contido en C dun aceiro, este faise máis duro, resistente e fráxil debido á maior presenza de cementita. Por outra parte, se sometemos a un aceiro a arrefriamentos rápidos, tamén se endurece debido á aparición de martensita. Se ben a dureza é ás veces unha característica desexable para a utilización posterior, o que un aceiro se endureza como consecuencia da soldadura é algo que debemos evitar. Para logralo utilizaremos as técnicas de prequentamento e postquentamento.

Estas técnicas conseguen, mediante a aplicación de calor, que a transformación da austenita se realice a unha temperatura superior, dando lugar a constituíntes máis brandos e dúctiles.

Non sempre é necesario acudir ó prequentamento e postquentamento. No caso dos aceiros de baixo e medio carbono basta con aplicar a fórmula do carbono equivalente, do que falaremos máis adiante, para saber se é preciso quentamento.

— **Influencia do espesor.**

En xeral, canto maior sexa o espesor da peza que queremos soldar, máis rapidamente se arrefría, co conseguinte risco de aparición de estruturas duras e fráxiles.

Polo tanto, teremos que ser prudentes na soldadura de pezas de espesores grandes, aplicando os tratamentos térmicos necesarios para evitar tensións.

— **Influencia das impurezas e dos elementos de aliaxe.**

Como se sinalou con anterioridade, os aceiros conteñen inevitablemente S e P procedentes das materias primas que se utilizan na súa fabricación e ademais poden engadirse outros elementos de aliaxe.

Canto maior sexa a presenza de elementos de aliaxe nun aceiro máis tempo necesitan os átomos para reordenarse durante o arrefriamento. Resumindo, canto máis aliado estea un aceiro, maior risco existe que se formen estruturas duras. O elemento que máis inflúe é o C seguido de Mo, Cr, V e Mn.

En canto ó S e P, aínda que non teñen unha influencia directa na formación de compostos fráxiles, son moi prexudiciais porque supoñen unha discontinuidade na estrutura cristalina do aceiro sendo os responsables dalgúns mecanismos de rotura frecuentes nas unións soldadas.

— **Risco de absorción de gases.**

Durante a soldadura prodúcese gases como hidróxeno, osíxeno e monóxido de carbono. Así mesmo pode producirse unha absorción de nitróxeno da atmosfera se a protección do arco non é correcta. Se a solidificación da soldadura é rápida e estes gases non teñen tempo de escapar, formaranse óxidos e poros que poden contribuír á rotura da peza soldada.

— **Concepto de carbono equivalente.**

Trátase dunha fórmula obtida experimentalmente e que serve para avaliar a soldabilidade dun aceiro. Segundo sexa o seu valor acudiremos ou non a técnicas de prequentamento e postquentamento.

Diversos autores deron diferentes expresións a esta fórmula aínda que todas elas conducen a resultados moi similares.

Unha expresión bastante utilizada é a seguinte:

$$C.E. = \%C + \%Mn/6 + (\%Cr + \%Mo + \%V)/5 + (\%Ni + \%Cu)/15$$

Aínda que os valores admisibles de C.E. varían segundo vaia a ser a utilización posterior da peza, podemos dicir como orientación que a partir de C.E. = 0,4 aconsella prequentar e a partir de 0,6 débese tamén postquentar.

Se queremos tamén ter en conta o espesor, falaremos de carbono equivalente compensado:

$$C.E.C- = C.E. + 0,0254 \times e \quad (e = \text{espesor en cm.})$$

Se C.E.C. é maior de 0,5 aconséllase prequentar.

Convén dicir que o cálculo do carbono equivalente pode ser suficiente cando se trata de determinar as temperaturas de prequentamento de aceiros de baixo carbono e aceiros de A.L.E. (alto límite elástico).

Sinalar que o carbono equivalente ten escasa utilidade práctica noutros tipos de aceiros e teremos que empregar outros métodos para elixir o procedemento adecuado de soldadura.

2.5 Mecanismos de rotura nas unións soldadas.

Detállanse a continuación os mecanismos que con maior frecuencia dan lugar á rotura das unións soldadas.

Veremos a importancia que ten o reducir ó máximo a presenza de S e P nos aceiros, así como evitar a absorción de gases e a formación de estruturas duras durante a soldadura.

— Fisuración en frío.

Chámaselle así á aparición de gretas ou fisuras na soldadura a temperaturas inferiores ós 300°C. Aparecen frecuentemente na zona do metal base afectada pola calor.

Os factores que dan lugar á fisuración en frío son:

- a) Presenza de tensións na unión soldada.
- b) Presenza de hidróxeno na zona afectada pola calor
- c) Presenza de martensita ou bainita na ZAT

a) Presenza de tensións na unión soldada.

No estadio tensional da soldadura inflúe de maneira decisiva o deseño da unión. Unha unión moi embridadas como consecuencia do deseño producirá un nivel de tensións máis alto.

Outro motivo de que aparezan tensións é a transformación da austenita en ferrita-perlita ou en martensita-bainita se o arrefriamento foi rápido. En tódolos casos prodúcense variacións de volume que contribúen a un aumento do nivel de tensións.

O prequentamento diminúe o nivel de tensións produto da solidificación da soldadura.

b) Presenza de hidróxeno.

O hidróxeno fórmase a partir da auga ou do vapor de auga existente na atmosfera, no revestimento dos electrodos, no flux, etc que ás temperaturas do arco disóciase en osíxeno e hidróxeno. O hidróxeno é moi soluble no baño de fusión. Polo tanto, a tendencia natural deste gas é escapar á atmosfera a medida que o metal se solidifica e se arrefría. Non obstante, unha parte deste

hidróxeno pode quedar atrapada dentro do cordón. O gas, que ás temperaturas do arco atópase en estado atómico, difúndese cara a zoa de transición e aloxarase nas pequenas cavidades que atope (poros, escorias, ...). O hidróxeno, en estado atómico, é inestable polo que ó baixar a temperatura reasociarase formando moléculas co conseguinte aumento de volume. Debido a isto crearanse presións moi elevadas capaces de iniciar a fisuración da soldadura.

As *microfisuras* producidas por hidróxeno poden orixinarse durante o arrefriamento ou cando a soldadura está sometida a tensións fortes. Nos ensaios de tracción de probetas con alto contido en hidróxeno aparecen unhas manchas brancas que se denominan polo seu aspecto “ fish eyes” ou “ ollos de pez”. As súas dimensións oscilan entre 1 mm e 1 cm.

A capacidade dos aceiros a desenrolar ollos de pez aumenta coa adición de elementos como o Ni, Cr e Mo. Os aceiros inoxidables austeníticos e ferríticos non presentan este tipo de defectos.

Os factores favorables para diminuír a presenza de hidróxeno:

- Utilizar electrodos básicos previamente secados en estufas.
- Soldeo continuo, sen arrefriamentos intermedios.
- Utilizar intensidades elevadas.
- Prequentar as pezas.
- Tratamento térmico post-soldadura.
- Empregar procedementos TIG e MIG que dan depósito con baixo contido en hidróxeno.

c) **Presenza de martensita ou bainita na ZAT**

Estas estruturas teñen elevados valores de resistencia pero baixa ductilidade polo que favorecen o agretamento da soldadura en frío.

Como xa dixemos, o prequentamento é a mellor forma de previr a formación destas estruturas, pero haberá que ser coidadoso á hora de aplicalo xa que un arrefriamento excesivamente lento pode causar problemas de crecemento do gran na zona de transición coa conseguinte diminución das propiedades mecánicas.

— **Fisuración en quente.**

Estas fisuras fórmanse a temperaturas superiores ós 300°C e poden aparecer no metal aportado ou na zona de transición. O xofre pode ser o responsable destas fisuras.

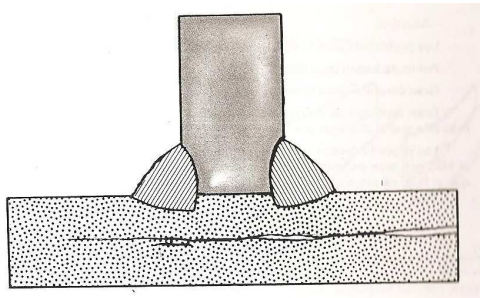
Se a presenza de xofre é elevada pódese formar sulfuro de ferro. O punto de fusión deste composto é de 985° C o que significa que permanece en estado líquido cando xa se empezan a formar os grans de austenita. O sulfuro de ferro vaise depositando nos límites dos grans e, a medida que se produce o arrefriamento como consecuencia das tensións de contracción, prodúcese fisuras intergranulares debidas á pouca resistencia deste composto.

Os aportes de calor elevados así como o prequentamento favorecen a aparición deste tipo de fisuras.

A única forma de evitalas é limitar o contido de xofre dos aceiros ó engadirilles Mn para que se forme sulfuro de manganeso, o cal ten un punto de fusión máis elevado que o de sulfuro de ferro; porén, presenta o inconveniente de que pode producir desgarre laminar.

— Desgarre laminar.

É un agretamento producido paralelamente ó plano de laminación do aceiro ou o que é o mesmo, en sentido perpendicular ó espesor (Figura 4).



Prodúcese a causa das inclusións non metálicas presentes no metal (sulfuro de manganeso).

Se non se teñen garantías de que o aceiro non é susceptible a este fenómeno, débense deseñar as unións soldadas evitando que as chapas traballen en sentido perpendicular ó espesor.

A siderurxia pode subministrar aceiro non susceptibles a este fenómeno, fabricados en fornos eléctricos e cun severo control da presenza de impurezas.

Outra forma de estar seguros de que non se produza o desgarro laminar é facer unha inspección ultrasónica da peza despois da soldadura, aínda que esta última solución pode ser excesivamente complicada e cara.

2.6 Soldabilidade dalgúns materiais non férreos

Indícanse a continuación algunhas consideracións importantes sobre a soldadura de materiais distintos do aceiro.

— Cobre

A dificultade para a soldadura do cobre reside na súa grande condutividade térmica. Para soldar cobre por arco eléctrico utilízanse uns electrodos especiais con núcleo de Cu e tres capas de revestimento. O revestimento fai que se eleve a tensión do arco a 60-70 V. Deste maneira a calor subministrada é maior e só é necesario prequentar a peza cando son espesores moi grandes.

— **Bronce**

a) Bronce fundido

É necesario prequentar a uns 500° C. A esta temperatura as súas resistencia á rotura e alargamento vense notablemente prexudicadas polo que se estudará ben a maneira de apoiar a peza.

b) Bronce laminado

É necesario prequentar a uns 200-300° C. Durante a soldadura despréndese gran cantidade de vapores e gases polo que é moi aconsellable que o soldador leve pantalla con respiración.

— **Aluminio**

Os problemas que presenta son o seu baixo punto de fusión, gran conductividade térmica e gran facilidade de oxidación. Os óxidos de aluminio teñen un punto de fusión máis alto que o aluminio polo que a súa aparición dificulta enormemente a soldadura.

3. Inspección de construcións soldadas.

O soldeo é unha técnica de unión con grandes vantaxes pero, a diferenza doutros métodos de unión {por exemplo, as unións atornilladas}, esixe un rigoroso control da execución e do produto terminado. Por iso é necesario introducir na fabricación de construcións soldadas a figura do inspector.

O inspector de soldadura será a persoa responsable da verificación de que todas as actividades de inspección relacionadas co soldeo son realizadas de acordo cos requisitos aplicables.

A inspección pode ser levada a cabo por un empregado do dpto. de calidade do fabricante, por un inspector do cliente (o que se coñece como inspección de segunda parte), que revisará o cumprimento dos requisitos impostos polo cliente, ou por un inspector de terceira parte, que é unha persoa que traballa para un organismo notificado, que ten a misión de verificar que se está cumprindo a normativa vixente.

A principal tarefa da inspección é a de asegurar que se cumpren os requisitos establecidos nos planos de deseño, códigos, normas, especificacións do cliente e calquera outro documento que sexa aplicable. A mesma levarase a cabo entes, durante e despois da execución das soldaduras propiamente ditas.

En xeral, para unha correcta inspección, o inspector deberá responsabilizarse de desenrolar de forma xenérica e nas debidas condicións, as seguintes comprobacións:

- Comprobacións antes da soldadura:
 - Recepción e exame dos materiais
 - Estudio dos certificados de orixe, especificacións, ...
 - Certificado de calidade e dimensións dos materiais, en base a estes
 - Localización de posibles cortes defectuosos, grietas, ... nos materiais
 - Medición da abertura e da raíz na preparación de bordes
 - Revisión da calidade dos materiais de aporte así como do axeitado almacenamento
- Comprobacións durante a soldadura:
 - Clasificación dos soldadores
 - Aplicación axeitada do procedemento homologado
 - Uso correcto dos parámetros de soldeo especificados
 - Limpeza da unión e sistema de limpeza dos cordóns
 - Uso correcto de materiais de aporte, fundentes e gases de protección
 - Tª de presalentamiento
 - Tª entre pasadas
 - Aspecto de cada pasada
- Comprobacións despois da soldadura:
 - Posibles imperfeccións da xunta soldada
 - Dimensións das soldaduras en ángulo (garganta, lado)
 - Medición dos sobreespesores nas unións a tope
 - Señalización clara das zonas a reparar
 - Volver a inspeccionar a reparar
 - Realización dos informes correspondentes

Cando un conxunto soldado debe ser sometido a inspección é de máxima importancia establecer unha orde ou sistemática acerca da forma, do como e do cando a inspección vai ser efectuada. Este plan de inspección deberá quedar reflectido en documentos escritos; ademais, é moi importante que se fagan constar os criterios de aceptación e rexeitamento.

Un concepto que debe quedar claro é que a inspección vai vinculada completamente ao proxecto e execución da obra soldada: comeza coa revisión de planos, cálculos e materiais e termina tras a execución, inspeccións non destrutivas e ensaios necesarios, co marcado e a certificación.

Para o seguimento e control das diferentes inspeccións adoita ser de gran utilidade a confección de listas onde figuren cronoloxicamente as inspeccións para efectuar e que vaian sendo cumprimentadas a medida que a inspección avanza (Plan de Puntos de Inspección, PPI). Con elas pódese coñecer o estado do equipo en calquera momento e ter evidencia documental de que todas as inspeccións requiridas efectuáronse no momento oportuno. Se inclúe na figura 7.1 un resumo dalgúns controis para realizar.

3.1 Clasificación dos métodos de inspección

Pódese falar de tres grandes grupos de métodos e técnicas de inspección e control: a inspección visual, os ensaios destrutivos e os ensaios non destrutivos.

Inspección visual. Consiste na inspección da fabricación soldada con ferramentas e instrumentos de medida tales como lupas, regras, calibres... Resulta o máis barato de todos os métodos de inspección e cun pouco de experiencia, é posible que detecte zonas problemáticas.

Con este sistema pódense controlar o material base, as preparacións, as posicións, as deformacións, imperfeccións superficiais como: as mordeduras, a falta de penetración, o aspecto, os empalmes, o acabado...

Ensaos non destrutivos. Son técnicas válidas para inspeccionar as propias obras soldadas posto que non requiren a súa rotura. Mediante a aplicación de diferentes fenómenos físicos conséguese "ver" o interior do material, co que se poden deducir imperfeccións interiores e decidir se é necesaria reparación. Os métodos máis usados son o de líquidos penetrantes, as partículas magnéticas, ultrasóns e radiografías.

Ensaos destrutivos. No estudo dos materiais e as súas propiedades, os ensaios destrutivos son a forma de caracterización. Permiten cuantificar propiedades do material e, por tanto, predicir o seu comportamento. En xeral, estes ensaios de caracterización parten de probetas homoxéneas, unha hipótese falsa cando se traballa con unións soldadas.

Aplicados á soldadura, os ensaios destrutivos non serven para caracterizar ao material senón que só buscan comprobar se a unión executada ten a capacidade de carga ou deformación necesarias. Como estes ensaios esixen a rotura de probetas non se poden facer sobre a fabricación definitiva, senón sobre testigos de produción ou cupóns de proba.

Os ensaios máis habituais son: os metalográficos, o ensaio de dureza, o ensaio de tracción xa sexa sobre probetas homoxéneas ou heteroxéneas, ensaio de resiliencia e o ensaio de pregado que pode ser de cara, de raíz ou lateral.

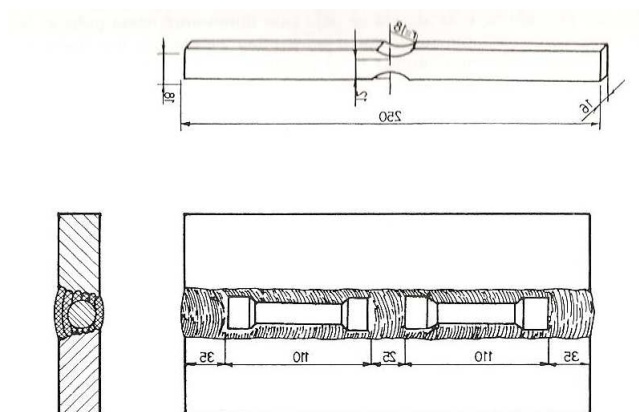
3.2 Ensaio destrutivo ED

As probetas soldadas non son homoxéneas en composición nin, por tanto, nas súas propiedades mecánicas, polo que a interpretación dos resultados debe facerse tendo en conta esta heteroxeneidade. Presentan, ademais discontinuidades xeométricas que modifican o comportamento da unión durante os ensaios e tensións residuais que afectan fundamentalmente os ensaios dinámicos. Por todos estes motivos, aínda que a mecánica de realización do ensaio coincida coa seguida para caracterizar un material, os resultados buscados son notablemente diferentes. Expóñense a continuación, con máis detalle, os ensaios destrutivos máis empregados en cualificación de procedementos de soldeo, como son os ensaios de tracción e de pregado, con indicación dos criterios que se seguen.

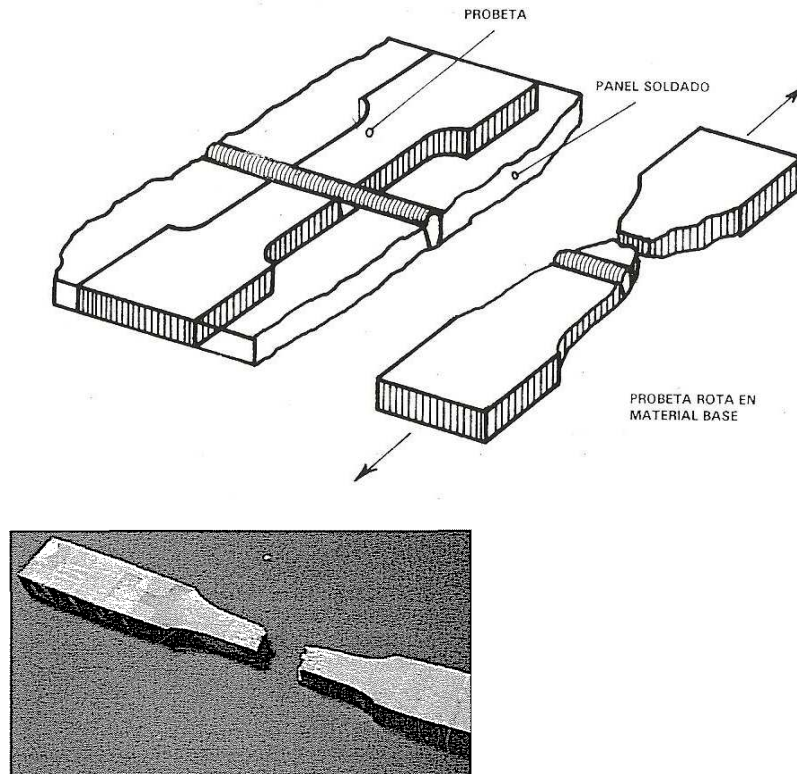
— Ensaio de tracción (Tensile Tests)

Trátase de someter a esforzos crecentes e de sentido oposto a probetas de sección prismática ou cilíndrica. Habitualmente este ensaio úsase en materiais para cuantificar as súas propiedades mecánicas (límite elástico, módulo de elasticidade, carga de rotura, alongamento, etc.) e obter a súa curva de comportamento (tensión-deformación). Como xa se sinalou, o ensaio de tracción en soldadura só persegue coñecer os valores máximos de tensión que soporta o conxunto e por onde se produce a rotura, o que determinará se o soldeo induciu redución de propiedades nos materiais ou non. A súa aplicación a unións soldadas ten dúas variantes, segundo a composición da probeta a ensaiar:

- a) *Ensaio lonxitudinal sobre o material aportado.* Con este ensaio realízase ensaiando probetas formadas por material depositado. Trátase de probetas aproximadamente homoxéneas, e pode servir para obter valores como na caracterización tradicional de materiais tendo en conta a imprecisión.



- *b) Ensaio transversal.* Neste caso as probetas están formadas por material base e de aportación. Deste xeito chegamos a coñecer a carga á que rompe a unión soldada, comprobando si rompe polo metal base, polo de aporte ou pola zoa de transición. Para que este ensaio sexa aceptable, a carga de rotura final ten que ser como mínimo a do metal base.



— Ensaio de plegado (Bending Tests)

Trátase de someter a deformación nunha máquina de ensaio de flexión a tres puntos a probetas prismáticas, co fin de comprobar se a superficie traccionada ten ductilidade suficiente como para dobrarse sen agretar. É un ensaio moi duro e esixente co material.

Pódense sinalar dous tipos de ensaios de pregado segundo cal sexa a cara da soldadura que se traccione:

a) *Ensaio de doblado transversal polo lado da cara e polo lado da raíz das unións soldadas a tope por fusión:* consiste en someter a deformación plástica unha probeta, tomada en sentido transversal á unión soldada, a cal se dobra sen invertir o sentido da flexión, de modo que só unha das superficies de soldadura quede sometida á tracción.

b) *Ensaio de doblado transversal lateral nas unións soldadas a tope por fusión:* consiste en someter a deformación plástica unha probeta, a cal se dobra sen invertir o sentido da flexión. Esta probeta tómase en sentido transversal á unión soldada, de modo que a súa anchura corresponda ó espesor da unión.

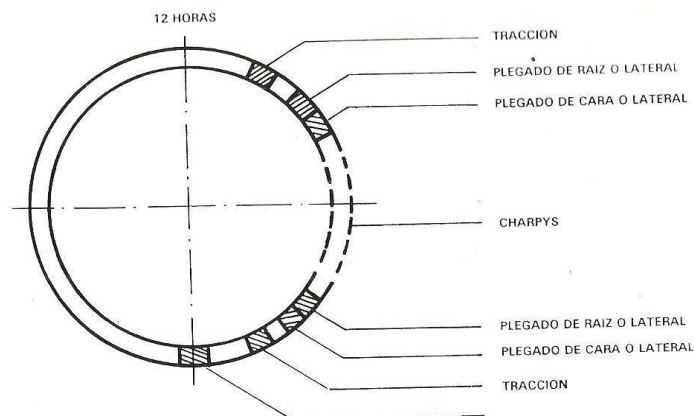
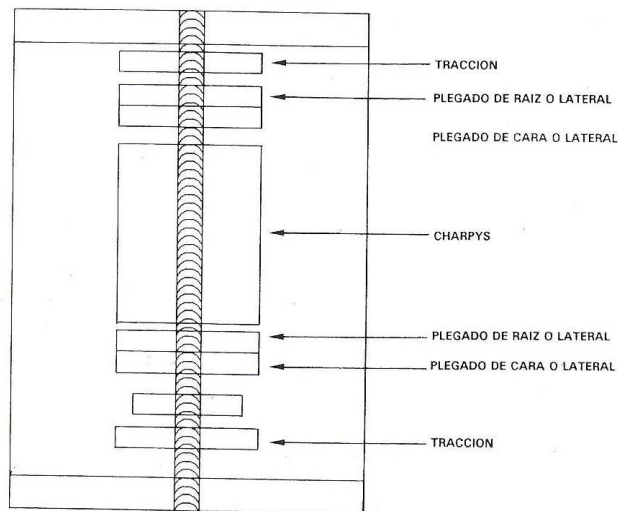
As probetas que se ensaian atópanse mecanizadas e non teñen sobreespesor.

3.2.1 Localización das probetas nas pezas de ensaio.

As probetas dos ensaios destrutivos extraírense de cortar as pezas soldadas nas mesmas condicións de material base, consumibles, equipos, ...

O corte efectuarase coa probeta refrixerada para evitar sobrequecementos e transformacións metalúrxicas que falsearían os ensaios.

As probetas córtanse na orde indicada na figura:



3.3 Ensaos Non Destrutivos. END.

Os medios de inspección máis usados nas construcións soldadas son os ensaios non destrutivos(END), dado que permiten inspeccionar o 100% da obra sen afectar para nada á estrutura do material. En xeral, a aplicación destes controis abarca tres campos:

- Defectoloxía, tanto en soldaduras como en materiais
- Caracterización de materiais
- Metroloxía, usada para o control de espesores

— Inspección visual (IV)

Un dos END que adoita realizarse en primeiro lugar é a inspección visual. Con este primeiro control pódense detectar moitas imperfeccións, co que se aforrará tempo e diñeiro ó evitar a execución de ensaios máis custosos. No referente ao tempo, a inspección visual ten lugar antes, durante e despois do soldeo. Sobre os controis para realizar, no apartado 2.2 aparecen sinalados os distintos aspectos a levar a cabo polo inspector.

— Líquidos penetrantes (LP)

O exame por líquidos penetrantes permite detectar discontinuidades que afloran á superficie de sólidos non porosos. Entre as imperfeccións detectables con esta técnica están as fisuras, porosidades superficiais, cráteres nos extremos dun cordón, etc.

Existen varios tipos de líquidos penetrantes, pero os máis utilizados son os de cor vermella, xa que producen moi bo contraste co branco do revelador.



Mediante unha limpeza (1) con deterxentes, disolventes ou solucións decapantes elimínanse da superficie a inspeccionar óxidos, escoria, graxa, ... que puidesen disimular unha discontinuidade.

Posteriormente, mediante un pulverizador aplícase o penetrante (2), un líquido de cor vermella intensa que deberá actuar durante un certo tempo para garantir que se poida introducir por todos os ocos. Transcorrido ese tempo, mediante o

emprego dun pano limparase a superficie pulverizada (3). Despois, aplícase o revelador (4), tamén por pulverización; trátase dun produto branco que ao contacto co penetrante colorease de vermello e é percibido facilmente na superficie.

A indicación que aflora á superficie a examinar é consecuencia da discontinuidade existente (en realidade, da presenza de penetrante) e sinala a súa situación exacta.

Finalmente, coa interpretación determinarase se as discontinuidades observadas son reais, é dicir, se corresponden con imperfeccións superficiais da peza, ou falsas. Como exemplo de indicación falsa pódense citar aquelas debidas a un lavado defectuoso (se na limpeza non se elimina totalmente o penetrante da superficie, ó realizar o exame faceranse visibles estas zoas) ou unha manipulación incorrecta (se se manexan as pezas coas mans sucias de penetrante poden aparecer indicacións que non corresponden a imperfeccións reais, entre outras).

— **Partículas magnéticas (PM)**

Este END detecta defectos superficiais e subsuperficiais (próximos á superficie) en materiais magnéticos. Para realizalo haberá que magnetizar a peza, e sobre ela, posteriormente, espolvorear partículas de po de ferro.

Cando se crea un campo magnético nun material ferromagnético, ese campo vese desviado se atopa unha discontinuidade no seu percorrido. Se esa discontinuidade está na superficie ou preto dela, aparece un campo de fugas que se pon en evidencia por agrupar o po de ferro magnético.

Existe gran variedade de partículas, tanto en tamaño como en forma, en densidade, cor, etc. En canto á aplicación o método máis habitual é o denominado por vía seca: as partículas espolvoreanse na superficie mediante un spray. O tamaño das partículas é importante, porque se son moi pequenas, quedarán incrustadas na rugosidade do material, e se son moi grandes a sensibilidade do método quedará limitada. Normalmente adóitanse mesturar partículas de diversos tamaños.

O ensaio require unha limpeza previa da superficie, a magnetización mediante imáns ou electroimáns, ou ben a través de magnetización directa ou inducida por corrente eléctrica, segundo o equipo de que se dispoña, e a aplicación das partículas na superficie para examinar.

O ensaio finalizaría coa avaliación de indicacións e a desmagnetización das pezas, para impedir efectos indesexados debidos a un potencial campo magnético residual. Tamén é conveniente limpar de partículas a superficie ensaiada.

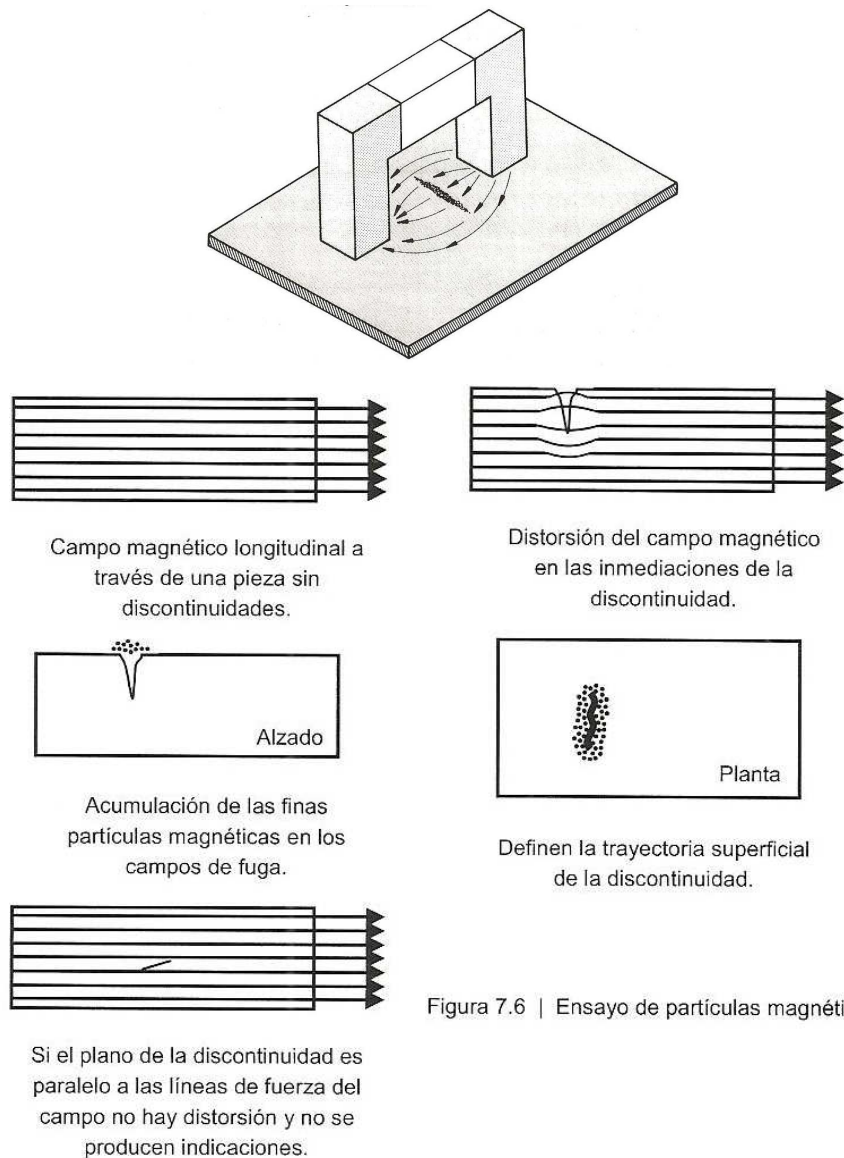


Figura 7.6 | Ensayo de partículas magnéticas

Esta técnica detecta discontinuidades na superficie e no interior do material nas proximidades da superficie. A dimensión e profundidade da discontinuidade estarán relacionadas coa nitidez e o grosor da indicación. Pódense detectar mediante PM, por tanto, fisuras superficiais e subsuperficiais, faltas de fusión e penetración, porosidades e escorias.



— Inspección por ultrasóns (UT)

O exame por ultrasóns emprega a propagación do son, tanto en sólidos como en líquidos, para realizar un control de calquera material susceptible de ser atravesado polo son. As ondas ultrasónicas adoitan xerarse mediante a utilización do efecto piezoeléctrico: existen materiais que ao deformarse mediante a aplicación dunha forza exterior producen cargas eléctricas na súa superficie. Inversamente, se este material se coloca entre dous eléctrodos, cambia a súa forma ao aplicar aos mesmos unha diferenza de potencial.

O elemento emisor/ receptor das ondas denomínase palpador. Está composto dunha lámina de cristal piezoeléctrico en cuxas caras anterior e posterior leva unha fina película de prata formando os electrodos. O cristal fórmase coma o dieléctrico dun condensador e as placas van unidas a un cable que conduce a corrente eléctrica. O conxunto rodéase dun plástico amortiguador e todo iso inclúese nunha carcasa metálica.

Cando se aplica ós eléctrodos unha voltaxe alterna e sinusoidal, o cristal vibra, xerando pulsacións ultrasónicas que poden ser transmitidas ó material a ensaiar en estreito contacto co palpador. De igual xeito, cando os electrodos están desactivados e o cristal en repouso, pode recibir as ondas transmitidas a través do material, xerando unha corrente eléctrica que será captada polos electrodos e conducida a un instrumento medidor de corrente.

As ondas lonxitudinais ou transversais transmitidas a través dun material sometido a ensaio propáganse en liña recta, sofren unha forte atenuación coa distancia percorrida e reflíctense e transmiten ó cambiar a densidade do medio polo que se moven (ó chegar ó extremo da peza metálica, atópanse co aire, provocando que case toda a onda se reflexe, coma si se tratase dun eco).

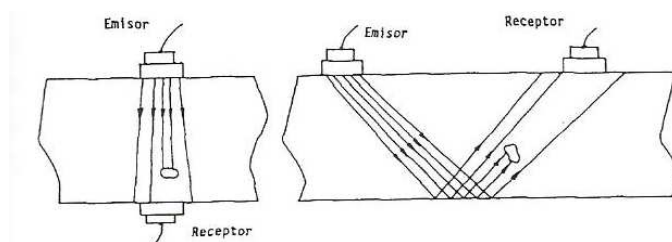
A atenuación das ondas é debida ós fenómenos de dispersión e absorción: a dispersión débese a que os materiais non son completamente homoxéneos no seu interior, senón que conteñen pequenos poros, impurezas, modificacións nas súas estruturas cristalinas e diferentes direccións principais dos seus cristais. Por outra banda, as ondas ultrasónicas transmitidas no interior dun material convértense pouco a pouco en enerxía calorífica, co cal a intensidade vai diminuíndo coa distancia que percorren.

Cos fundamentos físicos expostos brevemente existen diversos métodos para realizar ensaios por ultrasonidos:

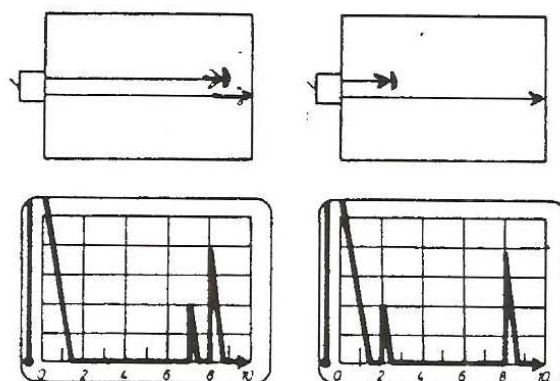
Método de resonancia. Permite a precisa medición de espesores de chapas de superficies paralelas. O ensaio consiste en variar a frecuencia de excitación dun cristal aplicado a unha cara plana dunha chapa ata que entre en resonancia. Isto permite asegurar que o espesor da chapa é múltiplo da semilonxitude da onda emitida.

Como se descoñece o número de semilonxitudes que tiveron lugar será necesario aumentar a frecuencia ata que se volva a producir a resonancia de novo e así finalmente, determinar o espesor.

Método de transparencia ou sombra. Dispónse de dous palpadores, un emisor e un receptor. Cando o haz de ondas atopa un obstáculo, diminúe a intensidade acústica que capta o receptor. A atenuación da idea da magnitude do obstáculo.



Método de impulso-eco. Trátase do método máis estendido para a detección de defectos. Como xa se comentou, cando as ondas ultrasónicas se transmiten polo interior dun sólido e atópanse cunha superficie exterior de fondo, reflíctense case totalmente. Igualmente ocorre cando se atopan un obstáculo no interior. Medindo o tempo de percorrido do haz e o seu eco en distintos puntos dunha mesma chapa é posible determinar se nalgunha zoa existen discontinuidades.



Como vantaxes desta técnica de ultrasóns cabe citar que o equipo é facilmente transportable e produce resultados inmediatos. En cambio, a súa interpretación é complexa posto que non xera imaxe do defecto nin proporciona un rexistro permanente; isto último está superado na actualidade coa técnica de ultrasóns rexistrables.

— Control radiográfico (RT)

Este tipo de control está baseado na capacidade que teñen determinadas radiacións para atravesar a materia e impresionar películas fotográficas facendo aparecer sobre elas unha imaxe do interior da materia atravesada. As radiacións utilizadas convencionalmente na inspección de construcións soldadas son os raios X e γ (gamma). Difíren na súa orixe, pois os raios X proveñen de aparellos excitados eléctricamente: prodúcense ao chocar contra o anticátodo os electróns procedentes do cátodo, acelerados por unha forte

diferenza de potencial; os γ , por contra, xorden da desintegración espontánea de elementos radioactivos.

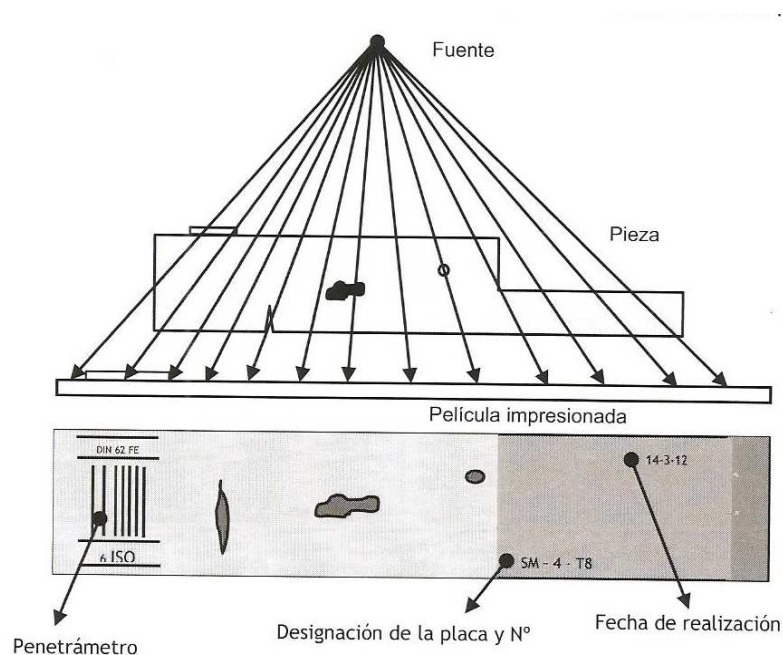
Os elementos radioactivos máis empregados son o Ir 192 e o Co 60, que son isótopos radioactivos do Ir 191 e o Co 59. Ambas radiacións propáganse en liña recta, penetran os corpos opacos á luz ordinaria, ionizan o aire e outros gases, sofren difusión ó incidir sobre a materia, impresionan as emulsións fotográficas, excitan a fluorescencia de certas sustancias e teñen efectos biolóxicos.

Dado que a radiación X ten espectro característico e espectro continuo e a radiación γ só ten espectro característico, hai un maior efecto para os raios X na absorción das radiacións pola materia, obténdose mellores contrastes con eles..

Ademais, como os focos de raios X son máis puntuais dan lugar a mellores radiografías, con menos sombras. Pero teñen o inconveniente de ser equipos menos portátiles e máis custosos, polo que a técnica habitual é a de raios γ .

Películas radiográficas. Constan dun soporte de acetato de celulosa non inflamable, sobre o cal se depositan dúas capas, unha por cada lado de 0.25 mm de bromuro de prata en gelatina, que se atopa en forma de aniões e catións, é dicir, Br^- e Ag^+ .

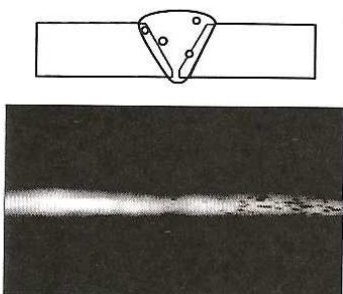
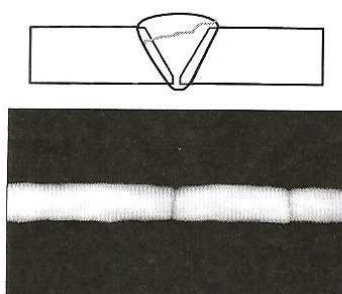
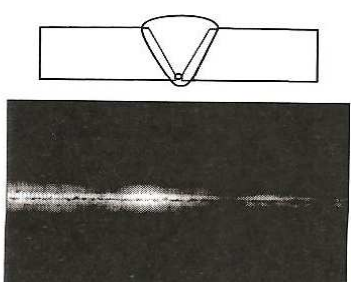
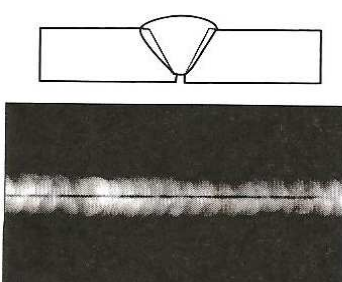
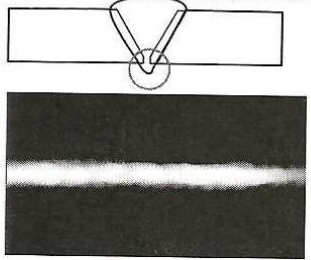
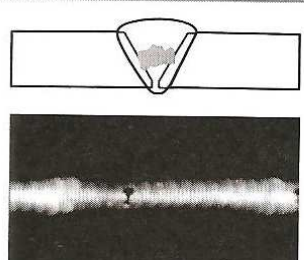
Para realizar unha radiografía, a película vai situada nun chasis opaco á luz visible. Ademais, vai colocada entre dúas pantallas de chumbo que deteñen a radiación difusa procedente dos obxectos que rodean á placa, filtran a radiación branda procedente da fonte e reforzan a imaxe mediante os electróns arrincados pola radiación sobre as pantallas de chumbo.



A intensidade da radiación vese atenuada ó atravesar a materia. A absorción aumenta co espesor e a densidade. Na figura anterior obsérvase o efecto de varias imperfeccións sobre unha radiografía: trátase dunha fisura superficial, unha sopladura e un poro. Por aquelas zonas onde a radiación atravesa máis materia apréciase un tono máis claro na radiografía.

Para avaliar a calidade dunha radiografía recórrase aos chamados indicadores de calidade de imaxe ou penetrámetros, que se sitúan sobre a peza a radiografiar para que queden impresionados na radiografía. A súa correcta visualización serve de comprobación sobre a calidade da radiografía. Existen numerosos penetrámetros: entre outros, están os de escalóns (BWRA, AFNOR e API), de fíos (DEI N, IIW e ISO) e de buracos (ASTM e ASME).

Nas seguintes imaxes aparecen imperfeccións coa radiografía correspondente. Indícase tamén se hai algún tipo de ensaio máis barato que a radiografía que permita detectar as distintas imperfeccións.

Porosidad	Fisuras transversales Detectables por inspección visual, líquidos y partículas (suelen aflorar a la superficie)
	
Porosidad en la raíz	Falta de penetración Detectable por inspección visual
	
Exceso de material en la raíz Detectable por inspección visual	Inclusiones de escoria
	

4. Cualificación do procedemento de soldeo.

Tal e como se pode deducir, unha soldadura non resulta correcta por casualidade, senón que o resultado obtido é consecuencia lóxica dunhas determinadas condicións de execución. En certa maneira, pode afirmarse que o soldeo réxese por principios estables, de forma que se se repiten as condicións, repítense os resultados.

Unha soldadura correcta é o resultado duns materiais axeitados e en boas condicións, un deseño correcto da xunta, unha forma de soldar que garanta un ciclo térmico adecuado e un soldador capacitado. Desta circunstancia xorde o concepto de **procedemento de soldeo**: Enténdese por procedemento de soldeo o documento que recolle o conxunto de accións e parámetros a considerar para realizar unha determinada soldadura.

Hai que resaltar a diferenza entre proceso de soldeo e procedemento de soldeo: mentres que o proceso refírese unicamente ao método de soldeo concreto que se vai a empregar para a execución da soldadura, para definir un procedemento haberá que definir ademais do/s proceso/s a empregar, os materiais para unir e os seus espesores, a posición de soldeo, os consumibles a utilizar, as temperaturas de precalentamiento, as temperaturas entre pasadas ... en definitiva, todas as variables ou parámetros que interveñen na execución da soldadura.

Unha vez deseñado o procedemento de soldeo (é dicir, cando quede documentada de maneira completa a forma de executar unha soldadura) dito procedemento poderá ser cualificado segundo un código ou norma. Trátase de conseguir un 'aprobado' para o procedemento de soldeo asinado pola mencionada norma ou código.

A sección IX do código ASME é un documento moi completo e organizado, que recolle todo o proceso para realizar a cualificación do proceso de soldeo.

4.1 Cualificación de procedementos

A cualificación de procedementos de soldeo pode conseguirse de diversas formas. Certas normas, como a europea, permiten moitos métodos para aprobar un procedemento, entre os cales cabe citar:

- Especificación do procedemento de soldeo
- Emprego de consumibles de soldeo ensaiados
- Experiencia previa de soldeo
- Adopción dun procedemento de soldeo estándar
- Ensaio de soldeo anteriores á produción

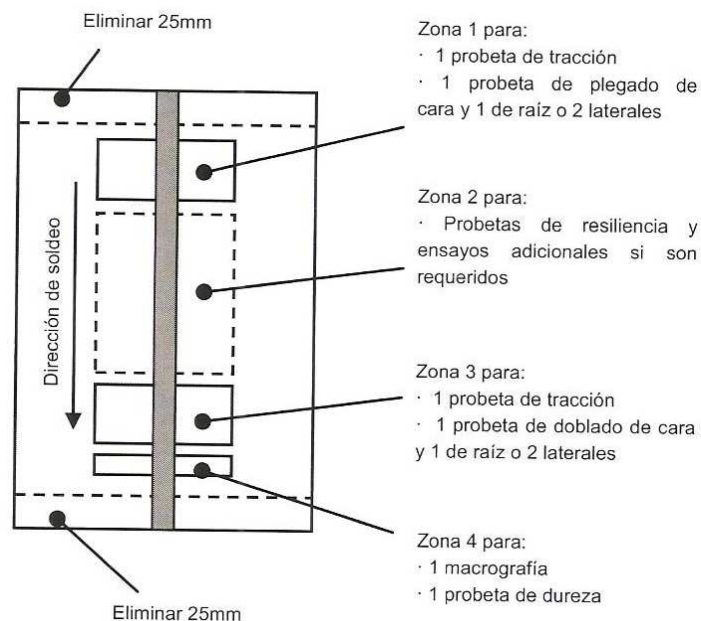
O uso dun método ou outro dependerá do campo de traballo, aínda que un dos máis extendidos é o primeiro, que consiste en preparar unha especificación do procedemento de soldeo para realizar unha proba de soldeo, que habitualmente consiste no soldeo dun par de chapas que se chaman *Cupón de proba*.

Despois da preparación do cupón de proba seguindo o procedemento indicado, extraírense o tipo e a cantidade de probetas que proceda segundo o Código ou a norma de cualificación e sométense a ensaio.

Se todos os ensaios resultan satisfactorios, dase o procedemento por aprobado de acordo á norma considerada. Se non resultasen satisfactorios, significaría que o procedemento de soldeo ideado dá lugar a unha soldadura non adecuada para o servizo.

A homologación dun procedemento esixe a preparación e soldeo dos cupóns de proba, a preparación e mecanización das probetas de ensaio, a realización de ensaios, e que os resultados obtidos sexan aceptables, polo que para o fabricante este proceso supón un custo importante. Ademais, os ensaios destrutivos resultan moi esixentes, polo que non é fácil cumprir os requisitos e, ás veces, necesítanse varias probas ata que o procedemento sexa satisfactorio.

Resulta imprescindible que a cualificación do procedemento sexa executada por un soldador de aptitude demostrada para ese proceso de soldeo, é decir, un soldador homologado.



4.2 Cualificación de procedimientos con ASME

The American Society of Mechanical Engineers (ASME) naceu en 1880. En 1911 xorde o comité de caldeiras que se ocuparía da formulación de todo tipo de regras para a construción de recipientes a presión.

O Código ASME vai dirixido a fabricantes, inspectores e usuarios ou os seus axentes designados (ingenierías, oficinas técnicas, ...).

Edítase un novo Código cada tres anos, e entre edicións, cada seis meses, inclúense Addendas que modifican parcialmente o documento así como comentarios e interpretacións que xorden tanto do propio comité como de fabricantes que habitualmente traballan co Código. Indícanse a continuación as principais seccións do código ASME en inglés coa súa tradución ao español.

A sección IX do Código ASME está constituída por dous partes: QW (Welding Qualifications) e QB (Brazing Qualifications). Lóxicamente, para a cualificación de procedementos de soldeo trátase na parte QW.

Para entender ASME IX aclarar que non se trata dun libro de soldadura, senón dun compendio de regras para cualificar un procedemento de soldeo a partir dun procedemento que se proba no taller sobre unha unión soldada concreta. En realidade, ASME IX define variables que afectan á cualificación de procedementos de soldeo, soldadores e operadores e clasifícaa en función da súa influencia sobre a soldadura depositada. Os coñecementos sobre materiais, técnicas de soldeo, compatibilidade entre aporte e material base debe posuílos o 'usuario' do Código.

A parte QW da Sección IX do Código ASME consta de cinco artigos:

1 Requisitos xerais. Nesta parte preséntanse unha serie de definicións relativas a termos que se usan máis adiante, e defínense convenios tales como as posicións e orientacións das unións, os tipos de ensaios, o obxecto da súa realización e os criterios de aceptación e rexeitamento, así como as condicións de responsabilidade entre as distintas partes que contratan e fabrican determinado equipo. Inclúese a continuación o índice desta parte:

QW-100Xeral

QW-110Weld Orientation (POSICIÓN)

QW-120Test Positions for Groove Welds (POSICIÓN DE CORDÓNS A TOPE)

QW-130Test Positions for Fillet Welds (POSICIÓN DE CORDÓNS EN ÁNGULO)

QW-140Types and Purposes of Tests and Exams (TIPO E OBXECTO DE ENSAIOS)

QW-150Tension Tests (ENSAIOS DE TRACCIÓN)

QW-160Guided-Bend Tests (ENSAIOS DE PREGADO)

QW-170Notch-Toughness Tests (ENSAIOS DE TENACIDADE)

QW-180Fillet-Weld Tests (ENSAIOS SOBRE CORDÓNS EN ÁNGULO)

QW-190Visual Examination-Performance (INSPECCIÓN VISUAL)

II **Cualificación de procedimientos**. Describe os dous documentos necesarios para a cualificación, que son o **WPS** (Welding Procedure Specification ou Especificación do procedemento de soldeo) e o **PQR** (Procedure Qualification Record ou Rexistro da cualificación do procedemento), e dentro deles as variables esenciais e non esenciais para cada proceso de soldeo, así como o tipo de ensaios que resultan necesarios na cualificación. Contén tres grupos de artigos, agrupados en QW-200.Xeral, QW-210. Preparation of Test Coupon (PREPARACIÓN DO CUPÓN DE PROBA) e QW-250. Welding Variables (VARIABLES DE SOLDEO)

No bloque de artigos QW-250 atópanse todas as táboas de variables correspondentes ós distintos procesos de soldeo que considera o Código: OFW, SMAW, SAW, GMAW, FCAW, GTAW, PAW, LBW, etc. Serán estas as táboas que se deberán manexar para proceder á extensión da cualificación unha vez que se realizou satisfactoriamente o PQR.

III. **Cualificación de habilidade de soldadores e operadores de máquinas de soldeo**. Trátase de comprobar a capacidade de soldadores e operadores de máquina para executar soldaduras sen defectos. Este apartado ocúpase de indicar que tipo de rexistro convén, os ensaios para realizar a cualificación, como e cando se debe renovar a homologación, é dicir, describe totalmente o Welding Performance Qualification (**WPQ**), que é o documento relativo á homologación de soldadores e operadores.

IV. Datos técnicos relativos á soldadura. Esta parte dedícase á definición das variables, a técnica, os grupos de materiais e achegas; datos técnicos sobre as probetas a ensaiar e diversos gráficos que complementan os apartados anteriores desta mesma sección. Esta parte está formada polos seguintes capítulos:

QW-400Variables

QW-410Technique (TÉCNICA)

QW-420Material Groupings (GRUPOS DE MATERIAIS)

QW-430F-Numbers (NÚMERO F DE MATERIAIS DE ACHEGA)

QW-440Weld Metal Chemical Composition (NÚMERO A DE MATERIAL DEPOSITADO)

QW-450Specimens (PROBETAS)

QW-460Graphics (GRÁFICOS)

QW-470Etching-Processes and Reagents

QW-490Definitions (DEFINICIÓN)

Esta sección non pode ser lida 'como unha novela'. É unha parte que serve de aclaración ao resto do documento; por exemplo, as táboas de QW-250 remiten ó lector ós QW-4XX para informarse acerca da definición detallada de cada variable; están mesturadas explicacións que corresponden a distintos procesos, polo que pode ocorrer que da lectura de dous artigos seguidos obtéñanse conclusións opostas. Por iso, só haberá que ler aqueles artigos (QW- 4XX) que se apliquen ao caso de traballo (segundo indique a táboa QW-250 aplicable).

O artigo QW-490 contén definicións de case todos os conceptos presentados no documento, polo que pode resultar moi interesante a súa lectura cando se comeza a manexar o código.

V. **Standard WPS**. Trátase dun artigo incorporado recentemente, onde se indican as condicións baixo as cales é aceptable a aplicación de especificacións de procedemento de soldeo estándar, é dicir, de procedementos que ASME sabe que 'funcionan' correctamente (o que significa que producen soldaduras válidas para o servizo).

4.3 Documentos para realizar a cualificación

A cualificación dun procedemento de soldeo segundo ASME IX realízase empregando dous documentos: o Welding Procedure Specification (Especificación do procedemento de soldeo) **WPS** e o Procedure Qualification Record (Rexistro da cualificación do procedemento) **PQR**.

Na normativa europea, o PQR recibe o nome de WPAR e, ademais, fálase dun terceiro documento (pWPS), que é un proxecto de WPS ou pre-WPS, onde se plasma a idea inicial de cualificación que se pretende aprobar co soldeo do cupón no PQR.

En fabricación soldada son indispensables os procedementos de soldeo escritos (WPSs) para as xuntas a soldar, así como rexistros das cualificacións dos devanditos procedementos (PQRs), e rexistros da homologación dos soldadores que van participar na execución (WPQs).

Cada cualificación deberá quedar avalada por un PQR como mínimo (poderían ser varios PQRs os que soportasen un único WPS). Ademais, un mesmo PQR pode servir de aval a varios WPSs.

Para a cualificación dun procedemento de soldeo, ASME IX define unha serie de variables asociadas a cada proceso que clasifica en tres grupos: variables esenciais, variables non esenciais e variables suplementarias esenciais.

Defínense como **variables esenciais** aquelas que si sufren modificación pode afectar ás propiedades mecánicas da soldadura; por tanto, a modificación

dunha variable deste tipo non garante que a nova soldadura sexa válida e, en consecuencia, dise que o novo procedemento requirirá recualificación.

Aquelas variables que si sufren cambio pode facerse constar no WPS sen falta de recualificación agrúpanse como **variables non-esenciais**. A súa modificación non afecta ó 'resultado', entendendo como tal a calidade e o servizo da soldadura. E, finalmente, as **variables esenciais suplementarias** son variables esenciais cando o elemento fabricado ten requisitos de tenacidade, non sendo consideradas variables cando non existen eses requisitos.

4.4 Welding Procedure Specification, WPS

A WPS (Especificación do procedemento de soldeo) é un documento escrito que contén un procedemento de soldeo cualificado válido para realizar soldaduras de acordo cos requisitos do código.

Deberá describir todas as variables (esenciais, non esenciais e esenciais suplementarias) para cada un dos procesos que contemple. En canto aos cambios, pódense modificar variables non esenciais para adaptarse á produción sen falta de recualificación, sempre que eses cambios queden reflectidos no documento.

Se hai cambios en variables esenciais (ou suplementarias esenciais cando haxa requisitos de tenacidade) o WPS requirirá recualificación, é dicir, un novo PQR deberá demostrar que os cambios seguen permitindo a consecución dunha soldadura sa e óptima para o servizo.

Cada WPS deberá estar soportado por un ou varios PQR(s) Procedure Qualification Record(s) e terá unha identificación única.

A WPS recolle os rangos de variables (esenciais, non esenciais e suplementarias esenciais) que poden ser usados e serve de guía ao soldador que vai executar a soldadura. Nel indícanse rangos aceptables para as distintas variables, co fin de ofrecer ó soldador os datos que necesita para soldar de acordo coa sección IX do código. A WPS debe estar dispoñible tanto para soldadores como para inspectores.

A WPS, ademais de conter as variables pode proporcionar calquera información adicional que contribúa a unha mellor orientación para o soldador que debe executar a soldadura.

A continuación, preséntase un formato de WPS.

Empresa _____		Hecho por _____		WPS N° _____		Fecha _____	
PQRs soporte _____		Revision N° _____		Proceso(s) de soldeo _____		Tipo(s) _____	
Detalles							
JUNTAS (QW-402)							
Respaldo (Si/No) _____		Tipo de respaldo _____					
METALES BASE (QW-403)							
P-N° _____ Group N° _____		a P-N° _____ Group N° _____					
Specification _____		a Specification _____					
Análisis químico y prop. mecánicas: _____				a Análisis químico y prop. Mecánicas: _____			
Rango de espesor:							
Metal base:		A tope _____		En ángulo _____		Diámetro de tubo: A tope _____ En ángulo _____	
Otro: _____							
FILLER METALS (QW-404)							
Spec. N° (SFA) _____		_____		_____		_____	
AWS N° (Class) _____		_____		_____		_____	
F-N° _____		_____		_____		_____	
A-N° _____		_____		_____		_____	
Tamaño del material de aporte _____		_____		_____		_____	
Rango de espesor del material depositado _____		_____		_____		_____	
Clasificación flux-electrodo _____		_____		_____		_____	
Marca comercial flux _____		_____		_____		_____	
PARÁMETROS ELÉCTRICOS (QW-409)							
Tipo y tamaño electrodo de tungsteno _____		Pasada(s) _____		Proceso _____		Corriente/Potencia _____	
Modo de transferencia GMAW _____		_____		Rango Volt _____		Rango Amps _____	
Rango de velocidad de salida del alambre _____		_____		Rango veloc. avance _____		Otros _____	
_____		_____		_____		_____	
PRECALENTAMIENTO (QW-406)				GAS (QW-408)			
Temp. Min. de precalentamiento _____				Gas(es) (Mezcla) Caudal _____			
Temp. Máx. entre pasadas _____				Protección _____			
Mantenimiento del precalentamiento _____				Arrastre _____			
_____				Respaldo _____			
PWHT (QW-407)				POSICIONES (QW-405)			
Temperatura y tiempo _____				A tope _____ En ángulo _____			
TÉCNICA (QW-410)				Contact Tube to Work Distance _____			
Pasada recta u oscilante _____				Pasada única o multipasada (por cara) _____			
Oscilación _____				Electrodo único o varios _____			
Limpieza inicial y entrepasadas _____				Tamaño de boquilla del gas _____			
_____				Martilleado _____			
Método de saneado de raíz _____				Otros _____			

4.5 Rexistro da cualificación do procedemento de soldeo, PQR

O PQR é unha proba de soldabilidade.

Cada fabricante ou contratista deberá cualificar as súas especificacións de procedementos de soldeo, WPS, soldando un ou varios cupóns de proba e ensaiando as probetas requiridas pola sección IX e rexistrando e certificando os datos de soldeo utilizados e os resultados dos ensaios no documento chamado Rexistro da cualificación do procedemento, Procedure Qualification Record (**PQR**), que é o soporte da cualificación. O PQR recolle

os valores reais das variables esenciais (e suplementarias esenciais con requisitos de tenacidade) usadas na cualificación do procedemento de soldeo, mostra os resultados dos ensaios e representa unha proba da soldabilidade das variables descritas na WPS.

A continuación, preséntase un formato de PQR.

Empresa _____ Hecho por _____ PQR N° _____ Fecha _____ WPS N° (s) _____ Fecha _____ Proceso(s) de soldeo _____ Tipo(s) _____													
JUNTAS (QW-402) Diseño de la junta a tope													
MATERIALES BASE (QW-403) Especificación del material _____ Tipo o Grado _____ P-N° _____ a P-N° _____ Espesor del cupón de prueba _____ Otro _____	PWHT (QW-407) Temperatura _____ Tiempo _____ Otro _____												
MATERIALES DE APORTE (QW-404) N° especificación _____ Clasificación AWS _____ Material de aporte F-N° _____ Metal depositado A-N° _____ Tamaño del material de aporte _____ Otro _____ Espesor del material depositado _____	GAS (QW-408) Percent Composition <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;"></th> <th style="width: 20%; text-align: center; font-size: small;">(Mezcla)</th> <th style="width: 20%; text-align: center; font-size: small;">Caudal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Protección _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Arrastre _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Respaldo _____</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		(Mezcla)	Caudal	Protección _____			Arrastre _____			Respaldo _____		
	(Mezcla)	Caudal											
Protección _____													
Arrastre _____													
Respaldo _____													
POSICIONES (QW-405) Posición a tope _____ Posición en ángulo _____ Progresión de soldeo (arriba, abajo) _____ Otro _____	PARÁMETROS ELÉCTRICOS (QW-409) Corriente _____ Polaridad _____ Amps. _____ Volts _____ Tamaño del electrodo de tungsteno _____ Otro _____												
PRECALENTAMIENTO (QW-406) Temperatura de precalentamiento _____ Temperatura entre pasadas _____ Otro _____	TÉCNICA (QW-410) Velocidad de avance _____ Pasada recta u oscilante _____ Oscilación _____ Pasada única o multipasada (por cara) _____ Electrodo único o múltiple _____ Otro _____												

PQR N° _____

Ensayos de tracción (QW-150)

Probeta N°	Ancho	Espesor	Area	Carga última	Tensión última	Tipo y localización del fallo

Ensayos de plegado (QW-160)

Tipo de plegado y n° de figura	Resultado

Ensayos de tenacidad (QW-170)

Probeta n°	Localización de la entalla	Tamaño probeta	Temp de ensayo	Valores de impacto			Rotura con caída de peso (sí/no)
				Ft.lbs	Shear	Mils	

Nombre del soldador _____ Clock n° _____ Stamp n° _____

Tens realizados por _____ N° Laboratorio ensayos _____

Fabricante _____

Fecha _____ Hecho por _____

ASME IX indica en QW 200.2 que este documento debe conter as variables essenciais e suplementarias essenciais en caso de requisitos de tenacidade, pero será o fabricante quen decida se facer constar nel as variables non essenciais (o código non as pide). Ademais, inclúe os resultados dos ensaios e a certificación do fabricante. Este documento deberá estar a disposición do inspector autorizado cando así o solicite, pero non ten porqué estar dispoñible para un soldador ou un operador de máquina.

4.6 Ensaaios

Unha vez soldado o cupón de proba haberá que extraer probetas para realizar os ensaios que esixan a norma ou código. Estes ensaios teñen como obxectivo comprobar a calidade metalúrxica da soldadura. Os ensaios propostos para procedementos de soldeo son habitualmente ensaios de tracción e de dobrado (lateral, de cara ou de raíz), aínda que, en función do tipo de cupón de proba, pode haber outros coma o de dureza ou de resiliencia. O número e tipo de ensaios a realizar sobre o cupón de proba dependen do espesor soldado no PQR. Concretamente, para o caso dun cupón de proba formado por dúas chapas de materiais non disimilares unidas a tope, pódense extraer de QW-451.1 o número e tipo de ensaios requiridos. Achégase un resumo das esixencias de ensaio da norma europea.

Cupón de prueba	Tipo de ensayo	Alcance del ensayo
Soldadura a tope	- visual	100%
	- radiográfico o ultrasonidos	100%
	- detección de fisuras superficiales	100%
	- tracción transversal	2 probetas
	- plegado transversal	2 cara y 2 raíz
	- resiliencia	2 juegos
	- dureza	Opcional
	- macrografía	1 probeta

4.7 Recomendacións para a cualificación

Deberase prestar especial atención a todas as variables, posto que pode darse algún caso no cal unha serie de variables sexan non esenciais, pero exista outra dependente delas con categoría de esencial: é o caso, nalgúns procesos, da tensión, a intensidade e a velocidade de soldeo, que son non esenciais. Pero o máximo aporte térmico, que depende de todas elas é, en determinados casos, suplementaria esencial.

É importante rellenar todo o cuestionario:

- Se hai algún que non ten sentido no proceso estudado, pódese responder 'NA' (Non Aplica). Por exemplo, en SMAW cando o formato pide a designación do flux.
- Pódese encher o oco simplemente cun guión, que dá unha idea de que se leu a pregunta pero non interesa a súa resposta por algún motivo. Así, quen lea o documento saberá que non se tratou dun esquecemento.

En canto á extensión da cualificación, cabe dicir que o cambio en calquera variable que poida afectar á calidade ou características da soldadura resultante

requirirá un novo procedemento de soldeo: as variables esenciais obrigarán á recualificación do procedemento cando cambien respecto ó rango admitido na WPS. A preparación do PQR é custosa, polo que convirá coñecer profundamente o código ou norma a aplicar para así poder conseguir un rango cualificado tan amplo como sexa posible co número mínimo de cupóns de proba. A partir da comprobación da validez do procedemento (cando todos os ensaios do PQR son satisfactorios), o código ou norma estende a cualificación para condicións de soldeo similares á ensaiada.

5. Actividades a realizar

5.1 Tarefa 1

Calcular o carbono equivalente de distintos aceiros para saber si é preciso realizar o precalentamiento previo ó soldeo.

Débese lembrar que se limita o valor do CE (Carbono Equivalente) a 0.35% (para espesores grandes) e 0.40 (para espesores pequenos), aínda que tamén influirán outros factores coma o proceso de soldeo, embridamento, ... Cando se superen estes valores será preciso realizar o precalentamiento das pezas previo á operación de soldeo.

Ver en anexo fórmulas a empregar para o calculo do CE.

5.2 Tarefa 2

Inspección visual. Empregando os calibres de inspección, cada alumno identificará as imperfeccións existentes nas súas probetas soldadas de acordo á norma UNE-EN ISO 5817 “Nivel de calidade para as imperfeccións”. Así mesmo, cada alumno comprobará en que nivel é admisible a súa defectoloxía, B,C ou D, recordando que o nivel de calidade B corresponde á maior esixencia.

Algúns parámetros que se poden medir cos calibres de inspección son: mordeduras, sobrespesor do cordón de peinado, garganta do cordón de soldadura, lado do cordón, ángulo de preparación, desalineamento entre as pezas a soldar tanto de chapas coma tubos (interior e exterior), entre outros.

Do mesmo xeito, os alumnos realizarán o control de temperaturas mediante o termómetro dixital e empregando os lápices térmicos. Lembrar que os lápices térmicos van por rango de temperatura.

Existen lápices para os 60°C, 80, 100, 120, 150, 160, ... Cando se acada a temperatura de referencia do lápiz este fúndese sobre a chapa. Deste xeito si queremos quentar o material a 90°C pero sin pasar dos 100°C, empregaremos dous lápices, o de 80 e o de 100°C. Aplicaremos calor ata que o lápiz de 80 se funda pero sin que o de 100 chegue a esa situación.

Ver fotos e modelo informe en carpeta anexos.

5.3 Tarefa 3

Ensaio macrográfico. A partir de diversas probetas soldadas e distribuídos os alumnos por grupos procederán a realizar o ensaio macrográfico elaborando o correspondente informe.

Pasos a seguir para realizar este ensaio:

1. Cortar a probeta polas zoas seleccionadas con anterioridade.
2. Pulir unha das caras (mediante o emprego progresivo de abrasivos cada vez máis finos (P100, 120, 150, 180, 220, 240, 400, pasta de diamante).
3. Atacar químicamente (con Nital) a cara pulida para efectuar unha inspección visual, observando a simple vista ou con menos de 50 aumentos, a zoa soldada e comprobar si existen defectos.

Ver modelo de informe e fotos en carpeta ensaio macrográfico en anexos.

5.4 Tarefa 4

Líquidos penetrantes. A partir de diversas unións soldadas e distribuídos os alumnos por grupos procederán a realizar o ensaio de líquidos penetrantes elaborando o correspondente informe.

Ver carpeta ensaio LP en anexos.

5.5 Tarefa 5

Partículas magnéticas. A partir de diversas unións soldadas e distribuídos os alumnos por grupos procederán a realizar o ensaio de partículas magnéticas elaborando o correspondente informe.

Ver carpeta ensaio PM en anexos.

5.6 Tarefa 6

Ensaio radiográfico. A partir do arquivo de radiografías de soldaduras dispoñible na nosa aula-taller, interpretar as mesmas identificando os defectos das soldaduras.

5.7 Tarefa 7

Elaboración dunha WPS.

Cada alumno terá que elaborar unha especificación do procedemento de soldadura (WPS), reflexando na mesma todos os parámetros que se requiren no documento.

Unha vez elaborada a WPS procederá á súa execución práctica repetando todos os parámetros reflexados (material base, de aporte, tensión, intensidade, número de pasadas, imput térmico, ...).

Unha vez executada a soldaxe realizarase unha inspección visual, identificando as imperfeccións (según norma UNE-EN ISO 5817) e verificando que as dimensións das soldaduras sexan as estipuladas. No caso de producirse unha desviación importante, deberá elaborarse unha nova WPS ata que a peza soldada coincida cos datos indicados no documento.

Ver carpeta WPS en anexos.

5.8 Tarefa 8

Ensaio Destructivos ED a aplicar para cualificación dunha probeta de soldeo.

Os alumnos realizarán os ensaios destructivos ED (tracción, dureza e resiliencia) seguindo os procedementos indicados cubrindo ó remate da práctica a correspondente ficha de traballo.

Ver carpeta ED en anexos.

5.9 Tarefa 9

Elaboración dun WPQ.

A partir da WPS obtida na tarefa anterior, elaborar un procedemento de cualificación de soldadores

Ver carpeta WPQ en anexos.