

9
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

SOLDABILIDAD DE TUBERIAS DE COBRE-
NIQUEL SB-466, A-706, Y SUS PROCESOS DE
SOLDADURA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

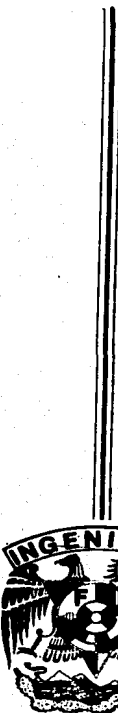
TOMAS LOPEZ BARRERA

DIRECTOR DE TESIS.
ING. SAMUEL PEREZ DIAZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1989

FALLA DE ORIGEN





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E.

INTRODUCCION

Pag.

OBJETIVO:

CAPITULO 1 CONCEPTOS GENERALES DE SOLDABILIDAD.

1.1	GENERALIDADES SOBRE SOLDABILIDAD -----	3
1.2	ASPECTO METALURGICO DE LA SOLDADURA -----	4
1.3	METAL DE BASE -----	9
1.4	TEORIA DE LOS ENSAYOS DE SOLDABILIDAD -----	15

CAPITULO 2 CLASIFICACION DE LAS ALEACIONES.

2.1	ALEACIONES DE COBRE -----	24
2.1.1	SOLDABILIDAD DEL COBRE -----	27
2.2	ALEACIONES DE NIQUEL -----	33
2.2.1	SOLDABILIDAD DEL NIQUEL -----	36
2.3	CUPRONIQUELES -----	38
2.3.1	SOLDABILIDAD DEL CUPRONIQUEL -----	40

CAPITULO 3 PROCESOS DE SOLDADURA.

3.1	SOLDADURA MANUAL AL ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO (S.M.A.W) -----	44
3.2	SOLDADURA POR ARCO BAJO GAS MEDIANTE ELECTRODO NO CONSUMIBLE DE TUNGSTENO (G.T.A.W o T.I.C) -----	52

CAPITULO 4 DEFECTOLOGIA Y CONTROL DE CALIDAD DE LAS SOLDADURAS.

4.1	DEFECTOS APARENTES E INTERNOS -----	66
4.2	CONTROL DE CALIDAD DE LAS SOLDADURAS -----	83

"INTRODUCCION"

INTRODUCCION

Para todos es sabido el vasto desarrollo que han tenido los procesos de soldadura a través de la historia, desde el inicio de las civilizaciones hasta nuestros días. Así se puede mencionar como los procesos de soldadura tuvieron como antecedentes históricos, las uniones soldadas mediante plata, o una aleación de cobre y plata, etc., deduciéndose de ello que la soldadura fuerte precedió a la soldadura blanda, mediante esta notoria evolución en el tiempo, las soldaduras - han alcanzado vastos campos de aplicación como son: la sustitución de piezas fundidas por conjuntos soldados, estructuras de hormigón por estructuras metálicas, fabricación de tuberías de gran diámetro y espesor, etc. Esto ha creado un interés - muy especial hacia este campo de la tecnología, lo que por consecuencia ha originado a un estudio cada vez más específico y detallado de todos y cada uno de los factores inherentes a este proceso y que han generado una auténtica especialización dada la complejidad de los mismos. Es así como actualmente - se han desarrollado organismos nacionales e internacionales que se han encaminado a la normalización, sistematización y estructuración de los factores relacionados con la soldadura, como son: electrodos, máquinas, materiales, aplicaciones, etc.

Por lo tanto el presente trabajo pretende exponer una - visión general de los aspectos de soldabilidad relacionados con tuberías de cobre-níquel, y que posteriormente nos permita profundizar sobre aspectos más concretos en lo referente

a este tema, así como también dejar establecido el seguimiento requerido prácticamente para llevar a cabo la implementación de un procedimiento de soldadura, apoyando todo esto en una sólida base bibliográfica, así como también auxiliándonos de las herramientas que nos proporcionan los códigos y normas - establecidos relacionados con este tema.

Cabe hacer mención que se pretende también que este trabajo sirva como una herramienta más a todas aquellas personas cuya actividad este relacionada en algún aspecto con el tema, y de esta forma minimicen razonablemente todas aquellas situaciones anormales que se puedan presentar en el desarrollo de este proceso.

C B J E T I V O :

COMPROBAR LA SOLDABILIDAD EN TUBERIAS DE COBRE-NIQUEL (SE-466; A-706); MEDIANTE LA ELABORACION DE UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA Y LA CUALIFICACION DEL MISMO, DE ACUERDO A LOS PARAMETROS ESTABLECIDOS POR LA SECCION NOVENA DEL CODIGO A.S.M.E (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS).

CAPITULO I

CONCEPTOS GENERALES

DE

SOLDABILIDAD

1.1. GENERALIDADES SOBRE SOLDABILIDAD.

La soldabilidad se puede abordar bajo los tres aspectos siguientes:

- a).- La soldabilidad operatoria, relativa a la operación de soldadura, estudia las condiciones de realización de las uniones por fusión o por cualquier otro procedimiento, por ejemplo, por presión.
- b).- La soldabilidad metalúrgica, relativa a las modificaciones físico-químicas resultado de la operación de soldadura.
- c).- La soldabilidad constructiva o global, que se dedica a definir las propiedades de conjunto de la construcción por la sensibilidad de la unión a la deformación y a la fractura bajo el efecto de las tensiones.

Así pues, se dice que un metal o aleación es soldable si satisface estas tres condiciones. La primera es perentoria, si un metal es refractario a la llama o al arco o si no puede dar una unión continua, no es soldable. Así mismo, el aluminio y sus aleaciones no son soldables sin la intervención de un flujo especial pues la formación de alúmina dificulta la realización de una unión continua. También los aceros al cromo y los aceros al aluminio, tienen una mala soldabilidad operatoria debido a la formación de óxido de cromo y alúmina. Se mejora enormemente su soldabilidad operatoria mediante el empleo de un flujo destinado a disolver estos óxidos.

La soldabilidad metalúrgica está ligada a las transformaciones que sufre el metal o aleación durante la unión. Este término se deberá tomar en su más amplio sentido, ya que la transformación puede afectar las características mecánicas,

como el temple martensítico en los aceros especiales o en la transformación eutéctica del óxido de cobre; pero también - puede afectar a las características químicas, como los aceros inoxidables al cromo-níquel (tipo-18/8) que pierde sus propiedades de resistencia química por precipitación de carburo de cromo.

La soldabilidad constructiva es función de otras propiedades físicas del metal: dilatación-contracción produciendo deformaciones y creando tensiones que son el origen de grietas que pueden tener su nacimiento en la soldadura.

1.2. ASPECTO METALURGICO DE LA SOLDADURA

En una unión soldada se puede apreciar macrográficamente dos zonas distintas; la zona fundida constituida por el cordón de soldadura y región adyacente, y el metal de base.

La zona fundida, formada únicamente por el metal solidificado a partir del estado líquido sufre, durante la fusión, un cierto número de transformaciones que son de tipo químico, físico o estructural.

El metal base, sufre un tratamiento térmico variable - según el punto que se considere y, por ello, es asiente de transformaciones de tipo físico-químico. La importancia de estas transformaciones es función, por una parte, del ciclo térmico y por otra, de la misma naturaleza de la aleación; - aleaciones templables, aleaciones sensibles a los cambios de fase por precipitación.

La zona fundida de una unión es asiente de un cierto número de fenómenos:

- 1.- Modificaciones químicas
- 2.- Absorción de gas
- 3.- Precipitación de compuestos definidos de la solución sólida madre.
- 4.- Transformaciones eutécticas
- 5.- Modificaciones estructurales.

1.- Modificaciones químicas. Las variaciones en la composición química de la zona fundida pueden tener una influencia favorable o desfavorable sobre las propiedades de la unión.

Las pérdidas por oxidación de los elementos útiles como el carbono en los aceros, el silicio en las fundiciones, - etcétera, modifican las características mecánicas. Así mismo, la fijación de un tanto por ciento exagerado de carbono, de fósforo o de azufre, por la llama o por el revestimiento del electrodo, así como la absorción de oxígeno y nitrógeno, producen una pérdida en las cualidades de la unión.

Por el contrario, el aporte voluntario por micrometalurgia de ciertos elementos especiales conduce a una mejora de las características mecánicas o químicas.

a) Pérdida de elementos por oxidación, este fenómeno en soldadura se complica por la presencia de una atmósfera que rodea al metal fundido y cuya naturaleza depende de la regulación de la llama o de la composición del revestimiento del electrodo en la soldadura por arco. En el caso de los aceros, sabemos que estas pérdidas son en general, consecuencia de la reducción del óxido de hierro por los elementos componentes del acero.

Así, los elementos oxidables: silicio, manganeso y carbón

no, actúan sobre el óxido de hierro FeO , formado a elevada temperatura, según las reacciones clásicas:



Las primeras dos reacciones producen los óxidos de manganeso y de silicio que se eliminan fácilmente por decantación a través del metal líquido, mientras que la reacción que da óxido de carbono puede, según las circunstancias, favorecer la formación de sopladuras e provocar el defecto de poros superficiales.

b) Fijación de elementos de influencia desfavorable. Los elementos fijados pueden ser sólidos o gaseosos:

Elementos sólidos: carbono, fósforo, azufre.

Elementos gaseosos: oxígeno, nitrógeno, hidrógeno.

Estos elementos modifican: las propiedades globales o ciertas propiedades particulares, como las que caracterizan la capacidad de deformación.

La fijación del carbono en la soldadura oxiacetilénica de los aceros está condicionada por la regulación de la llama. Con una llama carburante (exceso de acetileno) se comprueba un aumento muy rápido de la concentración en carbono, pudiendo alcanzar el 1.60%, para una llama en la que la relación oxígeno/acetileno es igual a 0.80% en volumen.

En la soldadura por arco, el carbono puede provenir del revestimiento que encierra ferroleaciones carburadas. No obstante para ciertas aplicaciones (cementación, etc.) se

busca la incorporación de carbono por la llama o el arco y - en este último procedimiento se introduce intencionadamente grafito en el revestimiento.

El fósforo incorporado al metal fundido, en soldadura - oxiacetilénica, tiene por origen el hidrógeno fosforeo que es una impureza del acetileno. El acero tiende a saturarse - en fósforo y el límite de saturación que viene a ser el 0.80%, depende de la concentración en este elemento del metal de - aportación y del porcentaje en hidrógeno fosforeo del acetileno.

En soldadura por arco, el aumento de fósforo y azufre se debe a las ferreasaciones y al óxido de hierro contenidos en el revestimiento.

2o. Absorción de gas por el metal fundido. La absorción de los gases atmosféricos, oxígeno y nitrógeno, por el metal fundido, origina nuevas modificaciones químicas en la soldadura y ejerce una influencia desfavorable sobre las propiedades mecánicas. La absorción de estos gases es función de un gran número de factores y principalmente, del procedimiento de soldadura.

3o. Precipitación de compuestos de la solución sólida. La fusión puede provocar que un compuesto salga de la solución y, por ende, la modificación de las características - mecánicas o químicas de la unión.

Este fenómeno se observa especialmente en la soldabilidad de los aceros austeníticos al cromo-níquel del tipo inoxidable, en los que la precipitación se produce en el metal de -

base en la zona de temperaturas comprendidas entre los 600°C , y 800°C , siendo el carburo de cromo el compuesto que sale de la solución. Esta precipitación conduce a la mala soldabilidad de este tipo de aceros.

El fenómeno de precipitación se produce también en las aleaciones de aluminio, como los duraluminios, aleaciones - Al-Cu con cantidades pequeñas de magnesio y silicio; los precipitados que afectan a la soldabilidad del duraluminio, son los tipos; Mg_2Si y el CuAl_2 .

4e. Las transformaciones eutécticas. La soldabilidad de un metal o de una aleación puede ser función de transformaciones de tipo eutéctico, es decir, la posibilidad de dar con un elemento, el eutéctico frágil.

El caso clásico es el del cobre que encierra oxígeno, el cual, incluso en pequeña concentración, provoca la formación del eutéctico Cu-Cu₂O en las proximidades de la zona fundida y conduce a la fragilidad de la unión.

Asimismo, para el aluminio industrial, la presencia del hierro da lugar a la formación del eutéctico Al-Fe, pero ésta transformación no tiene la misma importancia que la que se produce con el óxido de cobre.

5e. Modificaciones estructurales de la zona fundida. Las modificaciones estructurales pueden agruparse en dos:

a) Las que afectan a la célula o grano del metal, o sea, a su arquitectura interna. El estudio de esta estructura determina la forma, el tamaño y la orientación de los granos en la zona fundida y también en el metal de base hasta cierta dis-

tancia.

b) Los que intervienen en el cambio de estado físico-químico de los constituyentes del metal. Estas modificaciones, para un acero de composición química dada, son función directa del ciclo térmico impuesto por la fusión, que determina el poder de templeado en soldadura.

1.3. METAL DE BASE

El metal de base sufre un tratamiento térmico variable en cada punto según el ciclo térmico impuesto por el procedimiento de soldadura. Este ciclo térmico estará influenciado, no solamente por el procedimiento de soldadura, sino también por el método de soldadura, las propiedades físicas del metal (conductibilidad) y el espesor de las chapas a unir.

En el caso de los aceros, el ciclo térmico puede provocar transformaciones de tipo estructural, provocando un agrandamiento exagerado de los granos, o de tipo físico-químico, - como el temple, hasta una cierta distancia a ambas partes del eje de soldadura.

En otros metales y aleaciones podrán observarse fenómenos de precipitación, como en los aceros austeníticos (precipitación de carburo de cromo) o en las aleaciones de aluminio (Mg_2Si , $CuAl_2$).

Por último podrán encontrarse transformaciones eutécticas en las proximidades de la zona fundida.

10. Modificaciones Estructurales en el Metal de Base.

El agrandamiento de los granos en el metal de base está

ligado invariablemente al ciclo térmico de la soldadura, temperatura y velocidad de enfriamiento.

Para la soldadura oxiacetilénica, los granos comienzan a aumentar a partir de una cierta distancia del eje de la soldadura, que varía con el espesor de las chapas. Los granos aumentan regularmente para alcanzar su mayor dimensión en la zona de recalentamiento como lo muestra la fig. 1.1.

Para la soldadura por arco, la zona de agrandamiento de los granos está más localizada y sus dimensiones pasan por un máximo, en una zona muy próxima a los bordes, disminuyendo bruscamente en las capas próximas al chafalán. Este aspecto de la curva se debe a la normalización provocada en el metal de base por las sucesivas pasadas del depósito por arco.

Sobre el diagrama de la fig. 1.1, se ha llevado en abscisa, las distancias del eje de la soldadura y en ordenadas, la relación S/S_0 , entre la superficie media S del plano del acero en un punto dado y la superficie inicial S_0 del metal recocido. Podemos observar que S/S_0 alcanza el valor de 16 a 18, en la zona de recalentamiento, para la soldadura oxiacetilénica (curva C), permaneciendo constante hasta la zona de fusión. Para el caso por arco (curva A), S/S_0 pasa por un máximo de 10 a 12, para decrecer seguidamente hasta las dimensiones normales del grano recocido.

2o. Modificaciones Físico - Químicas.

El estudio de la distribución térmica hace posible prever que el metal de base, según su naturaleza, será asiento de modificaciones aleotrópicas dando origen a toda una serie de

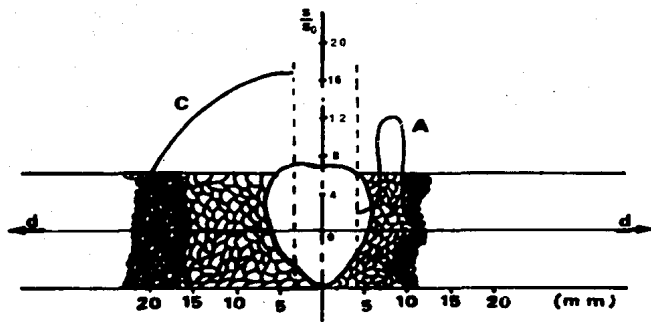


FIG 1.1

Influencia del ciclo térmico de soldadura sobre las dimensiones del grano del metal = base.

Curva C: procedimiento oxiacetilénico.

Curva A: soldadura al arco.

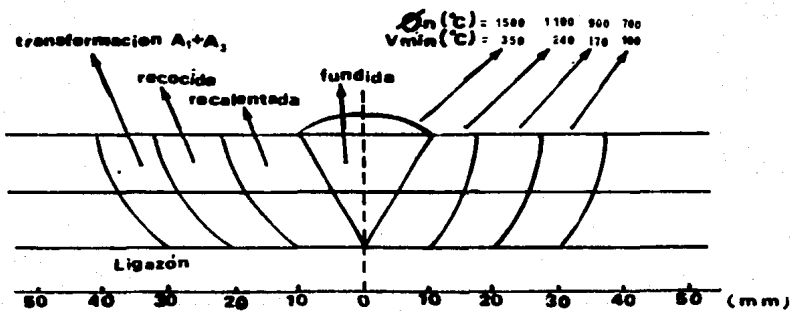


FIG 1.2

Estado estacionario creado por el procedimiento oxiacetilénico sobre chapa de acero de 10 mm de espesor.

constituyentes, desde el semi-temple del tipo bainítico, hasta el hipertemple total austenítico. No obstante, desde este punto de vista, existe una diferencia muy notoria entre los dos procedimientos de soldadura examinados: - oxiacetilénico y el eléctrico por arco.

Soldaduras Oxiacetilénicas. Es evidente que la naturaleza de las estructuras que encontremos dependerá, en primer lugar, del espesor de la chapa, para un tipo de acero dado; - efectivamente, el ciclo térmico impuesto por la soldadura - está notablemente influenciado por este factor. Fijemos el espesor en 10mm y examinemos lo que pasa en las diferentes zonas de la unión como lo muestra la fig. 1.2.

- a) En la zona fundida, la temperatura alcanzada es la de fusión con velocidades de enfriamiento del orden de 350 a 400°C/min. en la región de máximo temple; pero el problema se complica por la superposición de una transformación química, en particular por la pérdida de elementos útiles: carbono, manganeso y silicio. Por esta razón, esta zona a veces, se temple menos que las zonas próximas del metal de base.
- b) En la zona de recalentamiento del metal base que se produce a algunos milímetros del eje de la soldadura, se alcanza una temperatura muy elevada (entre 1100 y 1500°C), y la velocidad de enfriamiento también es relativamente grande: 240 a 300°C/min. Necesariamente tiene que haber agrandamiento de los grancs y una transformación estructural de importancia con un

temple cuya naturaleza depende del tipo de acero. En esta región no existen transformaciones de tipo químico y por tanto, únicamente interviene el ciclo térmico de soldadura sobre la constitución de la estructura final.

- c) En la zona calentada ligeramente por debajo de los 900°C , llamada también zona de recocido el metal tiende hacia una estructura normalizada con afino de grano, pero esta transformación no puede ser total a causa de la velocidad de enfriamiento que aún es grande: 170 a $200^{\circ}\text{C}/\text{min}$.
- d) En la zona de primera transformación que se extiende entre las temperaturas críticas A_1 y A_3 (720 a 900°C), las modificaciones pueden adoptar distintos aspectos; en particular puede haber globulación del agregado laminar con tendencia a la coalescencia sin modificación sensible del grano de ferrita. Esta última zona de transformaciones puede extenderse, de acuerdo al espesor hasta 20 ó 25mm del eje de la soldadura. Rebasada esta distancia, el metal de base no se ve afectado si, inicialmente, se encuentra en estado recocido.

Si el metal de base hubiese sido modificado preliminarmente por algún tratamiento térmico (temple, revenido) o mecánico (laminado en frío), las transformaciones en la zona de recalentamiento o de la zona de recocido, prácticamente quedarían como se ha dicho anteriormente, pero la zona de la

primera transformación y una parte del metal de base no afectado, son asiento de nuevas transformaciones difíciles de prever.

Soldaduras por Arco Eléctrico. Las temperaturas alcanzadas en las diversas zonas de transformación, vienen acompañadas de velocidades de enfriamiento mucho más grandes que conducen a temple más enérgicos.

Prácticamente las diversas zonas se encuentran agrupadas en un volumen muy pequeño, 4 ó 5 mm del borde del chaflán, cualquiera que sea el espesor de las chapas.

Las micrografías de soldadura por arco sobre espesores variando desde 10 a 60 mm, han revelado zonas de transformación que raramente sobrepasan los 5 ó 6 mm. Esto es consecuencia del procedimiento mismo de soldadura por arco que se realiza por pequeñas pasadas tendiendo a normalizar los granos de los depósitos inferiores.

Las pasadas sucesivas influyen, hasta cierto punto, sobre las estructuras de las zonas de transformación del metal de base encontrándose, sobre todo en las chapas de elevado espesor, capas alternadas de zonas afectadas y de zonas parcialmente normalizadas.

Por tanto, las estructuras se extienden en un volumen muy pequeño de forma enredada y muy compleja a causa de la superposición de varios tratamientos térmicos.

1.4. TECNICAS DE LOS ENSAYOS DE SOLDABILIDAD

a) Ensayos de Soldabilidad Operativa.

Estos tratan de definir el comportamiento del metal en la fusión por la ejecución de una línea de fusión con la llama oxiacetilénica perfectamente regulada, sobre una chapa de acero de pequeño espesor (1-2mm).

La fusión debe ser calmada, sin manchar la superficie y sin desprendimientos gaseosos que provoquen fenómenos de porosidad superficial y sopladuras.

Hay que prever que un ensayo de soldabilidad operativa podrá tomar, eventualmente, la forma de un ensayo sobre probetas soldadas sin aportación de metal o combinarse con un ensayo de unión.

Un ensayo de soldabilidad operativa ha sido preconizado por Weirín mediante fusión localizada en una probeta de chapa fina. Los factores que intervienen en este tipo de ensayo son muy numerosos: conductibilidad térmica, calor latente de fusión, capilaridad, viscosidad, cohesión, así como la fuerza de gravedad y dureza de la llama oxiacetilénica. Las probetas, de un espesor variable de 0.5 a 4mm tienen unas dimensiones laterales de 200 x 200mm. El soplete es del tipo de baja presión; el dardo de la llama, colocado perpendicularmente al plano de la chapa, se encuentra a 2mm de ésta. El autor trata de determinar la soldabilidad operativa por las dimensiones del orificio de perforación y el tiempo transcurrido en producirlo, en función del espesor de la chapa.

Weirin deduce de sus ensayos las siguientes conclusiones:

Para las chapas de aceros hasta 2mm de espesor, el valor probable del diámetro del orificio de perforación nos informa sobre la soldabilidad; ésta es tanto mayor, cuanto que le sea el diámetro probable del orificio.

Para las chapas de acero con un espesor superior a 2mm, el diámetro del orificio de perforación no tiene significado alguno, el fenómeno de viscosidad tiene una importancia relativamente superior sobre el ensayo.

El tiempo de perforación es tanto mayor cuanto que la chapa sea de mejor soldabilidad.

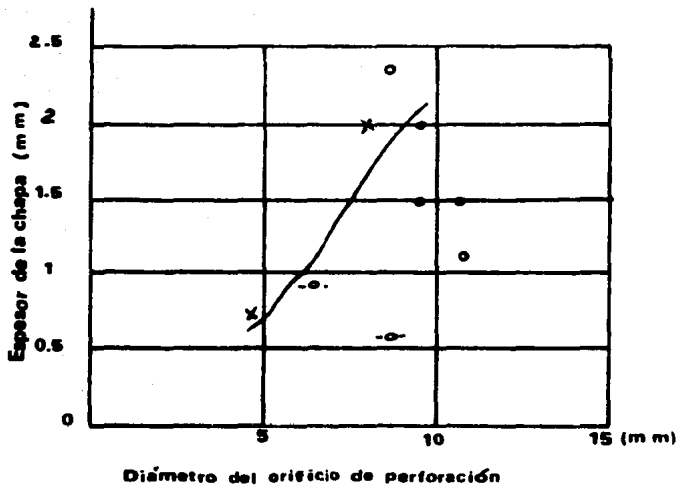
La curva de la fig. 1.3, divide el plano en dos regiones: una de mala soldabilidad operatoria y otra de buena. Se observa, que según vamos aumentando el espesor, el diámetro probable del orificio de perforación también aumenta como ya se había previsto.

b) Ensayos de Soldabilidad Metalúrgica.

Estos ensayos deben poner de manifiesto las transformaciones de metal de base bajo el efecto del ciclo térmico de soldadura.

Pueden seguirse las transformaciones localizadas mediante ensayos micromecánicos, de microdureza o los microensayos Chevernard.

Otro método, llamado por fusión localizada, se realiza por calentamiento o fusión puntual, mediante soplete oxiacetilénico en posición inmovilizada, de una placa de 10mm de espesor. La fusión cuyo ciclo térmico se estudia a diferentes

**FIG 1.3**

Resultados de los ensayos de soldabilidad sobre chapa delgada (Según WOIRIN).

distancias del punto calentado por métodos pirométricos sensibles, provoca transformaciones en el metal, cuya amplitud e importancia se evalúan por métodos micromecánicos.

Los instrumentos de medición de dureza (durometros) del tipo Rockwell y Vickers pueden utilizarse ventajosamente para el estudio de las uniones oxiacetilénicas en las que las zonas de transformación están suficientemente extendidas.

Para las soldaduras por arco que presentan heterogeneidades en la estructura más localizada, las dimensiones de la impresión Rockwell, sobrepasan ampliamente el campo de transformación y no dan más que un valor medio de la dureza. En este caso la impresión debe estar a la escala del grano y habra que utilizar aparatos que den dicha impresión con un orden de magnitud de la micra.

La micromáquina ideada por el profesor Cheversard ha dejado en manos de los investigadores un elemento de trabajo de primer orden permitiendo definir una serie de incógnitas base de la resolución del problema de la soldabilidad metalúrgica.

La micromáquina ha sido diseñada para realizar tres tipos de ensayos: tracción, cizalladura y flexión. Por otra parte dispone de un registrador donde se representa la curva esfuerzo-desplazamiento con auxilio de un braze óptico del mismo tipo que el utilizado en sus dilatómetros ópticos. El estudio de estas curvas permite definir las características de resistencia R, el límite elástico E y el alargamiento porcentual A% en cada uno de los tres ensayos previstos.

c) Ensayos de Soldabilidad Constructiva.

Los ensayos de soldabilidad constructiva tienden a poner de manifiesto la sensibilidad de la soldadura a la fisuración y pueden adoptar diferentes formas, según el espesor y naturaleza del acero.

a) Ensayos para determinar la sensibilidad al efecto de entalla.

En los ensayos Dutilleul las probetas llevan un depósito de soldadura por arco sobre chapa de 12 mm de espesor con una penetración de 2 a 3mm; el depósito se realiza entre dos guías de cobre. Puesta la superficie a paño; se someten las probetas a ensayos de resiliencia y de plegado, de una forma particular, como lo muestra la fig. 1.ª.

Dutilleul ha demostrado que la profundidad y posición de la entalla, tienen una gran influencia sobre la sensibilidad del método, efectivamente la entalla de 1mm situada enteramente en la zona fundida permite separar claramente dos tipos de acero a 50kg/cm^2 , uno soldable y el otro no.

Ensayos de Schnadt. Entre los ensayos de soldabilidad global poniendo de manifiesto el efecto de entalla, señalamos los más modernos de Schnadt, que permiten distinguir las fraguras por falta de cohesión de aquellas por deslizamiento de los granos.

Las probetas de choque de forma prismática con sección cuadrada de 10 x 10mm como las de resiliencia, se caracteri-

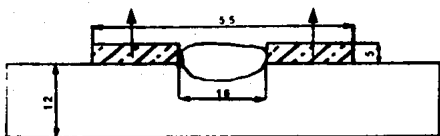


FIG. 1.4 Preparación de las probetas Dutilleul.

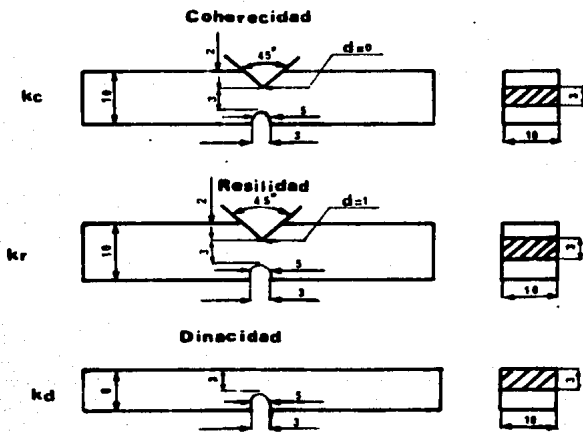


FIG. 1.5 Forma y dimensiones de las probetas Shnadt.

zan por la forma de la entalla y de una abertura cilíndrica en el lado opuesto de dicha entalla. En las probetas normales de resiliencia Charpy e U.E., la profundidad de la entalla es de 5mm, la relación altura/ancho es por tanto de 5/10. En las probetas Schnadt fig. 1.5, esta relación es de 3/10, con un fondo angular para la probeta de coheresidad y un fondo redondeado para la probeta de resiliencia. La probeta sin entalla recibe el nombre de dinacidad. En la sección de la entalla, sobre la cara opuesta, existe una abertura cilíndrica de 5mm de profundidad con una boca de 3mm.

La soldadura se encuentra localizada en la parte entallada de la probeta.

Los valores obtenidos para las tres probetas, expresados en kg/cm^2 , permiten establecer un diagrama de choque que define el grado de fragilidad del acero ensayado.

Si F es menor de $2\text{kg}/\text{cm}^2$, hay fractura por falta de cohesión (fractura con granos brillantes); si F sobrepasa los $8\text{kg}/\text{cm}^2$, la fractura se produce por deslizamiento y su aspecto es de grano mate.

Este tipo de ensayo permite también definir la influencia de la temperatura sobre la fragilidad.

Los ensayos de fisuración. Estos ensayos tienden a poner de manifiesto la sensibilidad de los aceros a la soldadura mediante la aparición de grietas o fisuras después de realizada ésta; se aplican sobre todo a los aceros especiales y a las chapas finas de 1 a 2mm de espesor.

CAPITULO 2

CLASIFICACION

DE LAS

ALEACIONES

2.1 ALEACIONES DE COBRE

Las aleaciones de cobre tienen una combinación especial de características: conductividad eléctrica y térmica alta, alta resistencia a la corrosión, gran ductilidad y maleabilidad en general y un color llamativo para usos en arquitectura. Mientras que la dureza y resistencia de estas aleaciones no igualan las propiedades de los aceros más duros, en algunas aleaciones se obtienen resistencias a la tracción de 15,000 lb/plg² (1.025×10^3 MN/m²).

Aleaciones de cobre en solución. Un efecto importante de solución sólida se obtiene con un contenido específico - de plata entre 10 y 25 onzas troy/l tonelada. A pesar de que este es solamente del orden de 0.01% en peso de plata la temperatura de ablandamiento del cobre trabajado en frío se eleva a más de 100°C. Esto permite al fabricante soldar con soldadura blanda (aleaciones de plomo-estaño) cobre trabajado - en frío sin reducir su resistencia por recuperación y recristalización. La conductividad eléctrica no cambia con la presencia de la plata.

Las soluciones sólidas más utilizadas son aquellas que tienen zinc y se denominan "latón". Los contenidos más comunes están entre 65% Cu-35% Zn y 70% Cu-30% Zn. El límite de las fases en la región es bastante importante ya que las aleaciones con más zinc (superior a 35%) contienen la fase β . Mientras que esta fase es más susceptible a un tipo especial de corrosión conocida como "pérdida de zinc". (Lixiviación selectiva).

Un aumento grande de resistencia se logra con el aluminio y el níquel, como se muestra en las aleaciones 61^A y 715. La aleación 715 es especialmente importante en aplicaciones que tienen que ver con el agua de mar, como equipos de desalinización.

Aleaciones polifásicas de cobre para forja. La aleación de cobre de mayor resistencia se produce al endurecer por envejecimiento una aleación de 2 por ciento de berilio (172). Mediante calentamiento a 800°C se obtiene una solución sólida α de una fase (fig. 2.1). Luego de ser templada para obtener α sobresaturada, la aleación se envejece 3h a 315°C para precipitar la fase β CuBe, que da un precipitado coherente. Esta aleación se utiliza bastante en resortes, herramientas que no produzcan chispa y partes que requieran bastante resistencia, además de alta conductividad térmica y eléctrica.

Aleaciones de cobre fundido. Las aleaciones fundidas tienen una amplia gama de estructuras puesto que no se requiere gran ductilidad para trabajarlos. De gran importancia son las aleaciones con bastante plomo para bujes y las aleaciones con bastante estaño para engranajes. Como en el caso de las aleaciones para forja, se forman soluciones sólidas fuertes con el zinc, el níquel y el aluminio.

Las soluciones de plomo tienen un interés especial porque el cobre líquido puede disolver el plomo en cantidades ilimitadas (fig. 2.2). Al enfriarse, el plomo se precipita como plomo metálico porque es insoluble en cobre sólido. Las aleaciones tales como 85% Cu - 5% Sn - 5% Zn - 5% Pb son valiosas

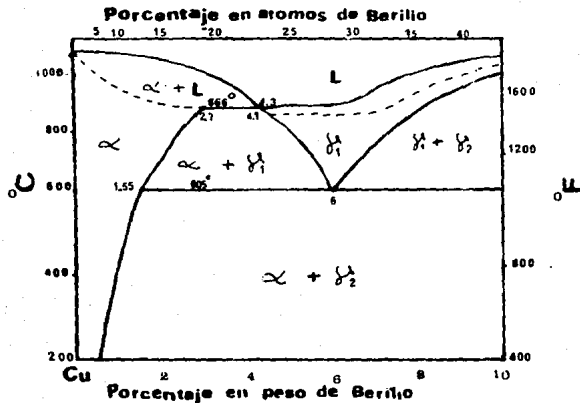


FIG. 2.1 Diagrama de fase cobre-berilio.

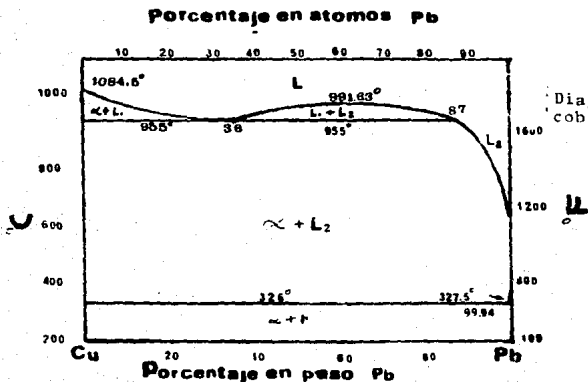


FIG. 2.2

Diagrama de fase cobre-plomo

para bujes debido a los efectos lubricantes de las gotitas de plomo.

Las aleaciones con estaño contienen un compuesto intermetálico duro ($\text{Cu}_{31}\text{-Sn}_8$).

Los bronce $\alpha + \beta$ al aluminio son interesantes porque se pueden tratar térmicamente a fin de obtener estructuras semejantes a aquellas que hay en el acero. Si la aleación bifásica se temple entre 800 a 870°C, se formará una estructura acicular parecida a la martensita. Las aleaciones templadas se revienen entre 370 a 595°C para aumentar la resistencia y la dureza.

2.1.1 SOLDABILIDAD DEL COBRE.

La soldabilidad metalúrgica del cobre está ligada a la transformación eutéctica del óxido de cobre en las proximidades de la temperatura de fusión.

Efectivamente el cobre da con el oxígeno dos óxidos, CuO y Cu_2O , siendo el último un óxido estable. El CuO proviene de la desulfuración del material sin purificar, cuya operación, llamada de ramaje, no permite su eliminación completa.

El óxido cuproso Cu_2O , aparece en el microscopio bajo - la forma de glóbulos azules repartidos desordenadamente en - la masa de cobre y cuyo grosor y número depende esencialmente de la concentración de oxígeno en el metal. El Cu_2O , funde - 1230°C (temperatura de fusión del cobre, 1083°C) su densidad es 6 en vez de 8.9 que tiene el cobre.

Repartido en óxido nodular, el óxido cuproso tiene poca influencia sobre las propiedades mecánicas del cobre; la tabla-

2.1.1 muestra como la presencia de oxígeno aumenta muy ligeramente la resistencia a la tracción y disminuye el alargamiento e la capacidad de deformación.

Quando los contenidos de oxígeno no sobrepasan estos valores se demuestra que la resistencia a la tracción R , disminuye mientras que la dureza sigue subiendo hasta 67 Brinell, - para la concentración de 0.60% de oxígeno; por el contrario, las características de capacidad a la deformación (alargamiento porcentual y extricción $\bar{\epsilon}$ %) disminuyen regularmente, como se muestra en la fig. 2.3.

El diagrama de equilibrio Cu-C e Cu-Cu₂C, fig. 2.4 muestra cómo existe formación de un eutéctico Cu-Cu₂C a la temperatura de 1061°C (es decir con una diferencia de 20°C con respecto al punto de fusión del cobre puro), y para una concentración de 0.385% de oxígeno e 3.45% de Cu₂C.

En las proximidades del cobre puro aparece una pequeña solubilidad del oxígeno en el cobre para dar la solución sólida, cuyo límite de solubilidad es de 0.99% de oxígeno - (0.80% Cu₂C) a la temperatura eutéctica (1061°C); la solubilidad decrece regularmente hasta 0.005% (0.045% Cu₂C), hacia los 900°C.

Este diagrama (fig. 2.4) explica claramente la transformación eutéctica que está en el origen de la insolubilidad - del cobre. Efectivamente tomemos un metal conteniendo 0.17% de oxígeno e 1.50% de Cu₂C, llevémoslo al estado líquido; en el enfriamiento, al atravesar la temperatura eutéctica, el - óxido cuproso tiende a reagruparse en eutéctico en los límites

CONTENIDO EN O ₂ %	CONTENIDO EN Cu ₂ O %	R. TENSION (Kg/mm ²)	A %
0.015	0.135	23.5	45
0.09	0.80	23.8	40.6
0.17	1.5	24.5	37.2

TABLA 2.11

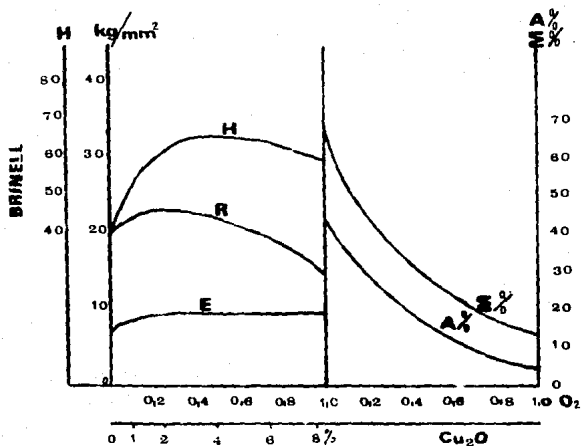


FIG 2.3

Influencia del oxígeno sobre las propiedades mecánicas del cobre.

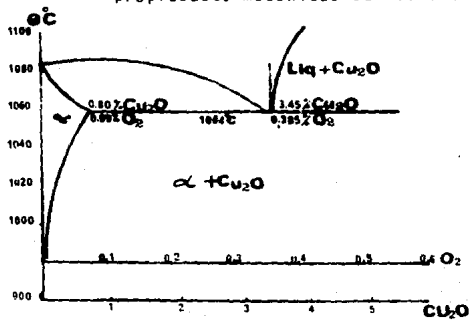


FIG 2.4

Diagrama de equilibrio del sistema Cu-O

de grano. Después de la solidificación, las observaciones micrográficas revelan dos fases: $\alpha + \text{Cu}_2\text{O}$, es decir, la solución α (prácticamente cobre puro) rodeada de la eutéctica $\text{Cu} - \text{Cu}_2\text{O}$.

Este reparto de la eutéctica en los límites de grano origina, como consecuencia, una fragilidad excesiva que convierte la unión en totalmente inútil; se dice entonces que el cobre es insoldable.

El cobre será perfectamente soldado si el contenido en oxígeno queda por debajo del límite medio de soldabilidad en el cobre; es decir 0.04%.

Por tanto vemos cómo el oxígeno es el elemento que interviene sobre la soldabilidad del cobre, favoreciendo la formación del eutéctico cuando se sobrepasa la temperatura de 1064°C .

La influencia desfavorable del eutéctico se pone en evidencia por un simple ensayo de plegado sobre uniones realizadas con cobre que contiene óxido; las fracturas por plegado se producen sistemáticamente en la zona de ligazón de la soldadura, pues la temperatura de esta región corresponde a la eutéctica.

De todo ello se deduce que el cobre destinado a las uniones por fusión, cualquiera que sea el sistema de fusión, debe estar perfectamente desoxidado, lo que ha conducido a exigir un metal afinado llamado cobre soldable que, en general, ha sufrido una operación suplementaria de desoxidación.

La desoxidación se realiza por diferentes métodos y, en

particular, por el fósforo cuya presencia en el cobre, hasta 0.07%, favorece la fluidez y maleabilidad del metal.

Influencia de los elementos de aleación sobre el cobre.

Arsénico. El arsénico se ha introducido en el cobre destinado a las chapas gruesas sometidas al fuego, con el fin de aumentar la resistencia al calor de dicho elemento. El arsénico no es un desoxidante y no actúa sobre la distribución del óxido. No obstante este elemento facilita el trabajo en caliente y en frío y eleva la temperatura de recristalización de 205°C a 250°C para 0.14% de arsénico.

Se admite en general que hasta su límite de solubilidad en el cobre (1% As), el arsénico no tiene influencia sobre la soldabilidad pero, por encima de él, puede actuar convirtiendo el metal fundido en foco de sepladuras.

Fósforo. El fósforo reacciona con el cobre para dar aleaciones más duras que el cobre puro; pero en bajo contenido aumenta la maleabilidad del cobre así como su resistencia.

Así mismo, interviene como desoxidante y el anhídrido fosfórico formado por reducción, se volatiliza a una temperatura inferior a los 560°C.

Plata. Este metal interviene para aumentar la temperatura de recristalización que pasa de 220°C a 350°C, para contenido del 0.03% de plata. La plata actúa también durante el período de solidificación para afinar el grano; sin embargo, no tiene influencia alguna sobre la desoxidación.

Se utiliza la aleación con un 1% de plata, bajo el nombre de aleación Canzler, como metal de aportación para la soldadura.

dadura del cobre.

Silicio. El silicio interviene como un poderoso desoxidante a la temperatura de fusión con contenidos muy bajos: - 0.03 al 0.08%.

Con un contenido mayor, el silicio aumenta la resistencia y la ductilidad del cobre, pero disminuye su conductibilidad eléctrica.

2.2 ALEACIONES DE NIQUEL.

Los elementos de aleación más comunes con níquel son el cobre, el hierro, el cromo, el silicio, el molibdeno, el manganeso y el aluminio.

Aleaciones de base níquel-cobre. El cobre completamente soluble en níquel y se añade para incrementar la formabilidad, disminuir el precio y aun retener la resistencia a la corrosión del níquel. El monel es el más importante de las aleaciones níquel-cobre; contiene aproximadamente dos terceras partes de níquel y una de cobre; tiene alta resistencia a los ácidos, álcalis, salmueras, aguas, productos alimenticios y a la atmósfera. Además, posee propiedades mecánicas mayores que las de los latones y bronces pero menores que las de los aceros aleados. También tienen buena tenacidad y resistencia a la fatiga y encuentra considerables aplicaciones a elevadas temperaturas. No oxida a una rapidez destructora inferior a aproximadamente 538°C en atmósferas que no tengan azufre, y tiene algunas aplicaciones a temperaturas hasta de 816°C . El monel tiene amplia y extensa utilización en los campos quím

cos farmacéutico, marino, energético, eléctrico, de lavandería, textil, y equipo de fabricación de papel.

Aleaciones basadas en níquel-silicio-cobre. La aleación de este grupo más conocida comercialmente es la Hastelloy D; contiene 10% de silicio y 3% de cobre. Es una aleación de fundición fuerte, tenaz y extremadamente dura; puede maquinarse sólo con dificultad y generalmente se termina mediante esmerilado. Su característica más importante es su excelente resistencia a la corrosión al ácido sulfúrico concentrado a elevadas temperaturas. Se utiliza para evaporadores, recipientes para reacción, ductos, tuberías y accesorios en la industria química.

Aleaciones basadas en níquel-cromo-hierro. Una variedad de aleaciones binarias níquel-cromo y ternarias níquel-cromo-hierro se emplean como aleaciones para resistencia eléctrica. Algunas composiciones nominales son 80Ni-20Cr (chromel ¹, nichrome 2 y otras), utilizada como elemento eléctrico de calefacción para aparatos caseros y hornos industriales; 60Ni-16Cr.-24Fe, empleada como elemento eléctrico de calefacción para tostadoras, cafetera, planchas, secadoras para pelo y calentadores para agua, también para reóstatos de alta resistencia para equipo electrónico y como canastas en los baños de ácido para limpiar superficies metálicas y la 35Ni-20Cr-45Fe, utilizada para reóstatos de trabajo pesado. Muchas de las aleaciones anteriores muestran buena resistencia a la oxidación, a la fatiga por calor y a los gases de carburización.

Aleaciones base níquel-molibdeno-hierro. La Hastelloy - A (57Ni-20Mo-20Fe) y la Hastelloy B (62Ni-28Mo-5Fe) son las aleaciones de este grupo más conocidas. Estas aleaciones son austeníticas por lo cual no responden al endurecimiento por envejecimiento. Mediante trabajo en frío, es posible obtener resistencia y ductilidad comparables a las del acero aleado. Estas aleaciones son notables por su alta resistencia a la corrosión por ácidos hidrocloóricos y otros no oxidadores. Se utilizan en la industria química en equipo para manejar, transportar y almacenar ácidos y otros materiales corrosivos.

Aleaciones base níquel-cromo-molibdeno-hierro. Las aleaciones Hastelloy restantes se ubican en este grupo, siendo - la más conocida la Hastelloy C (54Ni-17Mo-15Cr-5Fe-4W). Estas aleaciones se caracterizan por su alta resistencia a la corrosión a los ácidos de oxidación, como el nítrico, el crómico y el sulfúrico. Generalmente tiene buenas propiedades a alta temperatura y son resistentes a atmósferas reductoras y oxidantes hasta temperaturas de 1200°C. Se emplea en la industria química, cuando se manejan ácidos de oxidación, para piezas de bombas y válvulas, inyectores a chorro y aplicaciones - similares.

Aleaciones base níquel-cromo-molibdeno-cobre. Las aleaciones de este grupo fueron diseñadas originalmente como materiales resistentes a los ácidos, sulfúrico y nítrico para un amplio intervalo de condiciones de concentración y exposición. Dos aleaciones de fundición son la Inconel B (50Ni-28Cr-8.5Mo-5.5Cu) y la Inconel G (56Ni-22.5Cr-6.5Mo-6.5Cu), las cuales -

proporcionan una resistencia superior a la corrosión en aleaciones de fundición maquinables de alta resistencia. Entre las aplicaciones típicas están los cojinetes de impulso y rotatorios y las piezas de bombas y válvula en las que se requiere alta dureza en medios corrosivos. La Inium R (68Ni-21Cr-5Mo-3Cu) es una aleación forjada maquinable que proporciona resistencia al calor y a la corrosión; se utiliza para ejes de bombas y válvulas, artículos para ferretería, tubos, láminas y alambres.

2.2.1 SOLDABILIDAD DEL NIQUEL

El níquel es un metal blanco con excelentes propiedades de resistencia a los agentes químicos. No obstante, su empleo en estado de metal puro, es realmente limitado debido a su precio elevado.

Las principales impurezas del níquel son el oxígeno, el hierro y el azufre. Si bien los dos primeros elementos integran poco sobre las características del níquel, el azufre, incluso en muy pequeña concentración, actúa sobre su maleabilidad y, por tanto, sobre su soldabilidad. El azufre da origen al sulfuro de níquel (Ni_3S_2) que se reparte en las fronteras de los granos convirtiendo el metal en frágil (níquel no maleable). Para volver el metal maleable, se modifica el equilibrio físico-químico del azufre por adición de manganeso y magnesio. Estos dos metales, muy ávidos del azufre, desplazan este metaloide de sulfuro de níquel, para formar el sulfuro de manganeso (MnS) y el sulfuro de magnesio (MgS) distribui-

dos en estado nodular en las juntas de los granos (MnS) o en el interior de los granos (MgS).

El efecto desfavorable del sulfuro de níquel se obtenía en gran parte de este modo; el metal se convierte en dúctil y entonces se dice que está maleabilizado.

Lo que se acaba de exponer hace prever que la soldabilidad del níquel está ligada a esta transformación del estado físico-químico del azufre. En el momento de la fusión del metal maleabilizado, el equilibrio de los sulfuros se rompe; la oxidación preferente del manganeso y magnesio al azufre que tiende a volver a formar el sulfuro de níquel.

Es conveniente señalar que la transformación experimentada por el metal en el momento de la fusión es de tipo estable, es decir, que no hay variación del contenido en azufre, sino solamente una modificación de la forma química por desplazamiento del azufre de los sulfuros nodulares (MnS, MgS) hacia el níquel.

La presencia del azufre y magnesio parece condicionar la soldabilidad del metal.

Según los ensayos realizados por Dcutté, puede definirse esta condición por la relación:

$$\frac{\text{Mg}-0.02}{S} = 5, \text{ que indica para un níquel solda-}$$

ble:

- A) Un contenido de azufre (S) inferior a 0.02%;
- B) Un contenido de magnesio (Mg) definido por la reacción:

$$\text{Mg} = 5S + 0.02\%.$$

Así, para un níquel con un contenido de 0.015% de azufre, la cantidad de magnesio necesaria para neutralizar el efecto del azufre será del 0.10%.

Es evidente que la soldabilidad del níquel se mejora cuando el contenido en azufre disminuye.

El silicio parece ser así mismo elemento útil por su acción desoxidante.

Así, un níquel soldable debería tener la siguiente composición ideal.

$S < 0.015\%$; $Mg \geq 0.10\%$; $Si = 0.15$ a 0.20%

Así mismo es interesante prever el empleo de un flujo - decapante susceptible de mantener el azufre en estado de sulfuro de manganeso o de magnesio.

2.3 CUPRONIQUELES.

Son aleaciones al cobre-níquel que contienen hasta 30% de níquel. El diagrama de fase binario cobre-níquel fig. 2.5, muestra solubilidad completa, así que todos los cuproníqueles son aleaciones de una sola fase. No son susceptibles de tratamiento térmico y sus propiedades pueden alterarse sólo por trabajo en frío.

Las aleaciones de cuproníquel tienen alta resistencia a la corrosión por fatiga y a la acción corrosiva y erosiva del rápido movimiento del agua de mar. Se emplean mucho en tubos de condensadores, destilerías, evaporadores e intercambiadores de calor para recipientes navales y plantas de energía costeras.

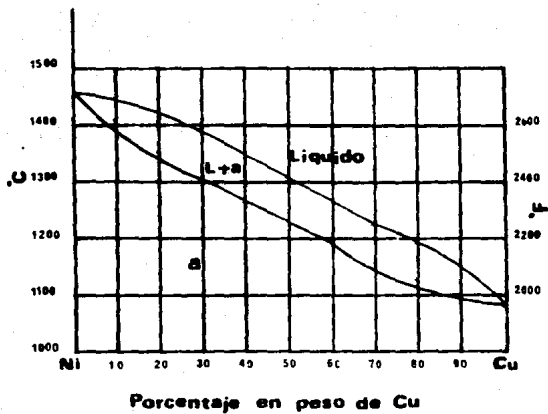


FIG 2.5

Diagrama de equilibrio
cobre-niquel

2.3.1 SOLDABILIDAD DEL CUPRO-NIQUEL

Los cuproníqueles constituyen una gama de aleaciones binarias cuya composición química varía de 35 a 80% de cobre y hasta 30% de níquel.

Entre los cuproníqueles, el metal Monell ocupa un lugar especial por sus características mecánicas y su resistencia química. La composición media del metal Monell es:

Ni = 66%; Cu = 28-30%; Fe = 5%

Contiene además magnesio y silicio.

Para la soldadura de los cuproníqueles, la llama oxiacetilénica debe estar perfectamente regulada. Y su potencia, menor que para el níquel puro, viene dada por la relación $P=75e$ es decir, 75 l de acetileno por milímetro de espesor.

El flujo decapante es indispensable; su composición es distinta que para el níquel y es preciso introducir reductores de los óxidos de níquel y de cobre. El metal de aportación debe ser de la misma naturaleza que la aleación de base.

Las uniones oxiacetilénicas, se ejecutan sobre bordes rectos, hasta 3mm; por encima se achaflanan dichos bordes con una abertura total de 80°.

Normalmente se utiliza el método clásico, sin embargo, si la preparación lo permite, es más ventajoso operar por el método ascendente B con dos sepietes.

La soldadura por arco se efectúa con un electrodo especial de alma en Monell, sin ninguna dificultad operativa.

Las características mecánicas obtenidas son muy satisfactorias; en particular para el metal Monel, puede contarse -
fácilmente con una resistencia mínima de la soldadura de -
50 kg/mm² y un alargamiento del 30%.

CAPITULO 3

PROCESOS

DE

SOLDADURA

3.1 SOLDADURA MANUAL AL ARCO CON ELECTRODO REVESTIMIENTO (S.M.A.V.).

Este es un proceso de soldadura en el que se produce la coalescencia mediante el calentamiento debido a un arco eléctrico mantenido entre el extremo de un electrodo revestido y la superficie del metal base en la junta a soldar.

Este proceso es el más ampliamente utilizado en soldadura por arco. El electrodo y las piezas a unir forman parte de su circuito eléctrico según se indica en la fig. 3.1.

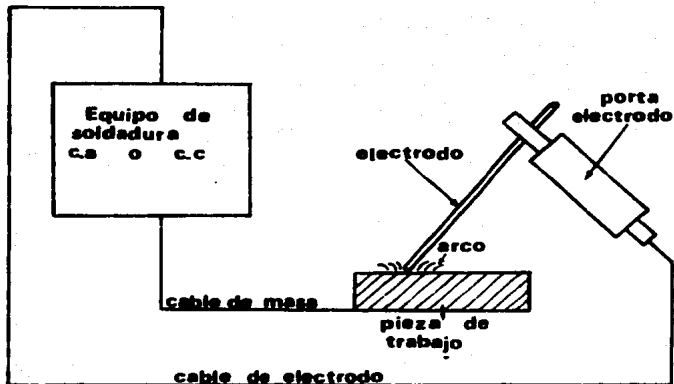
Este circuito comienza en el grupo de soldadura, e incluye los cables de soldadura y un electrodo para soldar al arco.

La soldadura comienza cuando se genera un arco eléctrico entre la punta del electrodo y la pieza a unir, el intenso calor generado funde la punta del electrodo y la zona de los bordes a unir situada en el otro extremo del arco.

Se forman pequeños glóbulos de metal fundido en la punta del electrodo, los cuales se transfieren a lo largo del arco hasta el baño fundido. De este modo se deposita el metal de aporte y el electrodo se consume. Dado que el arco eléctrico es una de las fuentes más calientes de entre todas las fuentes calóricas (temperatura de hasta 5000°C), la fusión se realiza de forma casi instantánea.

Electrodos revestidos. Un electrodo revestido está constituido por un alma metálica, generalmente de forma cilíndrica, y de un revestimiento de composición química variable, según las características exigidas.

La composición de los revestimientos es muy compleja; -



**ELEMENTOS DE UN CIRCUITO
TIPICO DE SOLDADURA**

FIG 3.1

son mezclas de materias orgánicas y minerales, de modo que - cada sustancia juega una función determinada, ya sea durante la fusión, ya durante la solidificación. Actuando como: estabilizadores del arco, componentes de la escoria, depuradores del metal, portadores de elementos útiles al metal fundido, etc.

El revestimiento realiza un gran número de funciones - cuyo estudio constituye toda la técnica del electrodo.

I.- Función eléctrica del revestimiento.

II.- Función física del revestimiento.

III.- Función metalúrgica del revestimiento.

I.- Sabemos que la existencia de un arco depende del estado de ionización de los gases existentes entre el ánodo y el cátodo. Se sabe que los arcos eléctricos son inestables a causa de sus características negativas debido al hecho de que la resistencia disminuye cuando la intensidad del arco aumenta.

Asimismo, los factores que actúan sobre la estabilidad del arco son numerosas.

- La tensión del cebado en vacío; en corriente alterna son precisas tensiones de cebado más elevadas.
- El potencial de ionización.
- El poder termiónico.
- La conductividad térmica.

Para el arco en corriente alterna es indispensable un medio fuertemente ionizado; de aquí la necesidad de introducir en el revestimiento sales con baja tensión de ionización y un elevado poder termiónico tales como las sales de sodio, de potasio y de bario. La acción de estas sales es tanto más

sensible cuanto que la concentración en metal es más elevada.

La acción de ciertas sales es particularmente sensible en la soldadura eléctrica por arco en corriente alterna. Existen también otros productos que son favorables al cebado y al mantenimiento del arco tales como silicio, carbonatos, óxidos de los hierros, óxidos de titanio, el óxido de cerio, etc.

II.- Función física del revestimiento. El revestimiento debe facilitar la soldadura en distintas posiciones; vertical, horizontal, sobrecabeza; realizar, según su naturaleza un cordón cóncavo o convexo.

En esta función intervienen dos elementos: la naturaleza del revestimiento, que determina la viscosidad de la escoria; y el espesor del revestimiento.

La ejecución de las soldaduras en posición no puede realizarse a no ser que la gota fundida sea arrastrada por los gases producidos por el revestimiento. Los electrodos volátiles o semi-volátiles (revestimiento celulósico) son susceptibles de realizar buenas soldaduras en posición a causa del desprendimiento de hidrógeno o de vapor de agua. Los electrodos básicos también son capaces de depositar metal en todas las posiciones gracias a la formación de gas carbónico por descomposición térmica de los carbonatos.

La escoria fundida debe mantener la gota en su sitio; de donde se deduce la función de la tensión capilar de la escoria líquida.

La influencia de la viscosidad en soldadura, se hace pa

tente no sólo para la obtención fácil del material apertado en distintas posiciones, sino también para la protección total del metal fundido. Por otro lado, la velocidad de las reacciones y los cambios entre la escoria y el metal se facilitan con una escoria fluida.

III.- Función metalúrgica del revestimiento. Los revestimientos no sólo contienen elementos estabilizadores y elementos formadores de escoria, sino que también tienen elementos reductores y elementos útiles que se fijan en el metal fundido con el fin de aumentar las cualidades mecánicas del material depositado.

La naturaleza de las escorias obtenidas después de la soldadura, depende esencialmente de los productos que entran en el revestimiento. Es necesario, por tanto, definir la naturaleza de los revestimientos.

a) Electrodes celulésicos. Están constituidos principalmente por celulosa ($C_6H_{10}O_5$) que dá, por descomposición, una mezcla de gases reductores sobre todo hidrógeno, que se descompone en hidrógeno atómico.

La función protectora y reductora de este revestimiento está plenamente asegurada por el desprendimiento de hidrógeno, quedando muy poca escoria sólida por encima del metal. Estos elementos permiten la soldadura en todas posiciones, dando una cierta penetración gracias a la reacción exotérmica del hidrógeno recombinado. El afinado del metal por la acción del metal hidrógeno se hace siguiendo la reacción: $FeC + H_2 \longrightarrow Fe + H_2C$.

b) Electrodos ácidos. Estos revestimientos están constituidos principalmente por óxidos de hierro (Fe_3C_4 , Fe_2C_3), de silice y, a menudo, de manganeso; pertenecen a los sistemas:



La protección del metal fundido se obtiene mediante una escoria espesa, semiviscosa, que recubre el baño fundido.

La adición del manganeso en forma de ferromanganeso, tiene por objeto, por una parte actuar sobre la fluidez de la escoria, y por otra, fijar este elemento en el metal fundido. Este es el revestimiento que llevan los electrodos corrientes, dando lugar a un arco muy estable, funcionando también en corriente alterna como continua, pero a baja tensión de cebado; la tensión de funcionamiento de los electrodos ácidos es del orden de 25 V y la tensión de cebado de 30 a 40 V.

c) Electrodos a base de óxido de Titanio. Son aquellos que contienen ilmenita (50% TiC_2 , 50% Fe_2C_3), o rutile (95% TiC_2).

El óxido de titanio interviene primerdialmente como elemento de elaboración de la escoria, es un titanato complejo de hierro y manganeso y también como elemento estabilizador del arco. Por tanto, el arco es muy estable en corriente continua como alterna; en este último caso, la tensión de cebado es de 40 a 50 V. Estos elementos son utilizados en todas las posiciones y dan un cordón plano o ligeramente abombado en soldadura vertical. Las características mecánicas de las soldaduras son netamente superiores que las de los electrodos ácidos.

d) Electrodo**s** básicos. Estos revestimientos están constituidos principalmente por carbonatos, carbonato de calcio y magnesio, encerrando además reductores como el manganeso, el silicio y el titanio.

Las escorias obtenidas son del tipo de las de los sistemas $\text{CaC} - \text{SiO}_2 - \text{FeO}$ o más complejas; son silicatos de sal. Los electrodos básicos dan soldadura de alta calidad con alargamiento y resistencia muy elevada ($A=28 - 30\%$ y $K=1^{\circ} - 17 \text{ Kg/cm}^2$ en probetas U. F.).

Además se produce en el momento de la fusión, una verdadera micrometalurgia con fijación de los elementos metálicos en el metal fundido; puede obtenerse así, por adición de elementos útiles como el manganeso, níquel, cromo, molibdeno, etc, soldaduras de alta resistencia mecánica. De esta forma se realiza una gama de electrodos de 50, 60, 70 y hasta 100 Kg/mm^2 de resistencia.

Los electrodos básicos son más difíciles de emplear presentando el cordón de soldadura un aspecto más abombado que en el caso de los electrodos ácidos. El empleo de C. C. exige la inversión de la polaridad es decir, el polo positivo en el electrodo; en corriente alterna, la tensión de cebado debe ser superior a los 65V.

El estudio físico-químico de estos electrodos es particularmente interesante a causa de las reacciones de afinamiento y la fijación de elementos útiles del revestimiento en el metal fundido.

Normativa sobre clasificación de electrodos revestidos. -

Clasificación americana. En norteamérica los electrodos se clasifican según las especificaciones de la American Welding Society (A. W. S.).

Esta clasificación incluye las siguientes especificaciones:

Especif. A. W. S.	Tipos de Electrodos
A 5.1	Electrodos revestidos para aceros al carbono.
A 5.5.	Electrodos revestidos para aceros de baja aleación.
A 5.4	Electrodos revestidos para aceros resistentes, a la corrosión.
A 5.15	Electrodos revestidos para hierro fundido.
A 5.3	Electrodos revestidos para aluminio y sus aleaciones.
A 5.6	Electrodos revestidos para cobre y sus aleaciones.
A 5.11	Electrodos revestidos para níquel y sus aleaciones.
A 5.16 y 5.21	Electrodos revestidos para recargues.

Estas especificaciones están aceptadas de forma general por los códigos de construcción americanos, pudiéndose citar como el más representativo el caso del código A. S. M. E. (American Society of Mechanical Engineers) para calderas y recipientes a presión, dividido en once secciones, a su vez

subdividido, en cuya sección II, parte C, se incluyen las - citadas especificaciones que conservan su identificación numérica pero antepeniéndoles las letras SI.

3.2 SOLDADURA POR ARCO BAJO GAS MEDIANTE ELECTRODOS NO CONSUMIBLES DE TUNGSTENO. (GTAW o TIG).

La soldadura por arco bajo gas por electrodo de tungsteno TIG o GTAW, es un proceso en el que se produce la coalescencia de los metales por calentamiento mediante un arco generado entre el electrodo no consumible de tungsteno y los - bordes a unir.

La protección del arco se consigue mediante un gas o mezcla de gases que lo rodea e impide la contaminación con la - atmósfera.

Se indica en la fig. 3.2, la posición relativa de la pistola, el electrodo de tungsteno, el gas de protección y la varilla de aporte (este último elemento puede no utilizarse).

Principio de Operación. El calor necesario para la soldadura es generado por un arco eléctrico entre un electrodo no consumible de tungsteno y los bordes a unir. El arco eléctrico y las zonas fundidas están protegidas por una atmósfera - protectora de gas inerte que fluye a través de la pistola.

El arco se inicia por alguna de las siguientes formas:

- a) rozando la pieza con el electrodo de tungsteno.
- b) mediante un aparato que causa un chispazo entre el electrodo y la pieza.
- c) mediante un aparato que crea y mantiene un arco -

pilote entre el electrodo y la tobera de la pistola.

Para piezas de poco espesor no es necesario el aporte externo de material, siendo suficiente la fusión conjunta de ambas bordes a soldar mediante el arco.

Equipos Eléctricos. De entre las variables que afectan a la soldadura TIG se encuentran las variables eléctricas de corriente, voltaje, y características de los grupos de soldadura.

Corriente continua estacionaria. Se pueden utilizar dos conexiones eléctricas para la corriente continua estacionaria. El electrodo de tungsteno se puede conectar al polo positivo (polaridad inversa), en cuyo caso debe tener mayor diámetro. El calor del arco se concentra en el ánodo (terminal positiva), por lo que es necesario un diámetro mayor para disipar más fácilmente el calor.

Se puede también conectar el electrodo al polo negativo (polaridad directa) en el caso de gases tipo argón, helio o sus mezclas.

Corriente continua pulsada. Se utiliza con el electrodo al polo negativo, para soldar tubería automáticamente. Se puede soldar, en este caso, circunferencialmente tuberías en la posición horizontal fija con la misma corriente media y voltaje en todos los puntos alrededor de la tubería, con excepción del principio al fin.

Corriente alterna. Con corriente alterna se consiguen las ventajas de las conexiones del electrodo al polo positivo.

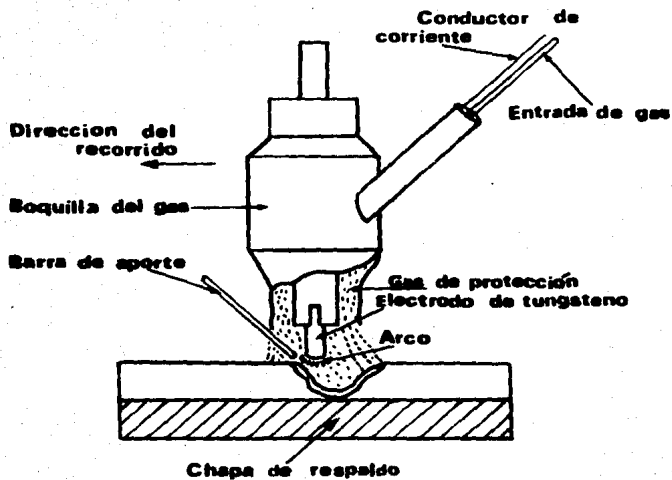


FIG 3.2

pilote entre el electrodo y la tobera de la pistola.

Para piezas de poco espesor no es necesario el apertado externo de material, siendo suficiente la fusión conjunta de ambos bordes a soldar mediante el arco.

Equipos Eléctricos. De entre las variables que afectan a la soldadura TIG se encuentran las variables eléctricas de corriente, voltaje, y características de los grupos de soldadura.

Corriente continua estacionaria. Se pueden utilizar dos conexiones eléctricas para la corriente continua estacionaria. El electrodo de tungsteno se puede conectar al polo positivo (polaridad inversa), en cuyo caso debe tener mayor diámetro. El calor del arco se concentra en el ánodo (terminal positiva), por lo que es necesario un diámetro mayor para disipar más fácilmente el calor.

Se puede también conectar el electrodo al polo negativo (polaridad directa) en el caso de gases tipo argón, helio o sus mezclas.

Corriente continua pulsada. Se utiliza con el electrodo al polo negativo, para soldar tubería automáticamente. Se puede soldar, en este caso, circunferencialmente tuberías en la posición horizontal fija con la misma corriente media y voltaje en todos los puntos alrededor de la tubería, con excepción del principio al fin.

Corriente alterna. Con corriente alterna se consiguen las ventajas de las conexiones del electrodo al polo positivo.

vo y al negativo.

Debido a que el electrodo de tungsteno tiene más capacidad para emitir electrones, por alcanzar mayor temperatura, las intensidades del arco son distintas cada medio ciclo. La amplitud de corriente durante el medio ciclo de electrodo negativo es mayor que cuando el electrodo es positivo.

Las ventajas de la utilización de una corriente sinétrica son:

- a) mejor limpieza del óxido.
- b) mejores condiciones de soldadura.
- c) no se requiere disminución en las capacidades de suministro de los transformadores convencionales de soldadura.

Las desventajas son:

- a) se requiere mayor tamaño del electrodo.
- b) se requieren mayores valores de voltaje de circuito abierto
- c) los grupos de soldadura necesarios son más caros.

Voltaje del arco. Los gases helio y mezclas de argón-helio producen más caída de tensión que el argón, para el mismo tipo de arco. La diferencia de tensión entre el uso del argón y - del helio es de unos 4V.

Es por ello que se utiliza el helio para mayor penetración, y en especial cuando soldamos con DCSF (corriente continua polaridad directa) aleaciones de aluminio.

Cuando se utiliza soldadura manual, el operador no actúa sobre el voltaje del arco, pero sí controla su longitud. No

obstante, y a pesar de la ayuda del gas helio, es difícil soldar aluminio con DCSP. por necesitarse longitudes muy cortas de arco (aprox. 1.5 mm) por lo que se han desarrollado sistemas automáticos de controlar la longitud del arco.

Electrodos. Los electrodos no consumibles se fabrican de tungsteno puro, tungsteno con 1% de torio, tungstenos con 0.15 a 0.4% de circonio, y tungsteno con 1 a 2% de torio.

Sus diámetros están entre 0.25 y 6.35 mm, y sus longitudes entre 76 y 610 mm.

Una normalización de electrodos se establece en la norma AWS A-5-12, extractándose en la tabla 3.1.1, los requisitos de composición química de algunos de ellos.

A pesar de que se considera el electrodo no consumible, la vida del electrodo se ve afectada por los siguientes factores:

a) Intensidad Excesiva. Valores de corriente en exceso sobre los recomendados causan la fusión y vaporización de la punta de los electrodos. Se puede entonces contaminar con tungsteno el metal apertado de soldadura.

b) Contaminación metálica. Es el tipo más común de contaminación. El metal contaminante puede proceder del metal de aporte, del metal fundido del baño líquido o del metal base a soldar. En tales casos, se debe eliminar la zona del electrodo contaminada, procurando darle forma adecuada a la punta del electrodo.

c) Contaminación Atmosférica. Las causas más corrientes de este tipo son:

TIPOS DE ELECTRODOS DE TUNGSTENO

ESPECIF. A.W.S	TIPO DE ALEACION TUNGSTENO	COLOR DE CODIGO	OBSERVACIONES
EWP	PURO	VERDE	BUENA ESTABILIDAD DE ARCO. RAZONABLEMENTE BUENA RESISTENCIA A LA CONTAMINACION. BAJA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE CORRIENTE. ECONOMICO. MANTIENE MAS LIMPIO SU EXTREMO.
EWZ _r	ZIRCONIO 0.15 a 0.40 %	MARRON	UTILIZADO CUANDO LA CONTAMINACION DEL TUNGSTENO ES INTOLERABLE. EXCELENTE PARA C.A. ALTA RESISTENCIA DE LA CONTAMINACION Y GRAN FACILIDAD PARA EL CEBADO DEL ARCO.
EWT _r -1	TORIO 0.8-1.2%	AMARILLO	FACIL CEBADO DE ARCO. ALTA CAPACIDAD DE CORRIENTE. ALTA RESISTENCIA A CONTAMINACION DE BAÑO.
EWTh-1	TORIO 1.7-2.2%	ROJO	DIFICULTAD DE MANTENER REDONDEADO EL EXTREMO DEL ELECTRODO EN C.A.
EWT _r -2	TORIO 0.35-0.55%	AZUL	ESPECIAL PARA SOLDAR CON C.A. POR MANTENER REDONDEADO EL EXTREMO.

TABLA 3.1.1

- 1) Flujo de gas insuficiente.
 - 2) Longitud excesiva del electrodo.
 - 3) Purgado insuficiente del gas después de cortar el arco.
- 1) La soldadura manual requiere flujos de gas del orden de 7.05 l/min., de argón, siendo mayor esta cantidad para el helio.
 - 2) El electrodo debe extenderse a partir de la tobera una extensión, como máximo, del diámetro de la tobera.
 - 3) Se debe dejar fluir el gas un cierto tiempo después de cortado el arco, hasta que se enfríe el electrodo por debajo de su temperatura de oxidación.
 - 4) La contaminación por agua puede originarse por fugas en el circuito de agua de refrigeración de la torcha, o por condensación sobre ésta en ambientes húmedos.

Se observa por la coloración del electrodo, un color azul claro o púrpura, hasta el color negro.

Gases de protección. Se utilizan para la soldadura gases inertes tales como el argón y el helio. Los gases neón, xenon y kriptón no se utilizan debido a su escasez y alto costo.

Se suelen añadir algo de Hidrógeno al argón e helio, en pequeñas cantidades, para soldadura mecanizables de aceros inoxidables.

Argón (Ar). Es un gas monoatómico que se obtiene de la

licuación del aire y obteniéndose con purezas del 99.99%.

Las ventajas del argón sobre el helio son:

- a) acción más suave del arco.
- b) menor voltaje de arco para un determinado valor de intensidad y longitud de arco.
- c) mayor acción limpiadora.
- d) menor coste, y mayor facilidad de obtención.
- e) menor caudal de trabajo necesario.
- f) mayor facilidad de inicio del arco.

Helio (He). Es el gas monoatómico más ligero. Se obtiene del gas natural hasta una pureza del 99.99%. Su conductividad térmica es alta, y requiere mayores voltajes de arco y aporte de energía que el argón.

La tabla 3.1.2 indica las ventajas de los distintos gases en función de los materiales base.

Materiales de aporte. En el caso en que se utilice, se exponen las especificaciones AWS para el material de aporte:

Especifi. AWS	Título
A-- 5.2	Varillas de acero y hierro.
A-- 5.7	Varillas de cobre y sus aleaciones.
A-- 5.9	Varillas de aceros inoxidables al Cr y al Cr-Ni.
A-- 5.10	Varillas de aluminio y aleaciones.
A-- 5.13	Varillas para recargues.
A-- 5.14	Varillas de níquel y aleaciones.

A-- 5.16	Varillas de titanio y aleaciones.
A-- 5.18	Varillas para aceros debilmente aleados.
A-- 5.19	Varillas de aleaciones de magnesio.
A-- 5.21	Varillas compuestas para <u>rg</u> cargues.
A-- 5.24	Varillas de circonio y aleaciones.

Defectología en la soldadura por TIG.

En la tabla 3.13 se exponen los problemas de la soldadura por el proceso TIG y los remedios propuestos.

VENTAJAS DE LOS GASES DE PROTECCION

METAL	TIPO DE SOLDADURA	GAS	VENTAJAS
ALUMINIO	MANUAL	ARGON	MEJORES CEBADOS DEL ARCO, ACCION LIMPIADORA Y CALIDAD DE SOLDADURA. MENOR CONSUMO DE GAS.
		ARGON/ HELIO	MAYOR VELOCIDAD DE SOLDEO
MAGNESIO	AUTOMATICA	ARGON/ HELIO	MEJOR CALIDAD DE SOLDADURA; MENOR FLUJO DE GAS QUE CON HELIO CON DCSP.
		HELIO (DCSP)	MAYOR PENETRACION Y MAYOR VELOCIDAD DE SOLDEO QUE LA OBTENIDA CON AR-HE.
ACERO			
AL	POR PUNTOS	ARGON	PREFERIDO PARA MAYOR VIDA DE ELECTRODO. MEJOR CONTORNO DE SOLDADURA. FACIL CEBADO. MENOR FLUJO DE GAS QUE He.
CARBONO	MANUAL	ARGON	MEJOR CONTROL DE BAÑO, ESPECIALMENTE SOLDANDO EN POSICION.
	AUTOMATICA	HELIO	MAS ALTA VELOCIDAD QUE CON AR.
ACERO	MANUAL	ARGON	PERMITE PENETRACION CONTROLADA EN CHAPA FINA (HASTA 1/4 GAGE)
INOXIDABLE	AUTOMATICA	ARGON	EXCELENTE CONTROL DE PENETRACION EN PEQUEÑOS ESPESORES.
		AR-HE	ALTO APORTE DE CALOR. ALTAS VELOCIDADES DE SOLDEO EN ALTOS ESPESORES.
		Ar-H (HASTA 35% H ₂)	EVITA MORDEDURAS; PRODUCE DESEABLE CONTORNO DE SOLDADURAS A BAJAS INTENSIDADES. MENOR FLUJO DE GAS.

TABLA 3.1.2

(CONT.) VENTAJAS DE LOS GASES DE PROTECCION

METAL	TIPO DE SOLDADURA	GAS	VENTAJAS
ACEROS INOXIDABLES	AUTOMATICA	Ar-H-He	OFRECE ALTA VELOCIDAD
		He	OFRECE EL MAYOR APORTE DE CALOR Y MAYOR PENETRACION
COBRE NIQUEL Y SUS ALEACIONES		ARGON	FACIL CONTROL DE BASTO Y PENETRACION EN FINOS ESPESORES.
		HE	MAYOR INPUT DE CALOR PARA UNA VELOCIDAD DADA, EN FUERTES ESPESORES.
		AR-He	MAYOR INPUT DE CALOR. PARA CONTRARRESTAR LA ALTA CONDUCTIVIDAD TERMICA.
TITANIO		Ar	UN BAJO FLUJO DEL GAS MINIMIZA LA TURBULENCIA Y CONTAMINACION POR AIRE DE LA SOLDADURA; MEJORANDO LA ZONA TERMICA AFECTADA.
		He	MEJOR PENETRACION PARA SOLDADURAS MANUAL DE ALTOS ESPESORES (SE REQUIERE GAS DE PURGA EN EL RESPALDO).
BRONCE SILICIO		Ar	REDUCE AGRIETAMIENTO DEL METAL
BRONCE ALUMINIO		Ar	MENOR PENETRACION DEL METAL BASE.

(cont) TABLA 312

TABLA - 3.1.3

PROBLEMA	CAUSA	REMEDIOS
Consumo desorbitado del electrodo	1-protécción inadecuada. 2-operar con polaridad inversa. 3-tamaño inadecuado del electrodo para la corriente requerida. 4-calentamiento excesivo en la pistola. 5-electrodo contaminado. 6-oxidación del electrodo durante el enfriamiento.	1-limpiar la tobera. 2-emplear electrodo mayor o cambiar a polaridad directa. 3-usar electrodo de mayor tamaño. 4-amolar el extremo del electrodo. 5-eliminar la parte contaminada. 6-dejar fluir el gas después de apagado el arco.
Arco errático	1-suciedad y grasa en el material base. 2-juntas demasiado estrechas. 3-electrodo contaminado. 4-diámetro de electrodo demasiado grande. 5-arco demasiado largo.	1-usar limpiadores químicos, cepillar. 2-abrir la puerta. 3-eliminar la porción contaminada. 4-afinar el extremo del electrodo. 5-acercar más la pistola a la soldadura.
Porosidad	1-impurezas de gas atrapadas. 2-posible uso de viejas mangueras de acetileno. 3-mangueras de gas y de agua intercambiadas. 4-película de aceite en el metal base.	1-purgar el aire de las líneas, antes de iniciar el arco. 2-usar mangueras nuevas. 3-no intercambiar las mangueras de gas y de agua. 4-limpiar químicamente el metal base.
Contaminación de tungsteno en el material de aporte.	1-contacto de encendido con el electrodo. 2-fusión del electrodo. 3-astillado del electrodo por choque térmico.	1-utilizar el "starter" de alta frecuencia. 2-utilizar menos corriente. 3-utilizar electrodos especiales.

CAPITULO 4

DEFECTOLOGIA Y
CONTROL DE CALIDAD
DE LAS SOLDADURAS

4.1.- DEFECTOS APARENTES E INTERNOS.

El término defecto es ampliamente usado, y puede significar discontinuidad, imperfección, grieta, falta de homogeneidad. Los defectos en la soldadura pueden ser de tipo mecánico o metalúrgico.

Tanto los cordones de soldadura como los materiales base no son perfectos. Esto es reconocido por todos los principales códigos de soldadura que permiten algunos defectos en la misma y ponen limitaciones a muchas condiciones defectuosas.

Algunos defectos o falta de homogeneidad en soldaduras no producen fallas en servicio. Otros pueden ser críticos - bajo ciertas condiciones de servicio y han causado o contribuido a la fractura.

Los efectos de los defectos de soldadura y material base sobre la vida y servicio de depósitos, tanques y tuberías a presión son desconocidos por algunos ingenieros y en los códigos de inspección que establecen límites de aceptabilidad.

A algunos defectos se les da gran importancia mientras que otros son pasados por alto, aun cuando pueden ser más - perjudiciales para la vida en servicio.

Algunos de los llamados defectos de soldadura representan solamente cambios en la uniformidad en el espacio que - separa la soldadura del metal base o dentro de la soldadura.

Lograr relacionar los resultados de ensayos que valoran las condiciones de defectos, con la experiencia en el servicio, a menudo encuentra dificultades y puede incluso ser imposible. Muchas soldaduras que se han comportado en servicio

satisfactoriamente, bajo condiciones consideradas como críticas contenían defectos que según los ensayos en laboratorio eran extremadamente peligrosos.

Por ejemplo, en ensayos de fatiga, puede iniciarse una grieta en un cordón rugoso y propagarse hasta la ruptura, sin embargo, rugosidades similares o mayores no han causado nunca fallas en muchísimas soldaduras de tubos de conducción de vapor a alta presión y temperatura.

Generalmente las rugosidades corrientes no deben ser consideradas más peligrosas que los defectos de laminación que generalmente se hallan en los materiales y se aceptan.

Como consecuencia desafortunada de tantas páginas escritas sobre ensayos de soldadura, los técnicos han llegado a preocuparse por el menor defecto en la soldadura y pasar por alto defectos más graves en el material base. Sin embargo, puede haber casos aislados en los que incluso el más pequeño defecto del metal de soldadura (o metal base) puede producir una ruptura o fuga. En estos casos, los resultados de pruebas específicas en laboratorio o pruebas simuladas en servicio pueden constituir una información útil.

Cebado del Arco. Representa una zona localizada afectada por el calor o bien cambia en el contorno de la soldadura o metal base causada por un arco. El cebado del arco puede ser producido por el calor generado al paso de una corriente eléctrica o como resultado de un electrodo de soldadura o un electrodo para inspección por partículas magnéticas.

Algunas veces una pequeña mordedura puede quedar como -

consecuencia de un cebado de arco. El cebado de arco también tiende a producir endurecimiento especialmente en aceros altos en carbono y aceros aleados. En aceros templables, de gran resistencia, el cebado del arco puede causar grietas localizadas.

Bajo condiciones de ensayo de fatiga estática el cebado de arco ha sido considerado de poca importancia, con altos esfuerzos y un número bajo de ciclos el cebado de arco no llega a ser crítico, sin embargo en ensayos de fatiga a flexión con 5 millones de ciclos, el cebado del arco redujo los esfuerzos de fatiga en un 40% para aceros efervescentes bajos en carbono y en 55% en aceros calmados.

Anillos de Raíz. Un anillo de raíz es una tira de metal curvada muy usada en la soldadura del cordón y raíz sin tener que descarnar.

Aunque no es estrictamente un defecto, los anillos de raíz se incluyen en este estudio, pues representan una discontinuidad semejante a una soldadura con demasiado sobreespesor. Los resultados de ensayos de fatiga a flexión sobre tejes soldados de tuberías, soldados por una cara y con anillo de raíz se representan en la fig. 4.1. Los ensayos muestran una reducción sustancial de la resistencia a la fatiga, sin embargo, cuando se dejó una separación de $1/16"$ (1.58mm) entre la cara interior de la tubería y el anillo, no se encontró ningún efecto pernicioso.

Descelgaduras. Se trata de una fusión del metal de soldadura que forma el cordón de raíz. Cuando se forman gotas -

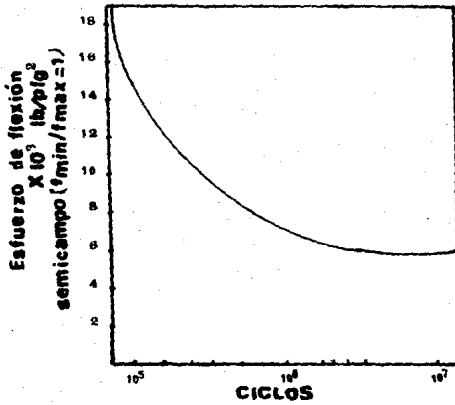
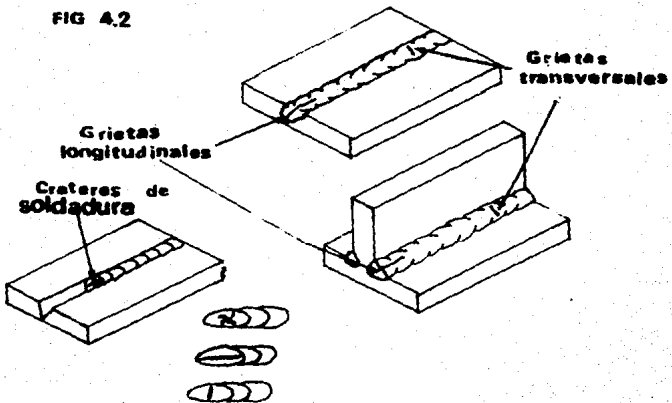


FIG 4.1

FIG 4.2



reciben el nombre de uvas o carámbanos. Puede ocurrir que la fusión afecte al metal del anillo de raíz produciendo también una cavidad. Lo mismo puede suceder en soldaduras a raíz abierta.

Las descolgadas no son peligrosas a menos que sean muy acusadas y continuas.

Hendiduras Centrales. Una hendidura representa un ligero chafán lineal formado por contracción de la cara baja del cordón de raíz.

Aunque una hendidura central puede parecer en examen radiográfico, una falta de penetración no debe ser considerada perjudicial e rechazable. Tratándose de materiales austeníticos no se puede evitar fácilmente esta circunstancia.

Grietas. Las grietas representan fracturas del metal sometido a esfuerzos. Aunque algunas veces son grandes, las grietas son frecuentemente ligeras separaciones en la soldadura o en el metal base cercano.

En la fig. 4.2 se representan grietas típicas en soldaduras.

Existen varios tipos de grietas en soldaduras, agrupadas normalmente en los siguientes tipos:

- 1.- Grietas en caliente en la soldadura.
- 2.- Grietas en frío en la soldadura.
- 3.- Microfisuras.
- 4.- Grietas en el metal base.

Se debe distinguir entre fisuras claramente visibles, y fisuras o microfisuras cuya apreciación requiere técnicas especiales.

peciales. Mientras que las grietas claramente apreciables son consideradas como peligrosas, las fisuras e microfisuras no reducen la vida en servicio. Las dimensiones límite de una fisura (o grieta), puede variar con sus condiciones en servicio. Generalmente, no se hace distinción alguna entre grieta y fisura. No es posible diferenciarlas por un factor de medida arbitraria. Llegará a ser difícil predecir cuando una fisura se convierte en grieta.

Cuando hablamos de fisura queremos decir grietas muy pequeñas que no son críticas para la vida en servicio y no reparables en condiciones normales. Sin embargo, el mecanismo de formación de una fisura como resultado de una soldadura (o calentamiento), es considerado como un agrietamiento (tanto en frío como en caliente).

Grietas en caliente. Se presenta este tipo de grieta a temperaturas elevadas durante el enfriamiento, cuando se produce la solidificación del metal de soldadura. Normalmente está relacionado con la acritud en caliente. Puesto que el agrietamiento se relaciona con fases o inclusiones frágiles en los límites del grano, las grietas en caliente aparecen generalmente como fisuras intergranulares o interdendríticas.

Los principales factores que causan las grietas en caliente son mecánicos o metalúrgicos. Los factores mecánicos incluyen forma y dimensiones del baño de soldadura, forma y espesor del metal base y tipo de unión. Por regla general la importancia de la grieta aumenta a medida que le hacen los esfuerzos impuestos a la soldadura durante la solidificación.

Los principales factores metalúrgicos son la presencia de segregaciones o fases líquidas a lo largo de los límites del grano. Estos últimos tienden a permanecer líquidos a temperaturas más bajas que a la que lo hace normalmente el metal de soldadura.

Aleaciones de cobre. En aleaciones de Cu, 0.005 Pb y 0.0006 Bi pueden ocasionar agrietamiento en caliente en el cordón de soldadura. Esta tendencia se puede reducir en aleaciones que contienen por lo menos dos componentes estructurales. Por ejemplo, metales de soldadura aluminio-bronce con 7.5% Al son muy susceptibles al agrietamiento en caliente. Los metales de soldadura con aproximadamente 10 a 12% Al que dan lugar a una estructura de dos fases, apenas muestran susceptibilidad al agrietamiento en caliente a menos que cambie la composición por efecto de la dilución.

Las aleaciones de Cu-Ni están sometidas a agrietamientos en caliente en presencia de los siguientes elementos:

Pb, Bi, S, P, Cd, Sb, Se, Te, y C.

Aleaciones de Níquel. En las soldaduras de aleaciones de Ni, el Pb, Bi, S, P, Zr, B, producen acritud y agrietamientos en caliente. El Ni es el más susceptible mientras que el Inconel es más resistente a este agrietamiento.

En pequeñas cantidades, Al, Ti, C, Mo, y Si se consideran generalmente benéficas o inofensivas. Sin embargo, estos elementos pueden producir agrietamientos en caliente cuando sus contenidos exceden de un límite máximo específico. Esto puede explicarse, por ejemplo, porque C, Si, Ti, Cu, C y N son --

considerados causantes del agrietamiento en caliente del -
Inconel.

Desde que las condiciones para la acritud en caliente -
normalmente prevalecen más en el metal base, el agrietamiento
en caliente puede ocurrir más fácilmente en los procesos de
soldadura que ocasionan fusión substancial del metal base, es
decir, mezcla de metal base y metal de soldadura. Puede ocu-
rrir con soldadura por arco sumergido y con electrodo de gran
penetración.

Agrietamiento en Frío.

Agrietamiento en frío de acero, significa grietas que -
aparecen por debajo de 400°F, normalmente próximo a la tempe-
ratura ambiente. Algunas veces se retrasa su aparición, pre-
sentándose horas e incluso días después del equilibrio de -
temperaturas de soldadura y ambiente y por consiguiente esta
libre de gradientes y esfuerzos térmicos.

En general el agrietamiento en frío parte de la zona afec-
tada por el calor, a menos que el metal de soldadura pesea una
dureza mayor que el metal base. Inclusive en el mismo material
las grietas no progresan uniformemente en longitud y profundi-
dad. Mientras que algunas grietas quedan paradas durante mucho
tiempo y repentinamente se extienden rápidamente, otras pro-
gresan con gran rapidez desde el principio. En la fig. 4.3 -
se aprecia un ejemplo de crecimiento de grieta en una solda-
dura de un acero aleado de 5/8" de espesor. El agrietamiento
se presentó en la zona afectada por el calor de una soldadura

a tope por arco sumergido realizada en una pasada.

En los aceros, el agrietamiento en frío está principalmente relacionado con la combinación de efectos de hidrógeno disuelto, contracción y formación de martensita. Aumentando el contenido de carbono en el metal base y el de manganeso - en el metal de soldadura también se producen grietas. El efecto del hidrógeno como causa o promotor de grietas ha sido discutido ampliamente en la literatura. Para reducir este efecto perjudicial en soldadura de aceros ferríticos, particularmente aceros aleados, se emplean muchos electrodos recubiertos llamados básicos o de bajo contenido en hidrógeno y para la soldadura de tuberías y depósitos a presión.

Microfisuración.

Las microfisuras o microgrietas, son fisuras muy pequeñas no detectables con aumentos menos de 10 diámetros. A menudo son visibles con aumentos de 100 diámetros y más.

Las microfisuras pueden producirse por efecto de agrietamiento en caliente o en frío. En el primer caso suelen ser microfisuras intergranulares, en el segundo caso son predominantemente transgranulares aunque pueden ser intergranulares.

La microfisuración intergranular que se presentó a elevadas temperaturas puede degenerar en transgranular debido - al agrietamiento en caliente a la temperatura ambiente, particularmente en aceros aleados de alta resistencia.

Las microfisuras extremadamente pequeñas se presentan - probablemente en la mayoría de las soldaduras y metal base.

Agrietamiento del metal de soldadura. Se considera que los grandes agrietamientos son críticos y han producido fallas en servicio. En la soldadura, el primer cordón no tiene grietas, entonces es muy probable que el resto de la soldadura esté libre de grietas. Sin embargo, esto depende de las condiciones de soldadura. También los defectos de laminación del metal base pueden ser cebos de grietas en la soldadura.

Agrietamiento en el metal base. El agrietamiento en el metal base, tal como grietas en el borde y debajo del cordón, se considera como muy crítico y produce fracturas en servicio.

Cráteres de Soldadura. Un cráter representa una superficie de forma casi circular que se produce a la terminación de cada electrodo y se extiende de forma irregular en el metal de soldadura. Su causa es la contracción durante la solidificación del metal fundido como resultado de una brusca interrupción del arco. A menos que el agrietamiento parta de estos cráteres, estos no son causa de rechazo. Sin embargo ocasionalmente estos cráteres pueden ser motivo de iniciación de grietas.

Falta de acoplamiento en los topes de soldadura (Hi/low). Es la falta de acoplamiento o desalineación de extremos de la plancha o tubería en la soldadura de raíz. Su causa puede radicar en que los extremos del depósito o tubería no son -- circulares, por diferencias entre los diámetros interiores, por problemas de acoplamiento, por preparaciones inadecuadas de bordes o por otras causas.

Cuando las uniones no sean accesibles por el interior se puede reducir la falta de acoplamiento por un mecanismo interno especial. Excepte en grandes espesores, el mecanizado interno no es siempre posible.

La fig. 1.1.1 indica ejemplos de faltas de acoplamiento en topos de tubería.

Falta de Fusión. Se trata de una fusión incompleta de alguna parte metálica de la junta soldada. Puede presentarse entre cordones o entre soldaduras y metal base.

Algunos ensayos de fatiga en tuberías han indicado que la falta de fusión en la soldadura tiene poca importancia. - Probetas con excesiva falta de fusión fueron sometidas a flexión alternada con el cordón en dirección normal al esfuerzo aplicado. El plano del defecto era circunferencial y normal a la dirección del esfuerzo. Sin embargo, el defecto seguía el borde del chafalán a 40° desde la superficie exterior hasta la mitad del espesor de la tubería. En el ensayo de fatiga - a flexión, la grieta se inició en la raíz de la soldadura - entre la tubería y el anillo de raíz.

Falta de Penetración. Esta indica penetración incompleta de la soldadura en parte del espesor de la unión. Generalmente afecta a la primera pasada o bien a soldaduras hechas de uno o ambos lados de la unión.

En uniones debiles, la falta de penetración aparece bajo la soldadura de raíz, convirtiéndose en un defecto superficial. Así representa un defecto más severo y actúa como una entalla.

La tolerancia de resistencia estática por falta de pene-

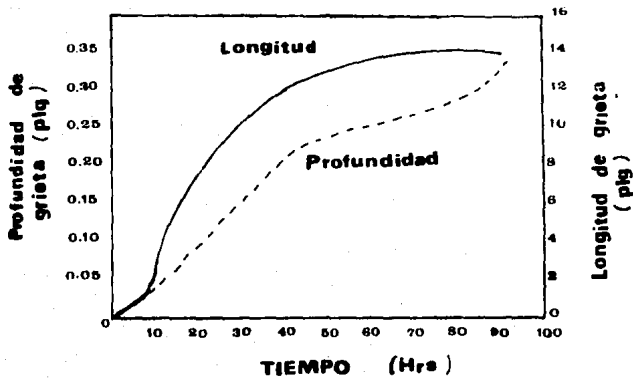


FIG 4.3

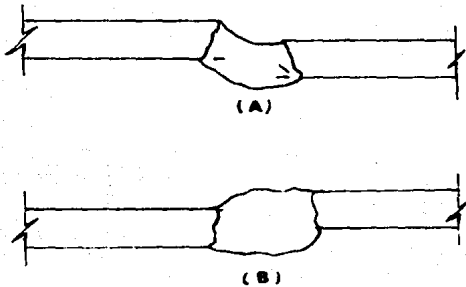


FIG 4.4

tración es baja, particularmente cuando se ha quitado el sobre espesor. La figura A.5 indica el efecto de la falta de penetración en plancha de aluminio soldada con toma de raíz. Se obtuvieron valores algo más altos cuando se mantuvo el sobre espesor de las probetas.

También puede ser importante la dirección de la falta de penetración. Ensayos sobre probetas de chapa han demostrado que cuando el defecto tiene la misma dirección que la carga, un grado considerable de falta de fusión no afecta a la resistencia a la fatiga. El mismo grado de falta de penetración, cuando el defecto es transversal a la dirección de la carga, produce una severa reducción de la resistencia a la fatiga.

Solape. Por solape se entiende un exceso de metal de soldadura que se extiende excesivamente fuera de los límites del baño de fusión sobre la superficie del metal base. El solape se presenta con mayor frecuencia en las soldaduras en ángulo y produce un aparente aumento del tamaño y resistencia de las soldaduras en ángulo.

Oxidación. Es el resultado de una insuficiente protección de la atmósfera de soldadura y metal base adyacente. Esta oxidación afecta generalmente sólo a la cara inferior de uniones soldadas sin anillo de raíz, y puede oscilar entre una ligera decoloración y una fuerte oxidación en aceros inoxidables.

Pueden apreciarse oxidaciones menos fuertes en la cara inferior de soldaduras, de aceros al carbono de baja aleación y níquel, en donde la superficie aparece ligeramente arrugada.

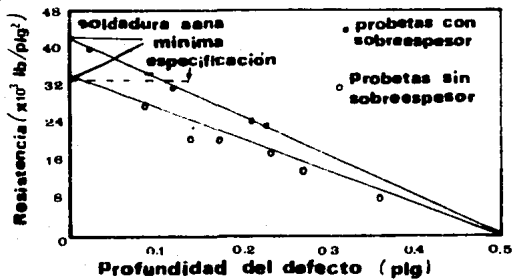


FIG 4.5

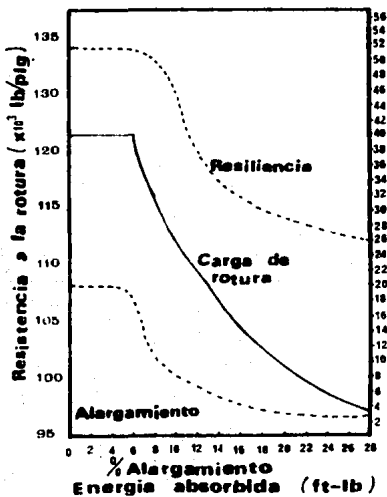


FIG 4.6

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Los ensayos de fatiga en soldaduras a tope de tuberías de acero y Cu-Ni de 2" y 4" de diámetro han demostrado que el arrugado no afecta la vida de la probeta.

Porosidad. Es la presencia de bolsas de gas (normalmente de forma esférica) causadas por el gas, que no tuvo tiempo de salir durante la solidificación del baño de soldadura.

A veces los poros alargados se llaman vermiculares; las grandes bolsas de gas alargadas se llaman sepladuras y pueden estar parcialmente llenas de escoria.

Los ensayos de tensión estática, flexión y de impacto en aceros de baja aleación han demostrado que la porosidad en cantidades que reducen la sección transversal hasta un 5% no tienen un efecto apreciable sobre la resistencia, ductilidad y tenacidad. En la fig. 4.6 se recogen los resultados de los ensayos. Sin embargo, cuando la porosidad está localizada cerca de la superficie, incluso una pequeña porosidad puede producir fracturas en ensayos de flexión.

Concavidad. Se produce por el hundimiento por gravedad del metal fundido, o por la tensión superficial del chaflán de soldadura que introduce el metal fundido dentro del mismo. De este modo, la concavidad puede producirse en la posición superior de una soldadura a tope de un tubo horizontal.

La aparición de este defecto se debe a varios factores incluyendo preparación de la unión, variables de procedimientos de soldadura y materiales. Demasiado calor en la segunda pasada puede ocasionar perforaciones en la primera pasada de raíz, especialmente cuando ésta primera pasada tiene poco metal depositado. Una fuerte concavidad puede causar agrieta-

miento en la pasada de raíz.

Aunque este defecto se asocia generalmente con soldaduras TIG, puede aparecer también en otros procedimientos de soldadura. Así, las soldaduras de tuberías realizadas sin utilizar anillos en raíz por el procedimiento oxiacetilénico o arco en atmósfera de gas, presenta frecuentemente este defecto.

Los ensayos de fatiga sobre tuberías de acero y Cu-Ni cédula 40 han demostrado que las concavidades de 1/16 y 1/32 pulg de profundidad, redujeron la vida como mínimo en 10 a 20% en soldaduras con penetración uniforme.

Inclusiones de Escoria. La escoria presenta materiales sólidos no metálicos atrapados en el cordón de soldadura o entre el metal base y metal de soldadura.

Las escorias pueden aparecer como partículas aisladas o como líneas continuas o interrumpidas.

En ensayos realizados las muestras de fatiga por tracción pulsatoria han indicado que en las soldaduras de acero, a igualdad de tamaño de los defectos, la escoria reduce la vida de la probeta un 12% por debajo de la reducción producida por la porosidad.

Inclusiones Metálicas. Son inclusiones de trozos de material en una unión antes de la soldadura o durante ésta, pudiendo ser trozos de electrodos, varilla u otros elementos metálicos que quedan sin fundir en el cordón de soldadura.

Este defecto se presentaba frecuentemente hace unos 20 años cuando la inspección radiográfica no era muy severa. Sin embargo, ocasionalmente se han presentado casos de soldaduras con este defecto, incluso en los últimos años, produciéndose

fallas posteriores.

Inclusiones de Tungsteno. Son partículas de electrodos de tungsteno utilizando en la soldadura TIG, que se depositan en el cordón de soldadura.

Los ensayos de fatiga y tensión estática en aluminio demostraron que la presencia de tungsteno no tuvo consecuencias. Estas inclusiones generalmente no se consideran perjudiciales, a menos que su tamaño y número sean excesivos.

Mordeduras. Representa una cavidad o canal en el metal base adyacente al baño de fusión.

Los ensayos de fatiga han demostrado que las mordeduras pueden reducir considerablemente la resistencia a la fatiga.

En soldaduras de acero de baja aleación, los ensayos de fatiga en probeta de 3/4 plg de espesor mostraron los efectos perjudiciales de la mordedura sobre la vida de la probeta. Así, las mordeduras de 0.021 plg (0.6mm) de profundidad redujeron la vida en 10 a 20% mientras que con profundidades de 0.050 plg (1.25mm) la reducción fue de 1/3.

Alineaciones de Escorias. Son inclusiones de escoria en línea. Pueden presentarse normalmente en la raíz de la soldadura de tuberías entre un anillo de raíz que no está íntimamente acoplado y el borde de la soldadura. También se puede producir este defecto por contracción del metal base adyacente al borde de la soldadura, entre la pasada de raíz y el anillo de raíz. También se presentan en el interior de la soldadura, especialmente entre la primera y la segunda pasada, donde la escoria se deposita en la hendidura entre cordón y chaflán y no se puede limpiar bien.

Sobreespesor del Cordón. El sobreespesor representa un exceso de metal de soldadura que sobresale en la cara superior e inferior del tope de soldadura.

Mientras que en los depósitos a presión se quita el sobreespesor, es normal dejarlo en las uniones de tuberías. La forma y el aspecto del sobreespesor varía con los distintos procedimientos de soldadura y con el tipo de electrodo utilizado.

Los ensayos de fatiga han demostrado que la forma del sobreespesor puede afectar considerablemente la resistencia a la fatiga. Las fallas en estos ensayos parten generalmente del borde del sobreespesor en la parte alta del cordón. En estos ensayos, la resistencia a la fatiga de soldaduras sanas se aumenta por un esmerilado o mecanizado del sobreespesor por ambos lados de la probeta. Sin embargo, en soldaduras con defectos considerables no se aumenta la resistencia a la fatiga sino que se disminuye al quitar el sobreespesor.

Proyecciones de Soldadura. Son partículas metálicas que en forma de gotas saltan del baño de fusión durante la soldadura y se depositan sobre la superficie del metal base o cordón.

Estas proyecciones de soldadura generalmente no se consideran perjudiciales.

4.2.- CONTROL DE CALIDAD DE LA SOLDADURA.

Las causas que originan los defectos en las soldaduras pueden depender de numerosos factores:

- Mala preparación y disposición de las piezas;
- Mala ejecución de la soldadura;
- Mala soldabilidad del metal de base.

-Mala elección del metal de aporte o del electrodo.

Por tanto, el control de la soldadura puede realizarse de diversas formas que dependen del momento elegido para efectuarlo.

4.3.- CONTROL ANTERIOR A LA SOLDADURA.

El control anterior a la soldadura debe afectar a las materias primas utilizadas (carburo, oxígeno, metales de base, metales de aporte o electrodos), al material (soplete, válvula reductora, generador, generatriz de corriente), la calidad de la mano de obra así como al examen de los planos de construcción, con el fin de comprobar si la disposición de las soldaduras esta de acuerdo con lo que recomienda la técnica. Este último punto tiene importancia capital ya que decide el tipo de unión a adoptar, el metal a emplear, el tipo de montaje y las condiciones de ejecución. Esta misión debe realizarla el perito en soldadura que controlará, antes que nada, el trabajo de la oficina técnica.

El control de la mano de obra es otro de los factores a considerar, en muchos casos se lleva mediante examen con entrega de un certificado de aptitud profesional. La especialización de un operario en un tipo determinado de construcción debe aumentar, en cierta medida la seguridad de la misma.

El control de las soldaduras por organismos de inspección constituye un elemento suplementario de la buena ejecución de la construcción.

El control anterior a la soldadura constituye una fase preparatoria importante, bien realizado permite evitar, en muchos casos, controles ulteriores, principalmente los no des-

tructivos que son muy costosos.

4.4.- CONTROL DURANTE LA EJECUCION DE LA SOLDADURA

Los controles efectuados durante la ejecución de la soldadura son principalmente de inspección, lo que permite asegurar la perfecta ejecución de la unión. Así pues, en este tipo de control, se tiene en cuenta la correcta utilización de la materia prima y, sobre todo, una observación rigurosa de los métodos de unión fijados en principio. Eventualmente pueden ir acompañados de ensayos semi-destructivos o destructivos, comprobando la constancia del valor profesional de los soldadores y el perfecto funcionamiento de las máquinas de soldar. Precisamente éste es el momento adecuado para inspeccionar de cerca defectos de ejecución mediante controles parciales con el fin de poner inmediato remedio ahora que las piezas son fácilmente accesibles y reparables.

Así mismo, la atención del controlador puede verse atraída por la velocidad de ejecución de las soldaduras. Una soldadura realizada a gran velocidad, normalmente, no alcanza a todo el espesor (falta de penetración) o produce una fusión parcial de los bordes a unir (falta de fusión). Por el contrario, las soldaduras ejecutadas con lentitud resultan, en general, sobrecargadas y recalentadas (defectos de continuidad geométrica y homogeneidad físico-química).

4.5.- CONTROL DESPUES DE LA SOLDADURA.

Según la naturaleza y tipo de la construcción, su control puede ser de carácter destructivo, semi-destructivo o no destructivo.

a) CONTROL DESTRUCTIVO

Este tipo de control se aplica en la fabricación en serie, cuando todas las unidades son idénticas, esto ocurre en la construcción de botellas de butano, pequeños recipientes a presión, etc.

Se realizará sobre algunas unidades separadas previamente de los lotes importantes. Las muestras sacadas por el controlador serán examinadas en el laboratorio y podrán estar sometidas a diversos ensayos según la forma de la construcción y el esfuerzo que vayan a soportar; prueba hidráulica para los recipientes cilíndricos, ensayos mecánicos y macrográficos de la zona fundida.

Este tipo de ensayo es forzosamente limitado y depende, en primer lugar, del costo de la construcción.

b) CONTROL SEMI-DESTRUCTIVO.

El control se realiza sobre muestras sacadas previamente de regiones dudosas, sin producir la destrucción de la junta, con la posibilidad de rehacer nuevamente el cordón de soldadura continuo en el lugar donde se efectuó el examen.

El control puede realizarse por distintos métodos:

- 1.- El fresado Schmuicker con ataque macrográfico de la parte trabajada después de un pequeño pulido.
- 2.- Extracción de una porción de la unión que se someterá a ensayos micromecánicos u otros exámenes de laboratorio.
- 3.- Extracción en el metal fundido a fin de determinar la densidad.

1.- Método Schmuckler. El control mediante la fresa Schmuckler permite un sondeo local de la soldadura.

Por medio de la fresa concebida especialmente a este efecto, se pone al desnudo una parte del cordón de soldadura. A continuación la superficie trabajada se pule someramente y después se ataca con un reactivo apropiado. Este ensayo permite poner en evidencia ciertos defectos en el conjunto de la unión (sopladuras, escorias, fisuras, etc.) y la penetración insuficiente en la raíz del cordón en las soldaduras en ángulo.

Después del examen, se recubre nuevamente esta parte por fusión de un electrodo.

Este ensayo ha sido de gran aplicación en el caso de uniones de armaduras, particularmente en la construcción de puentes.

2.- Extracción con vistas a la realización de micro-ensayos. Muchas veces interesa realizar la extracción de muestras de la zona fundida y de las partes adyacentes con sierra o cualquier otro procedimiento mecánico que no afecta a la calidad de las probetas. Estas muestras pueden someterse a diversos ensayos de laboratorio, exámenes macrográficos y micrográficos y en particular utilizándoseles como microprobetas, para la determinación de las propiedades mecánicas, con ayuda de la micromáquina Chevenard.

3.- Control de la Densidad. La medida de la densidad conduce a la determinación de la compacidad del metal depositado en la junta soldada. Este tipo de ensayo tiene hoy día una cierta importancia y los cuadernos de carga establecen unas

condiciones realmente severas sobre esta cuestión.

La presencia de sopladuras o porosidad, incluso microscópicas, en inclusiones de escoria, disminuyen sensiblemente la densidad aparente del metal depositado afectando notoriamente a ciertas características mecánicas como la resistencia y la resiliencia.

c) CONTROL NO DESTRUCTIVO.

Cuando las uniones son juzgadas por su aspecto (control visual), por métodos físicos o por cualquier otro tipo de ensayo (estanqueidad, por ejemplo), se dice que el control es no destructivo.

Los diferentes procedimientos de control pueden clasificarse de la siguiente forma:

- a) Control visual con o sin ayuda de aparatos ópticos.
- b) Control físico utilizando algunas propiedades particulares de la materia: eléctrica, magnética, acústica, transparencia a los rayos X o rayos gamma.

a) El examen visual es usado generalmente para determinar las condiciones de la superficie, alineamiento de superficies acopladas, formas o evidencias de fugas. Consideraciones importantes en la ejecución del examen visual ya sea directa o remotamente, dependiendo de las condiciones existentes, son: la accesibilidad, iluminación y ángulo de visión.

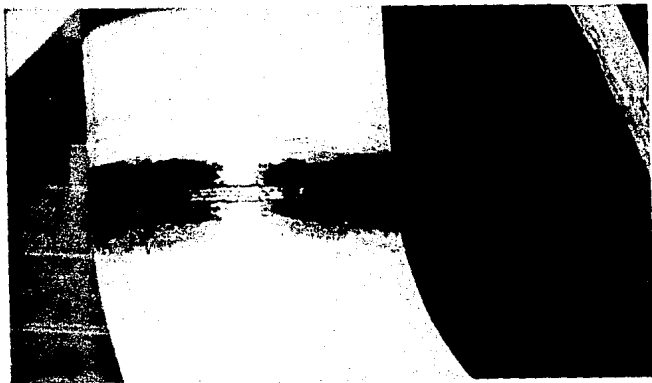
Examen visual directo. Puede usualmente hacerse cuando el acceso es suficiente para colocar el ojo a poco menos de 610mm de la superficie examinada y a un ángulo no menor de 30° con la superficie examinada. Puede usarse espejos para -

mejorar el ángulo de visión así como lentes de aumento. Se requiere alumbrado natural o artificial suficiente para iluminar el área a inspeccionar. Esta iluminación deberá tener un nivel mínimo de 350 luxes (32.5 pies/candela). El personal - que efectúe el examen visual deberá someterse a un examen - anual de la vista para asegurar que la agudeza visual a corta distancia natural o corregida debe ser tal que permita leer las letras J-1 en los cortes de la prueba Jaeger.

Examen Visual Remoto. En algunos casos el examen visual remoto puede ser substituido por examen directo. En el examen visual remoto pueden usarse equipos auxiliares tales como espejos, telescopios, bioscopios, hilos ópticos, cámaras u otros instrumentos adecuados. Tales sistemas podrán tener una capacidad de resolución al menos equivalente a la obtenida por observación visual directa.

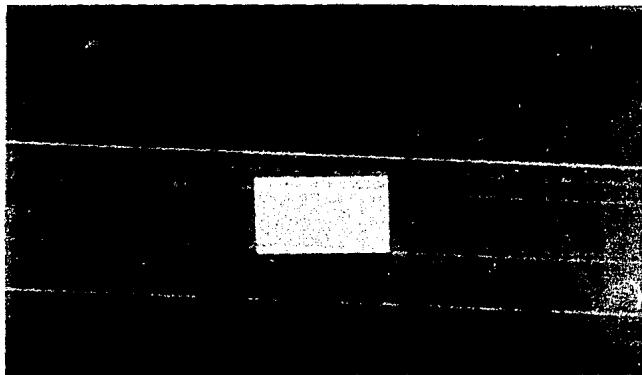
Examen con líquidos penetrantes (ver fotografías No. 1 y 2). Este método de examen no destructivo permite la detección de discontinuidades abiertas a la superficie en materiales ferrosos y no ferrosos (no porosos). Las típicas discontinuidades detectadas por este método son: grietas, fisuras, solapes, fracturas térmicas (cold shuts), laminaciones y porosidad. En principio, un líquido penetrante es aplicado a las discontinuidades, después se elimina o remueve el exceso de penetrante, se seca la pieza y se aplica el revelador, observándose así las discontinuidades a ser evaluadas.

Cualquier color contrastante o fluorescente puede ser usado en este método como penetrante. Para cada método hay tres tipos de penetrantes:



Fotografia No 1

**ENSAYO POR
LIQUIDOS PENETRANTES**



Fotografia No 2

- a) Lavables con agua.
- b) Emulsificables.
- c) Removibles con solventes.

La inspección con penetrantes fluorescentes no sigue un examen de penetrantes de color contrastante. No se permite la intermezcla de diferentes materiales penetrantes. Una repetición de pruebas con penetrante lavable con agua puede causar la pérdida de indicaciones marginales debido a la contaminación de las discontinuidades.

Examen con partículas magnéticas (ver fotografía No. 3).
Este examen proporciona la detección de grietas y otras discontinuidades lineales y será aplicable solamente a materiales ferromagnéticos. Es altamente sensible para las discontinuidades superficiales y disminuye rápidamente con la profundidad bajo la superficie.

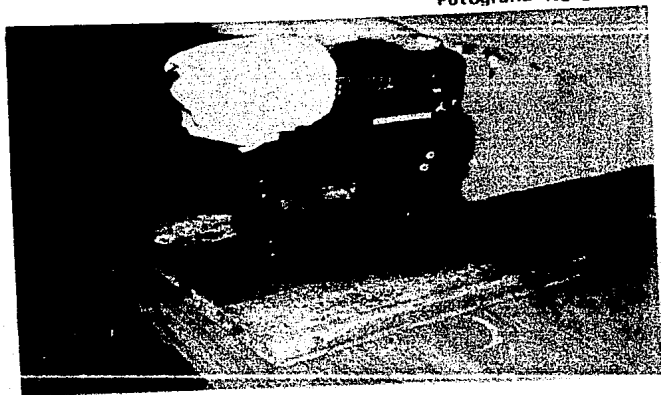
Este método implica la magnetización del área a ser examinada, seguida de la aplicación de partículas ferromagnéticas como medio examinante sobre la superficie. Las partículas serán retenidas sobre las grietas de la superficie o sobre las discontinuidades debido a las fugas del campo magnético. El patrón que presente las partículas será característico del tipo de discontinuidad existente.

El examen se realiza por el método continuo, esto es, que las corrientes magnetizantes permanezcan mientras se aplica el medio de examen, así como cuando el exceso del medio es eliminado.

Cualquier medio adecuado y apropiado para establecer el flujo magnético necesario puede ser empleado, de tal manera que la corriente pase a través del material, empleando un yugo magnético para discontinuidades superficiales o emplean

ENSAYO POR PARTICULAS MAGNETICAS

Fotografia No 3



FISURAS

do una bobina enrollada sobre la superficie a examinar, a través de la cual esta pasando la corriente magnetizante.

Las partículas ferromagnéticas finamente divididas podrán ser: a) Partículas secas; b) Partículas húmedas; c) Partículas fluorescentes.

Control por conductibilidad eléctrica. Este control, basado en la variación de la conductibilidad eléctrica con la presencia de un defecto, ha sido igualmente preconizado en América. Se comparará la resistencia eléctrica entre dos puntos situados a igual distancia en el metal de base y en el metal fundido.

El método resulta falto de sensibilidad y no parece dar resultados muy seguros excepto en el caso de defectos muy graves como fisuras y falta de penetración importante, que son más fáciles de descubrir por otro método. Este tipo de ensayo ha sido aplicado especialmente para el control de la resistencia eléctrica en las soldaduras de las conexiones de cables conductores.

Control radiográfico con rayos X. Las propiedades de penetración de los rayos X y gamma han dado como resultado su utilización en el control de los materiales, primero en fundición y después en soldadura.

Recordemos simplemente que los tubos utilizados para el control radiográfico son del tipo de cátodo incandescente, generalmente del sistema Coolidge con anticátodo de tungsteno, cerrados herméticamente. Estos tubos se alimentan normalmente con generadores de tensión constante.

Las tensiones necesarias, variables según el espesor, son de 100 a 500 KV; este último valor representa el límite

superior que se alcanza hoy día para el control.

Principio del método. Sabemos que cuando los rayos X atraviesan un cuerpo opaco, son parcialmente absorbidos; la intensidad emitida I está ligada a la intensidad incidente I_0 de la radiación, para una sustancia determinada, por la relación:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

siendo:

x el espesor atravesado.

μ el coeficiente de absorción del material, que es tanto mayor cuanto que la densidad del cuerpo irradiado crece; es decir, que un cuerpo es tanto más transparente a los rayos X - cuanto menos denso sea. A continuación se citan los coeficientes de absorción para algunos materiales:

Aluminio = 0.111

Hierro = 0.302

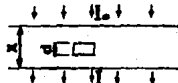
Plomo = 0.495

Así pues, si colocamos una placa fotográfica detrás de una chapa homogénea de espesor x sobre la que se hace incidir un haz de rayos X paralelos, se obtendrá, después de un cierto tiempo de exposición, un ennegrecimiento uniforme tanto - más fuerte cuanto que la sustancia sea menos absorbente.

Si la pieza encierra un defecto, por ejemplo, un hueco de espesor d fig. 4.7 la intensidad de los rayos X emitidos que atraviesan el defecto, será:

$$I' = I_0 e^{-\mu(x-d)}$$

FIG. 4.7 Influencia de un defecto en una chapa de espesor cte.



La intensidad de los rayos emitidos que atraviesan el espesor x , donde no existe defecto, sera:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

La relación $\frac{I'}{I} = e^{\mu d}$

depende de la naturaleza del material (μ) y del espesor del defecto (d). Así pues, la imagen del defecto se destacará tanto más cuanto que la relación $\frac{I'}{I}$ sea mayor, es decir, cuando lo sean μ y d .

La sensibilidad del método depende de un gran número de factores y en particular:

- de la nitidez de las imágenes;
- del contraste;
- de la posición y dimensiones de los defectos;
- de la potencia del tubo y condiciones operatorias; tiempo de exposición, calidad de la película, etc.

Nitidez de las imágenes. Las películas radiográficas serán más precisas en tanto que los defectos se manifiestan por una mancha de contornos más netos. Como en la práctica, el haz de rayos X incidente no es realmente paralelo, ya que la fuente de emisión no es puntual fig. 4.8, la imagen obtenida resulta rodeada de una zona de penumbra que se opone a la total nitidez de los contornos de las manchas.

Si el foco S, está muy próximo, resulta imposible obtener un perfil neto y exacto de los defectos, sobre todo si se trata de defectos que carecen de espesor (fisuras). Para disminuir este inconveniente se alejara lo más posible dicho

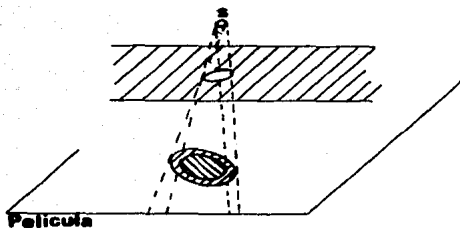


FIG 4.8 Influencia de las dimensiones de la fuente S sobre la nitidez de la imagen

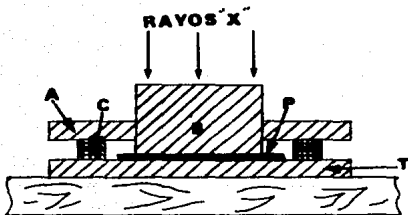


FIG 4.9 Método para aislar piezas de la radiación secundaria.

foco de la pieza a examinar. Evidentemente este alejamiento tiene un límite, debido a que la intensidad de la radiación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia foco-pieza. Para aumentar la nitidez de las imágenes, sin alargar demasiado la distancia, se ha recurrido a la utilización de una fuente de rayos X lo más pequeña posible. Esto define la calidad del tubo. Pero generalmente, el tamaño del foco aumenta proporcionalmente con la potencia del tubo, viéndose la necesidad de utilizar, para un espesor dado, la potencia más débil o a diafragmar, lo que hace perder parte de la potencia del tubo.

Contraste. Para obtener un buen contraste es preciso, en primer lugar, proteger las películas radiográficas de las radiaciones secundarias. Sabemos que cuando un haz de rayos X incide sobre un cuerpo, éste se convierte a su vez en fuente de radiaciones X secundarias; compuestas de rayos difundidos del primer haz y de una radiación de fluorescencia de mayor longitud de onda. Así pues, si nos limitamos a colocar el objeto a radiografiar ante la placa fotográfica sin otra precaución especial, la radiación secundaria que proviene de los cuerpos circundantes nos velará totalmente dicha placa. Por tanto hay que protegerla utilizando cuerpos opacos a los rayos X que se colcan de forma adecuada.

Para las piezas de pequeñas dimensiones, un primer procedimiento consiste en cortar en una chapa de plomo A fig. 4.9 de 10 mm de espesor, una abertura de las mismas dimensiones que la pieza a radiografiar. Esta pieza P reposa sobre la -

placa radiográfica F la cual se coloca también sobre una segunda chapa de plomo T. Entre las dos placas T y A se colocan normalmente un marco de plomo C.

Un segundo procedimiento consiste en colocar la pieza sobre un lecho de cera o de cualquier otra materia plástica transparente a los rayos X. El conjunto reposa sobre la placa fotográfica F colocada en una caja A de paredes de plomo, - fig. A.10. A continuación se llena la caja con granalla de plomo muy fina de forma a recubrir la placa fotográfica hasta un espesor de unos 20mm. Si se ha sabido delimitar perfectamente el lecho de cera se obtiene una proyección neta de la pieza a radiografiar.

En el caso de piezas con superficie irregular la distancia pieza-película puede ser demasiado grande.

Para resolver el problema se recurre al empleo de rejillas antidifusoras compuestas de laminillas de plomo paralelas al haz incidente, fig. A.11. Estas laminillas absorben los rayos secundarios inclinados respecto a su dirección. De esta forma se evita el desenfoque general de la película radiográfica. Es necesario dar a estas rejillas un movimiento alternativo perpendicular a la dirección del haz incidente, para no reproducir sobre la placa sensible la proyección de las laminillas de plomo.

Tiempo de exposición. El tiempo de exposición debe calcularse teóricamente a fin de obtener la densidad óptica de la película más favorable para el examen ocular. Este tiempo de exposición depende en primer lugar de la sensibilidad de

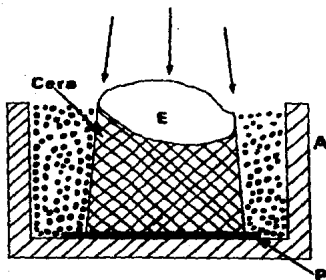


FIG 4.10
Método para aislar las
piezas de forma irregular.

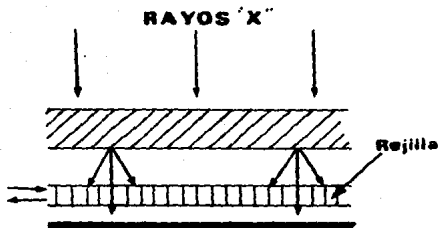


FIG 4.11
Posición de la rejilla
antidifusora.

la emulsión de las películas empleadas (que son películas de doble emulsión) y también de la intensidad de la radiación. Ya que esta intensidad decrece a medida que nos alejamos del tubo, en razón inversa al cuadrado de la distancia. Por último el tiempo de exposición depende del espesor a atravesar, disminuyendo la intensidad emergente en función del espesor según la ley exponencial de absorción.

En los casos en que es necesario el empleo de rayos con pequeña longitud de onda (grandes espesores o cuerpos muy absorbentes), se salva la dificultad utilizando pantallas reforzadoras que se colocan a ambos lados de la película. Estas pantallas, debido a su radiación, producen fluorescencia de mayor longitud de onda fácilmente absorbible por la emulsión fotográfica, están constituidos por finas capas de plomo.

El empleo de pantallas reforzadoras permite reducir considerablemente el tiempo de exposición que decrece, para un mismo espesor, cuando la tensión en bornes aumenta.

Control con rayos gamma. Sabemos que los cuerpos radiactivos tienen la propiedad de emitir espontáneamente cargas positivas (rayos α), cargas negativas (rayos β) y ondas electromagnéticas de muy alta frecuencia análogas a los rayos X, conocidas como rayos γ .

La radiación γ , muy compleja, está compuesta de longitudes de onda generalmente comprendidas entre 0.1 y 0.007 Å. - Es mucho más penetrante que los rayos X. Mientras estos últimos, los más penetrantes en la actualidad, el límite de espesor que atraviesan es del orden de 10mm de plomo, los efectos de algunos rayos γ son todavía perceptibles a través de los

100 a 200mm de plomo.

Entre las sustancias radioactivas más fáciles de utilizar en ensayos de soldadura están el Cobalto 60 y el Iridio 192.

La técnica radiográfica gamma recuerda a la de los rayos X; es necesario tomar las mismas precauciones indispensables para evitar la radiación secundaria.

La sensibilidad relativa a los rayos gamma aumenta con el espesor de la pieza; el espesor mínimo de los defectos - apreciables varía del 3 al 1.5% cuando el espesor total varía de 20 a 100mm utilizando pantallas reforzadoras. Podemos decir que la sensibilidad del método radiográfico por rayos gamma es comparable a la de los rayos X; puede apreciarse un defecto que representa el 2% del espesor atravesado cuando éste - se encuentra en la zona próxima a la película y el 1% cuando se encuentra en la zona próxima al foco.

A continuación se mencionan algunas de las ventajas e inconvenientes de los dos procedimientos de control radiográfico, por rayos X y rayos gamma.

Rayos X

- 1.- La longitud de onda de la radiación X varía de 1 a 0.1 \AA
- 2.- La instalación generadora de rayos X muy penetrante es voluminosa y difícil de transportar.

Rayos Gamma

- 1.- La longitud de onda - gamma varía de 0.1 a 0.007 \AA más penetrantes.
- 2.- La instalación de rayos gamma es muy simple y fácil de transportar.

3.- El tubo de rayos X debe colocarse a una distancia comprendida entre 60 cm y 1m de la pieza para lograr la nitidez de las imágenes

4.- El espesor límite para el control de los aceros es de aproximadamente 150mm.

5.- Las instalaciones de rayos X dan radiaciones más intensas y, por ello, tiempos de exposición muy reducidos.

3.- Puede aplicarse la aguja de rayos γ directamente sobre la pieza a radiografiar.

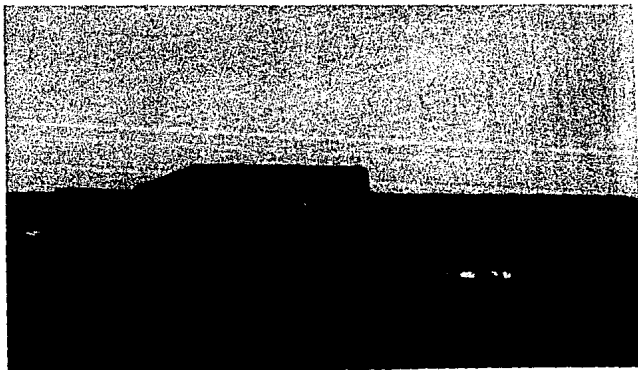
4.- El espesor límite puede ser de 200mm depende de la cantidad de materia radioactiva.

5.- La radiación gamma es de pequeña intensidad, por tanto el tiempo de exposición es muy largo.

Control por Ultra-Sonidos (ver fotografía No. 4 y 5). El problema de la producción de ondas ultrasónicas; es decir, - ondas situadas en la gama de 1000000 de c/s, es una cuestión de tipo piezoeléctrica.

La utilización de esta onda para el control de defectos en pieza metálicas data de varios años, pero ha sido recientemente, con el descubrimiento de las técnicas electrónicas, cuando se ha generalizado su empleo en el control de las soldaduras.

El procedimiento consiste en hacer atravesar la pieza - por una energía ultrasónica, igual que para los ensayos penetrantes (rayos X y γ) y definir la energía disipada debido a la presencia de un defecto en el interior de la pieza. El sistema va provisto de dos palpadores, uno de los cuales emi



Fotografía No 4

ENSAYO POR
ULTRASONIDOS



Fotografía No 5

te la energía ultrasónica y el otro, el receptor, capta la fracción de energía no absorbida. Para el control de las soldaduras en la práctica se pueden utilizar los tres métodos siguientes.

a) El método por transmisión. En este método, la pieza a examinar se coloca entre los dos palpadores, el emisor E y el receptor R fig. 4.12 y la radiación atraviesa dicha zona.

Si en el recorrido de las ondas se presenta algún defecto, una parte de la energía se pierde (por reflexión o absorción) y el receptor R no recibe más que una fracción de la energía emitida.

b) El método por reflexión. Utiliza el rayo reflejado sobre la cara opuesta de la pieza o sobre el defecto. En este caso, la radiación emitida se dirige oblicuamente y la onda reflejada sigue las leyes de la reflexión de la radiación luminosa, igualdad entre los ángulos de incidencia y reflexión. Si sobre el trayecto de la radiación, se presenta un obstáculo (inclusiones, soldaduras; etc) fig. 4.13, la reflexión se hace en parte sobre estos obstáculos, y la radiación total reflejada, captada por el reflector R, estará compuesta por una fracción de las ondas reflejadas sobre la cara opuesta de la pieza E y otra fracción de las ondas reflejadas sobre el defecto.

Por tanto, el palpador R recibe dos trenes de ondas que se suman algebraicamente.

c) El método por reflexión múltiple. Se basa en el método precedente, pero la energía ultrasónica sufre varias reflexiones antes de llegar al receptor R. Si un defecto se encuen

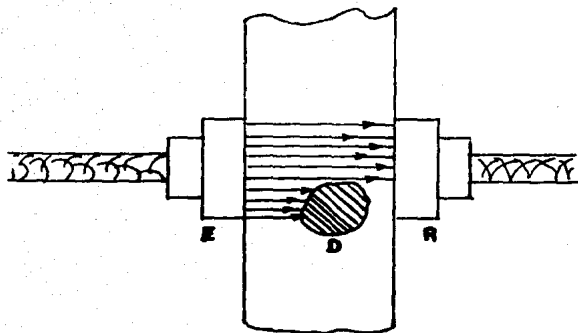


FIG 4.12 Método de control por transmisión.

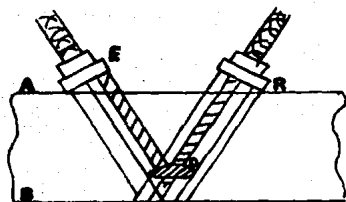


FIG 4.13 Método de control por reflexión simple.

tra en el trayecto, la energía es absorbida por reflexiones sucesivas sobre él, fig. 4.11 y el receptor R, recibe una -
 pequeñísima fracción de la energía emitida por E. En este -
 método muy poca energía se refleja sobre la cara opuesta y,
 además, los dos palpadores se encuentran al mismo lado de -
 la pieza.

Los aparatos industriales de control pueden clasificarse en dos grupos:

El primero está constituido por los aparatos de emisión continua en los que un receptor mide la variación de la energía después de atravesar la pieza. Generalmente, los aparatos que entran dentro de este grupo utilizan los métodos por transmisión o por reflexiones múltiples. En este último caso la -
 exploración se hace por aproximaciones sucesivas y no permite la localización del defecto.

En el segundo grupo de aparatos se utiliza una emisión intermitente que consiste en proveer unas pulsaciones sucesivas muy cortas y espaciadas de manera que el eco sea perceptible antes del envío de la siguiente pulsación.

El receptor es un tubo de rayos catódicos y las pulsaciones sucesivas se registran sobre una pantalla fluorescente del tubo. Si la velocidad de la pulsación es de, por ejemplo, 50 c/s, la persistencia visual de una imagen continúa -
 sobre la pantalla. Así, la pulsación emitida por E da lugar a un pequeño salto sobre la pantalla. La distancia A'D es -
 proporcional al trayecto recorrido por la onda, lo que permite la localización del defecto D por sus coordenadas, fig. 4.15

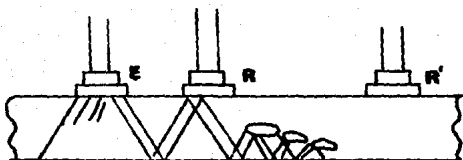


FIG 4.14

Método de control por reflexión múltiple.

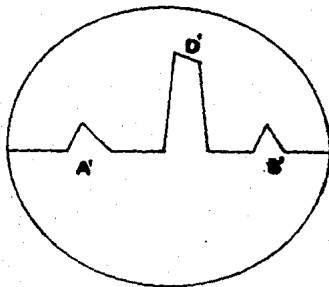


FIG 4.15

El defecto D es detectado sobre la pantalla del tubo catódico por el salto D'. Representando A' y B' las reflexiones sobre las caras A y B de la chapa (Fig. 4.13).

El método por reflexión tiene por tanto numerosas ventajas sobre el de transmisión, algunas de estas son:

- los defectos quedan mejor localizados en las tres direcciones, por la medida de las distancias $A'D'$ y $D'E'$ y por la amplitud de las señales,
- el número y las dimensiones de los defectos son más fáciles de definir,
- los resultados se ven menos afectados por el estado de la superficie de la pieza.

Como para los otros métodos de control, la sensibilidad por ultrasonidos está limitada por las dimensiones del defecto, por su forma y por su posición en la pieza. El método resulta más sensible cuanto que el defecto esté más próximo de la superficie de emisión.

Como para el método por rayos X, existen defectos que no pueden ser detectados, éste es el caso de las fisuras finas situadas paralelamente a la radiación. Por el contrario, los defectos tales como las inclusiones, soldaduras y las fisuras grandes son fácilmente detectables. Variando la posición del emisor tenemos la posibilidad de explorar por debajo distintos puntos de incidencia permitiendo así una mejor localización de los defectos.

Sin embargo, tenemos que insistir sobre el hecho de que el límite de perceptibilidad de los defectos está estrechamente ligado al estado de la superficie de las piezas a controlar.

CAPITULO 5

ENSAYO PRACTICO DE SOLDABILIDAD

INTRODUCCION.

El desarrollo del presente ensayo práctico de soldabilidad, ha sido motivado por los problemas presentados en las tuberías del sistema de agua de servicio nuclear (NSI) del reactor U-2, localizados en el proyecto Nucleoeléctrico Laguna Verde, Ver. (C.F.E.).

El material de dichas tuberías es una aleación de cupro-níquel (SE466-A7C6), siendo este material seleccionado por sus características y propiedades de resistencia a los agentes corrosivos, ya que el fluido que circulará por éstas, será agua de mar.

Los principales problemas presentados fueron: agrietamiento de la soldadura y fusión incompleta de la misma. Estos defectos estaban influenciados por la falta de control de los parámetros definidos en la especificación del procedimiento de soldadura utilizado, siendo estos datos establecidos por la normativa aplicable, como lo es el código A.S.N.E. (Código de calderas y recipientes a presión), ya que al haber realizado una serie de pruebas, se concluyó que dichos parámetros deberían ser controlados para que se cumpla la soldabilidad de la unión en este tipo de material.

Para el ensayo práctico descrito a continuación se utilizó una probeta de 10 plg de diámetro, con un espesor de pared de 0.265 plg, ya que este espesor queda comprendido dentro del rango de 0.0625 A 0.730 plg como lo establece el punto Q.451 de la sección IX del Código A.S.N.E.

Para proporcionar un soporte técnico aún más fiable a los resultados obtenidos por las pruebas de tensión y dobles quijado, se realizarán a la probeta en estudio, otros ensayos tales como;

- medición de durezas,
- películas radiográficas,
- ensayos metalográficos.

5.1 CONCEPTOS SOBRE LA ELABORACION DE LA ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (EFS).

La especificación de un procedimiento de soldadura es una descripción escrita de las variables que se van a emplear en algún proceso de soldadura, de modo que prevea directrices al soldador u operador de soldadura para que realicen soldaduras de producción.

Esta especificación deberá incluir las variables esenciales, no esenciales y suplementarias, así como cualquier detalle que sea importante en la realización de la soldadura. Las variables dependen del proceso de soldadura utilizado.

Las variables esenciales son aquellas que modifican el procedimiento de soldadura, así como las propiedades mecánicas de la unión.

Las variables no esenciales son aquellas que modifican el procedimiento de soldadura pero no afectan las propiedades de la unión.

Las variables esenciales suplementarias son aquellas que modifican el procedimiento de soldadura y que afectan la propiedad de resiliencia de la junta, ésta variable pasa a ser una variable esencial cuando en la sección del código aplicable sea mandatoria la prueba de impacto a la unión.

De acuerdo a todo lo expuesto anteriormente el procedimiento de soldadura deberá contener, pero sin estar limitado, a lo siguiente:

- 1.- Número de identificación del procedimiento, incluyendo número de revisiones y fecha.
- 2.- Número de identificación del reporte de cualificación que soporta al PS.
- 3.- Proceso de soldadura o combinación de procesos, indicando si son manuales, semiautomáticos o automáticos, así como si los electrodos son consumibles o no.
- 4.- Especificación de los materiales base a unir, indicando los números F que correspondan por código A.S.M.E Secc. IX.
- 5.- Espesor máximo y mínimo a calificar.
- 6.- Tipo de bisel incluyendo dimensiones y tolerancia.
- 7.- Utilización o no de anillo de respaldo con incerte consumible o no.
- 8.- Especificación del material de aporte según el código A.S.M.E Secc. II parte C, señalando lo siguiente:
 - a) Diámetro del hilo y/o electrodo.
 - b) Tipo de material del electrodo consumible.
 - c) Números F y A o composición química.
 - d) Composición del flux en soldadura automática por arco sumergido.
- 9.- Tipos de gases de protección y de purga, caudal utilizado, porcentaje de pureza de los mismos.
- 10.- Características de la corriente; corriente alterna, corriente continua y polaridad de la misma.
- 11.- Temperatura mínima de precalentamiento y si ha de mantenerse o no hasta el tratamiento térmico posterior a la

- soldadura, en el caso de que aplique.
- 12.- Temperatura mínima y máxima entre pasadas.
 - 13.- Tratamiento térmico postsoldadura.
 - 14.- Método de limpieza antes y después de la soldadura.

Con el fin de reducir el número de variables a considerar en un procedimiento de soldadura el código A.S.M.E secc. IX, agrupa los materiales base a unir asignándoles para ello un número P, atendiendo a características tales como composición química, soldabilidad y propiedades mecánicas.

De igual manera y con el propósito de agrupar los materiales de aporte en función de las características de soldabilidad, se asigna a cada especificación un número F que es tenido en cuenta en las variables de soldadura.

Los números A son la designación que se da, atendiendo a el análisis del metal de soldadura depositado en la unión.

5.1.1.- ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA
(TODOS LOS PARAMETROS SIGUIENTES HAN SIDO TOMADOS DEL-
CODIGO A.S.M.E SECC. IX)

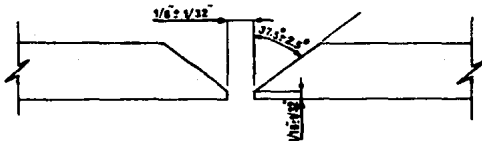
PROCESO DE SOLDADURA GTAW TIPO MANUAL

JUNTAS (QW-402) BISEL SIMPLE, PUEDE USARSE TAMBIEN

DISEÑO DE LA JUNTA BISEL SIMPLE CON RESPALDO

RESPALDO (SI) _____ (NO) X

DIBUJOS DE PRODUCCION, SIMBOLOS DE SOLDADURA O DESCRIPCION ESCRITA. DEBERAN
MOSTRAR LOS ARREGLOS GENERALES DE LAS PARTES A SER SOLDADAS, CUANDO SEA --
APLICABLE, PUEDEN SER ESPECIFICOS DE RAIZ Y DETALLES DE LA JUNTA.



METAL BASE (QW-403)

P-N° 34 GRUPO N° N/A AL P-N° 34 GRUPO N° N/A

ESPECIFICACION TIPO Y GRADO _____

A ESPECIFICACION TIPO Y GRADO _____

RANGO DE ESPESORES

METAL BASE: BISEL 1/16-0.730" FILETE TODOS

SOLDADURA DEPOSITADA

RANGO DEL DIAMETRO DE TUBERIA: BISEL TODOS FILETE TODOS

OTROS N/A

METALES DE APORTE (QW-404)

N°-F 34 OTROS ---

N°-A --- OTROS ---

N°. DE LA ESPECIFICACION (SFA) 5.7

N°. AWS (CLASE) ERCUNI

TAMAÑO DEL METAL DE APORTE 1/ 16.3/32.1/8"
 ELECTRICO-FLUIDO (CLASE) N/A
 MARCA REGISTRADA DEL ELECTRODO FLUIDO N/A
 INSERTO CONSUMIBLE N/A
 POSICIONES (QW-405)
 POSICION DE BISEL TODAS
 DIRECCION ARRIBA VERTICAL ABAJO _____
 POSICION DEL FILETE TODAS
 PRECALENTAMIENTO (QW-406)
 TEMP. DE PRECALENTAMIENTO MIN. 60°F (20°C)
 TEMP. DE INTERPASEO MAX. 600°F (315°C)
 MANTENIMIENTO DEL PRECALENTAMIENTO N/A
 TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA (QW-407)
 RANGO DE TEMPERATURA N/A
 RANGO DE TIEMPO N/A
 GAS (QW-408)
 GAS DE COBERTURA ARGON
 COMPOSICION % DE MEZCLA 99.99%
 VELOCIDAD DE FLUJO 25-30
 GAS DE RESPALDO ARGON 7-10 CFH
 COMPOSICION DEL GAS DE COBERTURA N/A
 CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)
 CORRIENTE: AC _____ DC X POLARIDAD DIRECTA AMP. VER ABAJO
 VOLTS VER TABLA 5.11
 TAMAÑO Y TIPO DEL ELECTRODO DE TUNGSTENO AWS A 5.12 CLASE
EWTH-2, 3/32" Y 1/8"
 MODO DE TRANSFERENCIA METALICA PARA GMAW N/A
 RANGO DE VELOCIDAD DE APORTE DEL ALAMBRE ELECTRODO N/A

TECNICA (QW-410)

CORDONEADO --- ZIGZAGUEADO ---TAMAÑO DEL ORIFICIO O DE LA BOQUILLA DE 4 A 10LIMPIEZA INICIAL Y DE INTERPASEO CON CEPILLO DE ALAMBRE, CIN-
CEL O ESMERIL CUANDO SEA NECESARIOMETODO DE RETRAJADO POSTERIOR ---OSCILACION N/ADISTANCIA DEL TUBO DE CONTACTO AL TRABAJO N/APASO SIMPLE O MULTIPLE (POR LADO) MULTIPLEELECTRODO SIMPLE O MULTIPLE SIMPLE VELOCIDAD N/A

T A B L A 5.1.1

PASADAS	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE		VOLTAJE
		CLASE	DIAM.	POLARI- DAD	AMPERAJE	
1	GTAW	ERCUNI	1/16"	CDPD	90-140	10-12
	"	"	3/32"	"	120-170	10-14
	"	"	1/8"	"	120-200	12-15

NOTA: LA PURGA SE HARA HASTA QUE EL CONTENIDO DE O₂ SEA $\leq 1\%$

5.2 DESARROLLO DE UNA PROBETA PARA ENSAYOS.

Para tal efecto se utilizó un tramo de tubería de 10pulg de diámetro, el material de dicha probeta es cupre-níquel SP-#66, A-706 con las siguientes características:

COMPOSICIÓN QUÍMICA.

CuMIN	Ni	FeMAX	Fe	ZnMAX	MnMAX	S	P
86.5%	9-11%	0.05%	1-1.8%	1%	1%	0.02	0.02

REQUERIMIENTOS MECÁNICOS

TEMPLE	RESISTENCIA MIN. A LA TENSION TSI (kgf/mm^2)	MINIMO ESFUERZO DE CEDENCIA TSI (kgf/mm^2)	DUREZA R.B MAX.
REVENIDO	38000 (26.7)	12000 (9.1)	45

Dicha probeta fue preparada para ser unida por soldadura considerando los parámetros que se especifican en el punto 5.1.1 - (procedimientos de soldadura).

Posteriormente al proceso de soldadura la probeta fue seccionada como se indica en la fig. 5.2.1, con el fin de obtener los especímenes necesarios para realizar las pruebas de tracción y dobles guiado requeridas por la sección IX del código A.S.M.E.

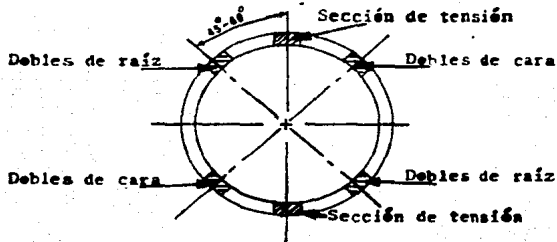
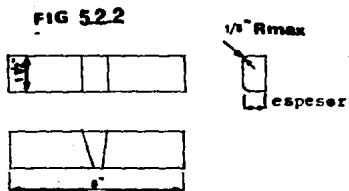
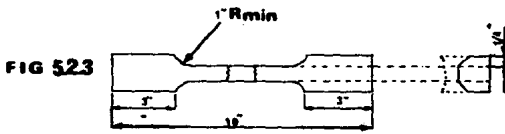


FIG 5.2.1

El espécimen de prueba para realizar el ensayo de dobles guías fue preparado como lo indica la fig. 5.2.2



Así como también el espécimen de prueba para realizar el ensayo de tracción fue preparado como lo indica la fig. 5.2.3



Posteriormente a todo esto fueron realizadas los ensayos mecánicos antes mencionados obteniéndose los resultados descritos en el punto 5.3.1 (Reporte de Cualificación del Procedimiento de Soldadura).

5.3 CONCRETOS SOBRE LA ELABORACION DEL REPORTE
DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA UTILIZADO (R.C.P)

El reporte de cualificación del procedimiento de soldadura debe incluir los datos reales y concretos relativos a la soldadura del espécimen de prueba utilizado para homologar el P.S. correspondiente, además a de incluir los resultados de las pruebas requeridas para efectuar dicha homologación.

El R.C.P. deberá contener al menos los siguientes puntos:

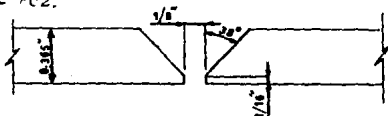
- 1.- Número de identificación del R.C.P. incluyendo la configuración del inspector que lo ha aceptado.
- 2.- Número de identificación del P.S. al que corresponde.
- 3.- Valores reales de los parámetros de soldadura utilizados en la realización del espécimen y que corresponden a las variables esenciales y esenciales suplementarias relativas al P.S. a homologar. No se admiten gamas de valores para cada variable esencial, ni deberán incluirse variables no esenciales.
- 4.- Pruebas realizadas señalando tipo, número de probetas, - resultados y aceptabilidad.
- 5.- Nombre o identificación del soldador que ha realizado la soldadura del espécimen de prueba.

5.3.1 REPORTE DE CUALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO

DE SOLDADURA UTILIZADO:

PROCESO DE SOLDADURA GTAW TIPO MANUAL

JUNTAS (QW - 402)



METALES BASE (Q1 - 403)

ESPECIFICACION SB-466 & SB-466TIPO C GRADO AL-706 AL-706F No. 34 a F No. 34ESPESES: 0.365" (CED 40)DIAMETRO 10"CTCS N/A

METALES DE APORTE (QW - 404)

ANALISIS DE METAL SOLDADO No. A N/ATAMANO DEL ELECTRODO 1/8" DE DIAM.No. F DEL METAL DE APORTE 34ESPECIFICACION S F A 5.7CLASIFICACION AWS ERC111CTRAS N/A

POSICION (QW - 405)

POSICION DEL BISEL 5GPROGRESION DE LA SOLDADURA ASCENDENTECTCS N/A

PRECALENTAMIENTO (QW - 406)

TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO 60°F MIN. (20°C)TEMPERATURA DE INTERFAS 600°F MAX. (316°C)CTCS N/A

TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA (QW-407)

TEMPERATURA _____ N/A _____

TIEMPO _____ N/A _____

CTRS _____ N/A _____

GAS (QW-408)

TIPO DE GAS O GASES _____ ARGON _____

COMPOSICION DE MEZCLA DE GASES _____ 99.99% _____

CTRS _____ FLUJO: ANTORCHA 25-30 CFH _____

_____ PURGA: DE RESP. 7-10 CFH _____

CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)

CORRIENTE _____ CONTINUA _____

POLARIDAD _____ DIRECTA _____

AMPS. _____ 1/8-180 _____ VOLTS _____ 1/8-10 _____

CTRS _____

TECNICA (QW-410)

VELOCIDAD DE AVANCE _____ N/A _____

CORRECCION (DIRECTA O BALANCEADO) _____ AMBS _____

OSCILACION _____ MAX. 3 VECES EL DIAMETRO _____

PASO SIMPLE O MULTIPLE (POR LADO) _____ AMBS _____

ELECTRICO (SIMPLE O MULTIPLE) _____ SIMPLE _____

CTRS _____ CEPILLO DE ACERO INOXIDABLE _____

Q W 483

PRUEBAS DE TRACCION (QW -150)

ESPECIMEN No.	ANCHO (PLG)	ESPESOR (PLG)	AREA (PLG) ²	CARGA TOTAL (L.b)	ULTIMA RESFUERZO (PSI)
T1	0.7519	0.2767	0.2081	9567.87	45972.19
T2	0.7677	0.2744	0.2106	9104.91	43219.21

PRUEBAS DE DOBLEZ GUIADO (QW-160)

TIPO Y No. ESPECIMEN	RESULTADO
DC-T1 DOBLEZ DE CARA	ACEPTABLE
DR-T2 DOBLEZ DE RAIZ	ACEPTABLE
DC-T3 DOBLEZ DE CARA	ACEPTABLE
DR-T4 DOBLEZ DE RAIZ	ACEPTABLE

ANEXOS

REPORTE DE INSPECCION
MEDIANTE ENSAYOS METALOGRAFICOS

MATERIAL DE LA PROBETA:

CUPRONIQUEL SB-466: A-706
(A. S. M. E. SECC II: PARTE B)

MATERIAL DE APORTE:

QW-432.3 N° F 34

ESPECIFICACION A.S.M.E. N° SFA-5.7

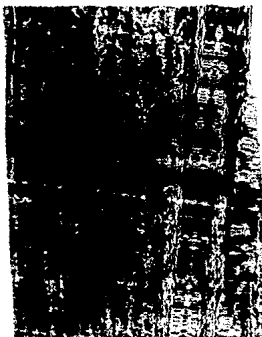
CLASIFICACION A.W.S. N° ER CUNI

REACTIVO DE ATAQUE:

$\text{NH}_4\text{OH} + \text{H}_2\text{O}_2$ Y FeCl_3 (EN FORMA ALTERNADA)

META AL B A S E

Esta constituido por ~~granos~~ de solución sólida de níquel en cobre, denominada alfa, que ~~presenta~~ maclas en su interior, observandose además la presencia de ~~estrías~~ estrías (líneas paralelas al eje longitudinal del tubo), las ~~cuales~~ se deben a una segregación de la ~~aleación~~ (efecto "coring") del lingote utilizado para la fabricación del tubo.



X200



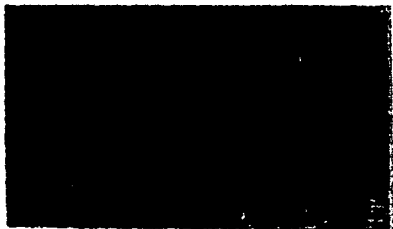
X500

S O L D A D U R A

La microestructura esta constituida por dendritas de regular tamaño de solución sólida alfa, mostrando segregación (efecto "coring") - entre los brazos dendríticos.



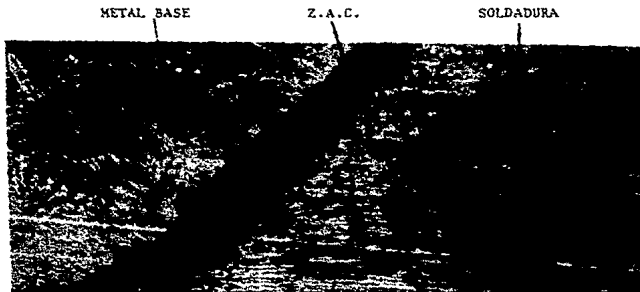
X100



X200

ZONA AFECTADA POR EL CALOR

En el interfase de soldadura (Z.A.C; línea de fusión) se observan dendritas de tamaño muy fino. Después de esta zona, se tienen granos de solución alfa, cuyo tamaño de grano disminuye conforme nos acercamos al metal base hasta adquirir el tamaño que presenta la microestructura del material.



X50

Detalle de grieta interdendrítica detectada en la línea de fusión (interfase soldadura - Z.A.C) hacia la superficie interna del tubo.

(Reactivo de ataque: $\text{NH}_4\text{OH} + \text{H}_2\text{O}_2$ y FeCl_3 ; en forma alternada).



X50



X200

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS
DE DUREZA

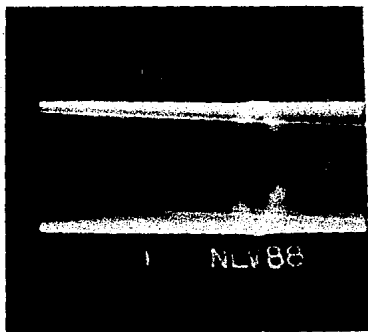
METAL BASE: 76 HRF PROM (34 HRB)
Z.A.C. : 74 HRF PROM (30 HRB)
SOLDADURA: 79 HRF PROM (39 HRB)

DEFINICION DE TERMINOS:

MACLA: Dos porciones de un cristal con una relación cristalográfica definida; una puede considerarse como el padre y la otra como la macla (o gemelo). La orientación de la macla es una imagen especular de la orientación del padre respecto a un "plano de macla" o una orientación que puede derivarse al rotar la porción de macla respecto a un "eje de macla".

EFFECTO "CORING": La segregación intracristalina o segregación dendrítica es el nombre que se le da a la formación de cristales no homogéneos, como resultado de la solidificación rápida. Los cristales producidos en esa forma se conocen como segregados, el enfriamiento en equilibrio evita la segregación y la formación de cristales segregados. Puesto que en la mayoría de las piezas de fundición no se producen, normalmente condiciones de equilibrio y las estructuras segregadas son más comunes que las homogéneas.

ENSAYO
RADIOGRAFICO



C O N C L U S I O N

Dados los resultados obtenidos al haber ejecutado las pruebas tanto destructivas como no destructivas al especimen de prueba considerado en éste trabajo, es de observarse la importancia que tiene la elaboración de un procedimiento de soldadura (mencionados en 5.1 y 5.1.1), en el cual se nos definen las variables más importantes a considerar en la ejecución de un determinado proceso de soldadura.

Cabe hacer mención que dichas variables están fundamentadas en una normativa estructurada y bien definida como lo es en este caso el código A.S.M.E.

Por lo antes expuesto, así como el haber llevado un seguimiento ordenado de los parámetros establecidos por la sección IX del código A.S.M.E, - en lo que a soldaduras de cobre-níquel se refiere, y al realizar una comparación de los resultados obtenidos con los datos especificados por dicha normativa, se concluye que la soldabilidad de tubería de cobre-níquel (SP-#66, A-706) para éste caso de estudio, satisface los requerimientos de soldabilidad definidos al inicio de éste trabajo.

B I B L I O G R A F I A .

- 1.- MATERIALES DE INGENIERIA Y SUS APLICACIONES.
RICHARD A. FLINN; PAUL K. TROJAN.
Mc. GRAW-HILL ED. 1979.
- 2.- INTRODUCCION A LA METALURGIA FISICA.
SIDNEY H. AVNER.
Mc. GRAW-HILL 2^a ED.
- 3.- LAS SOLDADURAS TECNICA CONTROL.
D. SIFERIAN.
U.R.M.C. S.A. ED. 1977.
- 4.- DEFECTOS Y ROTURAS EN RECIPIENTES A PRESION Y TUBERIAS.
U.R.M.C. S.A.
- 5.- SOLDADURA APLICACIONES Y PRACTICA.
HENRY HORWITZ.
REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERIA. S.A.
- 6.- CODIGO A.S.M.E. (MATERIALES DE APORTE).
SECCION II; PARTE C; ED. 1977
- 7.- CODIGO A.S.M.E. (MATERIALES NO FERROSOS).
SECCION II; PARTE E; ED. 1977
- 8.- CODIGO A.S.M.E. (PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS).
SECCION V ED. 1977
- 9.- CODIGO A.S.M.E. (CALIFICACION DE SOLDADURA)
SECCION IX ED. 1977
- 10.- CODIGO A.S.S. D.1.1 ED. 1975
- 11.- CURSO DE SOLDADURA AL ARCO PAJO GAS MEDIANTE ELECTRODO
NO CONSUMIBLE DE TUNGSTENO.
COMPAÑIA DE INSPECCION MEXICANA S.A. 1986.