

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA



TEMA : ESTUDIO DEL PROCESO DE SOLDADURA CON ARCO DE
TUNGSTENO CON GAS INERTE (T.I.G.) EN ACEROS INOXIDABLES
DEL TIPO 304 Y 316 L.

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERO METALURGISTA

CACERES LINARES, LUIS CESAR

LIMA - PERU

1997

INDICE

TESIS DE GRADO.

ESTUDIO DEL PROCESO DE SOLDADURA CON ARCO DE TUNGSTENO CON GAS INERTE (TIG) EN ACEROS INOXIDABLES DEL TIPO 304 Y 316L.

I.- SUMARIO.

II.- ANTECEDENTES.

- 2.1 Antecedentes de la soldadura en Acero Inoxidables austeníticos AISI 304 y AISI 316 L.
- 2.2 La necesidad tecnológica en nuestra industria nacional.
- 2.3 Justificación del trabajo como tesis de grado

III.- SELECCION DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS Y FERRITICOS.

- 3.1 Diagrama de constitución.
- 3.2 Los aceros inoxidable Austeníticos.
 - 3.2.1 Metalurgia de la soldadura.
 - 3.2.2 Consideraciones Básicas.
 - 3.2.3 Cuidados del metal base de los Aceros Inox. Austeníticos.
 - 3.2.4 Soldabilidad.
- 3.3 Los aceros Inoxidable Ferríticos.
 - 3.3.1 Clasificación de los aceros inoxidable Ferríticos.
 - 3.3.2 Soldabilidad de los aceros inoxidable Ferríticos.
 - 3.3.3 Proceso de soldadura por arco de Tungsteno para los Aceros Inox. Ferríticos.
 - 3.3.4 Recocido para los aceros inoxidable Ferríticos.
 - 3.3.5 Fisuramiento o agrietamiento en caliente.
- 3.4 Los aceros Inoxidable Martensíticos

- 3.4.1 Ing. para el uso de Aceros Inoxidables Martensíticos en las condiciones soldadas.
- 3.5 Los aceros Inoxidables Endurecidos por precipitación PH
 - 3.5.1 Ing. para el uso de Aceros Inoxidables Endurecidos por precipitación (PH) en las condiciones de soldadura.
 - 3.5.2 Ingeniería para el uso en las condiciones de tratados térmicamente.
- 3.6 Los Aceros Inoxidables Duplex Ferrítico - Austenítico.
 - 3.6.1 Ingeniería para el uso de Aceros Inoxidables Dúplex Ferrítico - Austenítico en las condiciones de soldadura.

IV.- TECNOLOGIA DE LA SOLDADURA POR ARCO ELECTRICO.

- 4.1 Clases de corriente eléctrica y polaridad.
- 4.2 El arco eléctrico.
- 4.3 Soldadura de arco metálico protegido.
- 4.4 Soldadura de arco metálico a gas (MIG/MAG).
 - 4.4.1 Características del proceso.
- 4.5 Soldadura con arco de Tungsteno con gas inerte.
- 4.6 Soldadura de arco sumergido.
- 4.7 Ciclo de servicio.
- 4.8 Tensión de vacío.

V.- DISEÑO TECNOLOGICO DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA TIG y SOLDADURA POR PLASMA PAW.

- 5.1 Aplicación
- 5.2 Ventajas y limitaciones.
- 5.3 Suministro de energía.
- 5.4 Construcción de la pistola.

- 5.5 Electrodo no consumible.
- 5.6 Oscilación del arco.
- 5.7 Parámetros del proceso.
 - 5.7.1 Fuente de poder.
 - 5.7.2 Corriente de pulso vs. Corriente pulsada.
- 5.8 Limpieza.
- 5.9 Metales de relleno.
 - 5.9.1 Varillas
 - 5.9.1.1. Alambre frío.
 - 5.9.1.2. Alambre caliente.
 - 5.9.2 Insertos de soldadura.
- 5.10 Variaciones del proceso TIG.
 - 5.10.1 Soldadura manual.
 - 5.10.2 Soldadura mecanizada.
 - 5.10.3 Soldadura automática.
- 5.11 Introducción a la soldadura por Arco Plasma PAW.

VI.- ATMOSFERA PROTECTORA PARA LA SOLDADURA TIG.

- 6.1 Propiedades básicas de un gas de protección.
 - 6.1.1 Potencial de ionización.
 - 6.1.2 Conductividad térmica.
 - 6.1.3 Reactividad/ potencial de oxidación.
 - 6.1.4 Pureza del gas.
 - 6.1.5 Densidad del gas Inerte.
- 6.2 Características de los componentes de una mezcla de gas de protección.
 - 6.2.1 Argón.
 - 6.2.2. Helio.
 - 6.2.3. Argón - Helio.
 - 6.2.4. Argón - Hidrógeno

6.2.5 Fragilización por Hidrógeno para los Aceros
Inoxidable Ferríticos.

6.2.6 Velocidad de flujo.

6.3. Selección de un gas de protección para PAW.

6.3.1 PAW de corriente baja < 100 Amp.

6.3.2 PAW de corriente Alta > 100 Amp.

VII.- PASIVACION DE LOS ACEROS INOXIDABLES EN EL PROCESO TIG

7.1 Resistencia a la corrosión.

7.1.2 Oxidación de la superficie.

7.1.3 Colores del revenido.

7.1.4. Tratamiento Post-Mecánico

7.1.5 Construcción y fabricación que permite el
decapado

7.2. Tratamiento post químico o decapado

7.3 Inmersión o Roció.

7.3.1 decapado por pastas.

7.3.2 El arenado puede sustituir al decapado.

7.4 Pasivación.

7.5 Protección del trabajo y del medio ambiente.

7.6 Plasma y gases de protección para PAW.

7.6.1 PAW de corriente baja < 100 Amp.

7.6.2 PAW de corriente alta \geq de 100 Amp

VIII.- FORMULACION MATEMATICA DEL ANCHO DE LA ZAC EN LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS.

8.1 Formulación matemática

8.2 Formulación matemática de la fuente de calor

8.3 Soluciones empíricas de Ingeniería y correlación para

una plancha gruesa, delgada y de un espesor finito

8.4 Velocidad de enfriamiento.

8.5 Programa

IX.- DEFECTOS Y FALLAS EN LOS PRODUCTOS DEL PROCESO TIG.

9.1 Porosidad.

9.2 Inclusiones no metálicas.

9.3 Agrietamiento del metal de soldadura.

9.4 Agrietamiento del metal base.

9.5 Penetración incompleta.

9.6 Socavamiento.

9.7 Inclusiones de Tungsteno.

X.- CONTROL DEL MEDIO AMBIENTE, SEGURIDAD E HIGIENE DURANTE EL PROCESO (TIG).

10.1 Manipulación Segura de equipos.

10.1.1 Precauciones generales de seguridad.

10.2 Conexión de reguladores (Procedimiento de seguridad CGA).

10.3 Seguridad en el corte y soldadura con arco.

10.4 Protección de ojos y cara.

10.4.1 Tipo de gafas.

10.4.2 Uso múltiple de equipo de personal.

10.5 Pintura en negro de las naves de soldadura.

10.6 Control del medio ambiente é impacto ambiental de la soldadura (anexo A,D,E,F y G, TLVs)

10.7 Dispositivos individuales de ventilación o sistema de escape.

10.7.1 Mantenimiento.

10.8 Protección contra el choque térmico.

10.9 Calificación de Soldadores TIG. (según la Norma DIN 8560 - 8561 y DIN-EN 287-1/ 287 -2).

XI.- ENSAYOS NO-DESTRUCTIVOS, DESTRUCTIVOS Y DE CORROSION POSTERIOR AL PROCESO TIG.

11.1 Pruebas de Corrosión Intergranular.

11.2 Pruebas de Polarización catódica.

11.3 Prueba de Metalografía.

11.4 Pruebas de Resistencia a la tracción.

11.5 Pruebas de Dureza.

11.6 Análisis Químico.

11.7 Radiografía Industrial.

(Todas las pruebas se realizaran posterior al haber realizado el proceso TIG. y los ensayos de corrosión).

XII.- CALCULO DE LOS COSTOS DE LOS CORDONES DE SOLDADURA EMPLEANDO EL PROCESO TIG.

12.1 Factores técnicos de los procesos de soldadura.

12.2 Calculo comparativo.

12.3 Tablas para determinar los costos para soldadura.

12.4 Diseño de experimentos.

12.5 Datos comparativos.

12.6 Evaluación económica de la corrosión de la soldadura.

XIII.- VENTAJAS DEL PROCESO TIG

13.1 Tecnologicamente.

13.1 Económicamente

XIV.- CONCLUSIONES

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA.

CAPITULO I

SUMARIO

CAPITULO I

1. SUMARIO.

Los aceros inoxidable Austeníticos tienen muchas aplicaciones técnicas y su uso más frecuente se encuentra en presencia de agentes agresivos de alto grado. En general, todas estas aplicaciones requiere diversas formas de fabricación de componentes y una de ellas la más importante es la SOLDADURA, las técnicas más apropiadas y recomendadas para soldar los aceros inoxidable es el uso del Proceso TIG, con arco protegido con gas inerte, en reemplazo del arco eléctrico con electrodo revestido y/o MIG & MAG. Empleando para ello, alambres desnudos TIG FIL.

El objetivo de la tesis: " ESTUDIO DEL PROCESO DE SOLDADURA CON ARCO DE TUNGSTENO Y GAS INERTE (T.I.G) EN ACEROS INOXIDABLES DEL TIPO 304 Y 316 L ", es dar a conocer este proceso poco difundido como una alternativa para la industria nacional, de modo que puede ser utilizado en la fabricación de Maquinarias y Equipos; así también en servicios de reparación y mantenimiento, etc. ofreciendo insuperables ventajas frente a otros procesos de soldadura SMAW, etc. de mayor uso en nuestro medio con la implicancia de obtener una mayor zona afectada por el calor ZAC en los cordones de soldadura.

Los aceros inoxidable del tipo austeníticos AISI 304/316L muy usados en las industrias Farmacéutica, Química, Nuclear, etc. y así como en la fabricación y/o reparación de cabezales de bomba, condensadores, depuradores,

deslingotadores, vástagos de válvula.

En muchos de los casos el uso del proceso TIG representará una alternativa, ya que en la mayoría de los usos arriba descrito, el costo por soldadura empleando SMAW, con un rendimiento del electrodo del 57 % , frente al proceso TIG con un rendimiento del 98 del material depositado, logrando reducir los costos de operación entre 20 a 37.5 % frente el uso de un proceso SMAW.

El presente trabajo de tesis, se desarrollo con la ayuda de la firma OERLIKON para estudiar los aspectos metalúrgicos de la soldadura y la Corrosión en los aceros inoxidable Austeníticos soldados con alambres INOX TIG FIL. fabricados y distribuidos por esta empresa, empleados para las aplicaciones en ingeniería en condiciones de servicio, con ciertas ventajas y desventajas técnicas así mismo, para evaluar los costos (US/Metro Linial) del cordón depositado con este proceso frente a otros procesos muy usados en nuestro medio, describe la evolución de la soldadura , la minimización de la zona afectada por el calor, sus propiedades mecánicas y su resistencia a la corrosión durante el servicio.

CAPITULO II

ANTECEDENTES

CAPITULO II

ANTECEDENTES

2.1. ANTECEDENTES DEL PROCESO TIG EN LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS AISI 304 Y AISI 316 L.

En el campo de los Aceros, hoy en día, están apareciendo nuevos materiales, en reemplazo de los tradicionales aceros, con ellos se están acareando técnicas propias y específicas en su utilización y aplicación.

En lo que se refiere a los aceros inoxidable, no podemos ignorar que estos materiales han sido hasta ahora y lo seguirán siendo en el futuro, un insumo básico para la industria Farmacéutica, Química, Petroquímica, Nuclear, etc. y así como en la fabricación y/o reparación de cabezales de bomba, condensadores, depuradores, deslingotadores, vástagos de válvula, etc. también en el sector de la energía los aceros inoxidable, son usados como material estructural en componentes críticos empleados en centrales nucleares. ref 55.

Existen en el sector industrial dos grupos de aceros inoxidable que en los próximos años se espera un incremento importante en su utilización; como está ocurriendo en los países desarrollados y de la región, ref 1. ellos son:

1.- Los Aceros Dúplex.

Se caracterizan por un contenido alto de Cromo y bajo contenido de Níquel y la presencia de Nitrógeno, en servicio presentan buena resistencia mecánica y una excelente resistencia a la corrosión por picado y a la corrosión bajo tensión.

Mientras que en estos mercados el proceso de soldadura con electrodo revestido de arco eléctrico manual SMAW es responsable de menos de la mitad del material depositado por soldadura, en la Argentina dicho proceso de soldadura SMAW representa el 80 % del material depositado. y en el Perú sigue siendo el proceso SMAW de mayor uso por la industria nacional con un 93% del material depositado. tabla No 2.

Si bien es cierto que se está incrementando el empleo de estos nuevos procesos de soldadura, su contribución continuará estando limitada en aplicaciones particulares sin llegar a tener una utilización masiva en la región y en especial en nuestro país debido esencialmente a su poca difusión en nuestro medio, mas importante será seguramente el impacto que ocurrirá sobre la industria de la soldadura con la aparición de las nuevas máquinas inversores, manual o semiautomático, ref 4. este tipo de máquinas permiten lograr un incremento en la productividad global, debido a su excepcional estabilidad de arco y su menor consumo de energía en relación a los equipos convencionales, sumado a su reducido peso y volumen que las hace más aptas para todo tipo de tareas. De hecho una de las posibilidades que tendrá la industria con el uso de este tipo de inversores es la de controlar la emisión de humos a través de la modulación de la onda de corriente, determinante para el control de los humos emitidos en un proceso de soldadura bajo protección gaseosa, ref 5.

Durante los últimos años ha ocurrido una simbiosis entre los sistemas de control automático y la computadora. Esta revolución también ha comenzado a actuar en la tecnología de la Soldadura. si bien todavía a nivel experimental, existen hoy día maquinas de soldar inteligentes, capaces de detectar la posición de la junta y seguirla, ajustando todos los parámetros de soldadura (intensidad de corriente, tensión del arco, velocidad de avance, etc.), manteniendo los valores prefijados de penetración, ancho de cordón y altura de la sobre elevación, ref 6. con un tipo de maquina que es sin duda un simple Robot de soldadura, actualmente se encuentra sometido a pruebas de producción continua como ocurre en los países industrializados, lo que nos sugiere que la nueva dirección que tome el futuro de la soldadura, al que no podremos estar ajenos a ella.

2.3 JUSTIFICACION DEL TRABAJO COMO TESIS DE GRADO.

Un análisis de la situación actual en el campo de la soldadura en la industria en América latina y en especial en México, nos permite concluir que los cambios más importantes a los que asistiremos en los próximos años se darán en el campo de la productividad y calidad. Esto es sin duda la consecuencia directa de la apertura de los mercados y del incremento del comercio internacional que obligará a la industria nacional a alcanzar niveles de competitividad acordes con los requerimientos del momento. La adopción de las norma ISO 9000 por parte de la empresas para configurar sus sistemas de garantía de calidad será cada vez mayor y la

adopción de estas normas no garantiza un incremento de la productividad en las empresas pero implica elementos que en última instancia conducirán a tales resultados. Entre estos elementos se destaca en primer lugar la necesidad de contar en todos los niveles con un personal calificado en el uso correcto del Proceso TIG y otros procesos de soldadura, en ese sentido países como Brasil, Argentina y Chile, que en los últimos años, les está permitiendo desarrollar en relativamente poco tiempo, su industria empleando los procesos Semiautomático y Automático en la construcción de equipos y maquinarias.

Demostraré que la elección del uso de un proceso TIG frente a un proceso SMAW de uso clásico en nuestro medio, les permitirá obtener cordones de buena calidad, desde el inicio del proceso de soldeo en la raíz hasta el final del cordón mismo reduciendo las fallas a que se está acostumbrado obtener cuando se usa un proceso SMAW y reducir los costos de operación, permitiendo a nuestra industria participar con una ventaja de competitividad igual o mejor frente los otros países del área, por lo tanto este trabajo de Tesis que tratará será el ESTUDIO DEL PROCESO DE SOLDADURA CON ARCO DE TUNGSTENO Y GAS INERTE (T.I.G) EN ACEROS INOXIDABLES DEL TIPO 304 Y 316 L.

El uso del Proceso TIG no solo se puede limitar a los aceros Inoxidables también se emplea para soldar Aluminio y sus aleaciones, Cobre y sus aleaciones, Aleaciones Especiales, etc.

CAPITULO III

SELECCION DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS Y FERRITICOS

CAPITULO III

SELECCION DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS Y FERRITICOS

Los aceros inoxidables están basados en los sistemas: Fe - Cr, Fe - Cr - C y Fe - Cr - Ni, pero pueden contener un cierto número de aleantes como Mn, Si, Mo, Nb, Ti, y Nitrógeno, Para lo cual se desarrollo el concepto de (Cr_{equiv} y Ni_{equiv}) para normalizar el efecto de estas adiciones que alteran su microestructura y/o propiedades, recurriremos al uso del diagrama de shaeffler ú otros tipos de diagrama, para la selección de un buen metal de aporte.

La naturaleza "INOXIDABLE" de estos aceros surge de la adición del cromo en cantidades mayores de 12 % en peso, este nivel de Cromo asegura que se forme una capa continua de óxido rico en cromo sobre la superficie; en la practica, sin embargo los aceros inoxidables puede contener 9 % de Cr (DIN X45CrSi9) en peso y estar sujeto a la corrosión general a temperatura ambiente, pocos aceros inoxidables contienen más del 30 % de Cr (DIN X2CrNiMoN29 22). en peso.

Este tipo de materiales son diseñados para resistir a la corrosión y oxidación que los aceros ordinarios, el cromo contribuye a esto; sin embargo se mejora cuando se incrementa la cantidad de cromo, el óxido superficial cambia de FeO/Fe₃O₄/Fe₂O₃ en un Cr₂O₃ más estable, la presencia de otros elementos como el Ti, Al, Mn y Si. en

los aceros inoxidable modificara la naturaleza del óxido en su superficie. Los aceros inoxidable se dividen en 5 grupos:

- 1.- Aceros Inoxidables Austeníticos.
- 2.- Aceros Inoxidables Ferríticos.
- 3.- Aceros Inoxidables Martensíticos.
- 4.- Aceros Inoxidables Endurecido por Precipitación.
- 5.- Aceros Inoxidables Dúplex.

La selección correcta de un buen metal de aporte dependerá:

- 1.- Condiciones de servicio:
Temperatura, Tensiones y Ambiente.
- 2.- Tratamiento térmico (especialmente para los aceros inoxidable martensíticos y endurecidos por precipitación).
- 3.- Características del proceso soldadura fuerte (incluyendo el control del ciclo térmico).
- 4.- Contacto y comportamiento de extensión.
- 5.- Precipitación de segunda fase (carburos, fase U).
- 6.- Costos.

En el presente Capítulo consideraremos la selección del consumible y el desarrollo del procedimiento para la soldadura de los aceros inoxidable austeníticos y ferríticos.

Los metales bases de acero inoxidable y los metales de aporte de soldadura usados, se eligen por su resistencia a

la corrosión y de acuerdo al servicio al que estará expuesto. El objetivo de una buena selección del metal de aporte deberá ser; que la mezcla de los elementos aleantes específicos originado en el posillo de soldadura, tales como Cromo, Níquel y Molibdeno sean igual o superior a la composición del metal base, como primer paso.

El segundo paso será el evitar presencia de las rajaduras, ello permitirá que el tema central sea la selección del metal de aporte y la elección del proceso de soldadura más apropiado tomando en cuenta la microestructura de la soldadura y los efectos de dilución.

Los ingenieros de soldadura que en la mayoría de los casos son los responsables de la selección del metal de aporte y el desarrollo de los procedimientos para los diferentes procesos de soldaduras durante su servicio, serán los únicos responsables.

3.1 DIAGRAMA DE CONSTITUCION.

Shaeffler publicó el diagrama fig. N° 1. en 1949, este diagrama propuso una relación entre los elementos aleantes que promueven la formación de ferrita (conocido como Cromo equiv.) y los elementos que promueven la formación de Austenita (conocido como Níquel equiv.).

Para usar este diagrama, primero se calcula los equivalentes de Cr y Ni de la composición de una mezcla entre el material de aporte y material base, luego de esto se plotea como coordenadas en el diagrama de Shaeffler.

Esto indicará una aproximación de la microestructura de la soldadura presente.

Según datos proporcionados por OERLIKON y bibliografías, ref 3. dicho diagrama se ajusta razonablemente para los depósitos de soldadura de acero inoxidable convencional de la serie 300 para los electrodos revestidos y alambres desnudos.

Sin embargo, es de uso limitado cuando se emplean composiciones convencionales y cuando se presenta un alto nivel de nitrógeno, para este caso nosotros emplearemos el Diagrama de F.B. Lake.

Tanto como W.T De Long en 1974 (ANSI/AWS A4.2) y F.B. Lake en 1992 se considero el efecto del nitrógeno en promover la Austenita, para usar este diagrama los equivalentes de Ni y Cr, se calcula tomando en cuenta el análisis de la soldadura. Si no esta disponible el análisis de nitrógeno del cordón de soldadura podremos asumir un valor de 0.06 % para el proceso TIG y Electrodo revestido y un valor de 0.08 % para los metales soldados por el proceso MIG, ref 4

Para las aleaciones 308, 308L y 347 de electrodo revestido el numero de ferrita son similares a los valores dados por el diagrama de shaeffler, pero las familias de aleaciones 309, 316 y 317 tienen número de ferrita que son de dos a cuatro veces más altos. Generalmente el diagrama de Long y Lake se correlaciona mejor con la soldadura TIG y MIG al considerar la adsorción del nitrógeno.

EL diagrama W.T. De Long 1974. cuando se publicó por primera vez fig No 2, se convirtió parte del código de Tanques de presión y ebullición de la ASME, pero se descubrió que estimaba por defecto el contenido de ferrita de la soldadura con alto contenido de Manganeso y sobre estimaba el número ferrita (NF) en las soldadura altamente aleadas tales como el 309 por lo tanto el empleo del diagrama W.T. De Long no es recomendado, ref 5

EL Colorado School of Mines y la US. National Institute of Standards and Technology (NIST) 1992 ref 6. rectificaron los errores fallados por Long y F.B. Lake propone el siguiente diagrama Fig N° 3, permitiendo al Níquel equivalente incluir un coeficiente para el cobre. estas modificaciones y una extensión de los ejes de Ni equiv. y Cr equiv. se incorpore en la construcción; permitiendo la estimación gráfica del contenido de ferrita de la soldadura para muchos metales bases y metales de aporte, en vez del uso del diagrama de Shaeffler.

Aunque El diagrama de Lake WRC 1992, ref 6. es más exacto en predecir el contenido de ferrita para muchas soldaduras, el diagrama de Shaeffler aún retiene algo de utilidad porque puede dar predicciones razonablemente precisas en términos de Martensita en las composiciones pobres de acero inoxidable.

El diagrama Lake, WRC. 1992 no incluye al Manganeso, dado que NO tiene efecto en la transformación a altas temperaturas de ferrita a Austenita durante el

enfriamiento. Por lo que no figura en eje del Níquel equivalente del diagrama de WRC 1992. Sin embargo el Manganeso tiene un efecto significativo en la transformación a baja temperatura, de Austenita a martensita durante el enfriamiento, ref 7. tiende a estabilizar la austenita a bajas temperaturas. Sin el efecto del Manganeso, no es posible poner un límite para la Martensita en el diagrama WRC 1992.

Si el deposito de soldadura es austeníticos, entonces un número de ferrita (NF) de 4 ó 5 como mínimo será suficiente para prevenir la rajaduras en caliente, ref 8. Además, un deposito que primeramente es austeníticos no se rajara en frío. Estas dos consideraciones influyen en la selección del metal de aporte y el desarrollo del proceso de soldadura. Es apropiado considerar que la ferrita que se encuentra a temperatura ambiente después de la solidificación es solo una indicación indirecta del modo de solidificación ref 9.

Nota: Según esta teoría: Si la soldadura solidifica como ferrita al inicio, con presencia de austenita solo en la última etapa de solidificación, entonces la soldadura tendrá resistencia a la rajadura. Sin embargo, si la soldadura solidificar al inicio como austenita, con la presencia de ferrita solo en ultima etapa de solidificación, entonces la soldadura corre el riesgo de rajarse.

La línea de división entre las composiciones que solidifica al inicio como austenita y las composiciones que solidifica al inicio como ferrita es aproximada por la línea punteada entre los componentes señalados con (AF) (solidificación de autenita primaria) y con (FA)

(solidificación de ferrita primaria) en las figuras N° 4. Esta línea no es paralela a la línea de isoferrita.

3.2 ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS

3.2.1 Metallurgia Básica

Los aceros inoxidable austeníticos cubren un amplio espectro de composiciones. Muchos solidifican parcialmente como ferrita, que se transforma bajo enfriamiento o trabajando en caliente como austenita a altas temperaturas (superior a 1000 °C) por una acción controlada por difusión.

La austenita es estable a temperatura ambiente, para comprender la soldabilidad en los aceros austeníticos, primero es necesario comprender su solidificación y comportamiento de transformación a altas temperaturas. Las composiciones de los aceros inoxidable austeníticos están basados en un balance entre los elementos que promueve la formación de ferrita y aquellos que promueve la formación de la austenita:

- 1.- Los elementos que favorece la formación de la ferrita son el Molibdeno, Niobio, Titanio, Aluminio, Tungsteno y Vanadio y el elemento ferritizante es el Cromo.

- 2.- Los elementos que promueven la transformación de ferrita a austenita a altas temperaturas serán el Carbono, Nitrógeno y cobre y el elemento austenitizante será el Níquel.

3.- El Manganeso no parece promover la transformación de ferrita a austenita a altas temperaturas, preferiblemente tiende a estabilizar la austenita con respecto a la transformación a δ Martensita a bajas temperaturas. También, el Manganeso promueve la solubilidad del nitrógeno en el acero (con el Cromo), haciendo posible una familia de bajo contenido de Níquel de los aceros austeníticos con alto contenido de Manganeso y Nitrógeno.

Se puede comprender la solidificación y el comportamiento de transformación a altas temperaturas en los aceros inoxidables austeníticos, examinando el diagrama ternario Fe-Cr-Ni de la fig. N° 5 en la que se presenta dos niveles de Fe: 70 % y 60 % en peso, cada diagrama tiene un triángulo eutéctico ($\mu + \delta + L$) donde se indican las composiciones en la que puede coexistir la austenita, ferrita y metal líquido.

Al lado izquierdo (rico en níquel) de cada diagrama son las composiciones que solidifica como austenita y permanece la austenita a temperatura ambiente, por ejemplo, una aleación de 10 Cr-20 Ni en el diagrama de Fe al 70%. Cerca y en el lado izquierdo el triángulo eutéctico son las composiciones (por ejemplo 17 Cr-13 Ni) que solidifica cómo austenita en la primera etapa, pero en la que aparecerá algo de ferrita en la ultima etapa de solidificación. Esto es llamado "Solidificación de Austenita Primaria".

Las aleaciones que solidifica enteramente como ferrita son más resistentes a las rajaduras en caliente que cualquier otras aleaciones, excepto aquellas que solidifica como ferrita primaria. Por lo que desde un punto de vista de la soldadura, el orden requerido de solidificación es ferrita primaria, completamente ferrítico, austenita primaria y completamente austenítico al final.

El diagrama de Lake las líneas punteadas divide el rango de equivalente de Cromo y Níquel de la siguiente forma:

- * solidifica completamente austeníticos (región A)
- * solidifica como austenita primaria (región AF)
- * solidifica como ferrita primaria (región FA)
- * solidifica completamente ferrítico (región F).

Según datos prácticos obtenidos por OERLIKON y investigadores, indican que un número de 4FN asegura que no ocurra una rajadura en caliente, en las mayorías de soldaduras de aceros inoxidable austeníticos. Un examen en la fig N°5 y 6 indica que 4 NF es adecuado dentro de la región FA para soldaduras de baja aleación y poco adecuado para soldaduras de alta aleación, la determinación del NF, se hará usando los equipos de medición establecidos por la Norma (ANSI/AWS A 4.2).

Los siguientes puntos definen el porque del uso del concepto de 4 NF como mínimo:

Primero.

Se basa en la medición a lo largo de la línea central superior de una gota incidente de soldadura, esto quiere decir que todos los puntos a través de una cubierta de multipase, será inapropiado debido a que el tratamiento térmico o recalentamiento por un subsecuente pase de soldadura reduce la ferrita a través de su valor de equilibrio (que puede ser cero).

Segundo.

Esta convención deriva de la experiencia con niveles normales de impurezas (azufre y fósforo), las impurezas del maquinado, grasas y elementos extraños, hacen al metal susceptible a la rajadura en caliente al nivel de ferrita, si los niveles de impurezas son muy bajos el contenido de ferrita puede llegar a ser cero y aumentar su resistencia a la rajaduras en caliente.

Tercero.

No se puede cuantificar la ferrita en un metal base sin soldadura, que sea susceptibles a la rajaduras en caliente, en la soldaduras TIG. debido que el trabajo en caliente desaparece la ferrita; una plancha laminada en caliente indicara probablemente cero de ferrita.

La precipitación de los carburos puede dejar al metal adyacente en los límites de grano agotado en cromo y además susceptible a la corrosión intergranular. Se dice que el acero es sensibilizado al tratamiento térmico inapropiado al metal base por el proceso mismo.

La fig N° 7, proporciona los tiempos y las temperaturas en las que son sensibilizadas, la presencia de los carburos, aunque se forme rápidamente, puede hacer al metal susceptibles a la corrosión intergranular, como ocurre con la ZAC en los límites del cordón.

Se recomienda el uso de un metal base de bajo carbono (< 0.03%) este material es casi inmune a la sensibilización cuando es empleado en soldaduras; otra alternativa es escoger un metal base que contenga elemento (Titanio o Niobio) que retardan la precipitación carburos de cromo, dejando al cromo libre y aumentar así su resistencia a la corrosión, ref 10.

Los altos niveles de cromo, molibdeno, silicio, titanio y/o niobio pueden acelerar la formación de carburos debido a la sensibilización y la fase , lo mejor es evitar el tratamiento térmico posterior de las soldadura austenítica.

3.2.2 Cuidados en metal base de acero Inoxidable Austenítico.

La tabla No 3, se muestra varios aceros inoxidables austeníticos y sus mínimas propiedades mecánicas requeridas; así como los correspondientes metales de aporte de soldeo

La resistencia a la deformación de estos materiales son bajos comparables a los aceros blandos, los aceros inoxidables austeníticos no puede ser endurecidos con un tratamiento térmico; la adición de Molibdeno empleado por el AISI 316L, aumenta su resistencia a la picadura en ácido fósfórico, ácido acético y en soluciones diluidas de cloro, así como ofrece buena resistencia a la corrosión en soluciones de ácido sulfuroso H_2SO_3 . Inclusive un alto contenido de molibdeno 3% AISI 317L aumenta su resistencia a la picadura.

El Nitrógeno se adiciona para incrementar la resistencia de la corrosión a temperatura ambiente y en especial a temperaturas criogénicas (como el tipo 304 L, por ejemplo). También se adiciona nitrógeno para reducir la velocidad de precipitación del carburo de cromo y la susceptibilidad a la sensibilización, otra ventaja que en las aleaciones con contenido de molibdeno se incrementa la resistencia a la picadura inducida por el cloro y la corrosión por grietas.

3.2.3 Soldabilidad.

3.2.3.1 Soldadura por arco con electrodo revestido.

La especificación ANSI/AWS A5.4-92 menciona los cinco tipos de electrodos revestidos de uso muy frecuente. Si la aleación a ser depositada fuera del tipo 308, entonces los cinco tipos de revestimiento serían tipificado de las cinco formas siguientes de electrodos:

E308-15, E308-16, E308-L16, E308-17, E308-25 Y E308-26.

De estos, el E308-17, E308-25 y E308-26 son electrodos revestidos, hechos con alambre de baja aleación o blandos, estos electrodos no se encuentran en el mercado nacional salvo que se hagan pedidos especiales por el consumidor.

Los tres tipos restantes de electros son los productos que se comercializa dentro de nuestro mercado nacional.

El tipo - 15

De revestimiento Rútílico, recomendado solo para la soldadura de (CC) en (PI) ó (DCEP). su sistema de escoria que consiste generalmente de cal y espato flúor, permite que la soldadura sea más fácil de usar en todas las posiciones, especialmente recomendado para la soldadura de tubos en posición fija. Tiende a producir un perfil convexo en la superficie de la soldadura, proporciona una buena resistencia a la rajadura cuando no alcanza la solidificación de ferrita primaria. Se requiere más habilidad del

soldador para obtener una soldadura de buena calidad, el cuidado que se debe tener con los electrodos es no exponerlo al ambiente por mucho tiempo ya que tiende a atrapar la humedad en su revestimiento y genera defectos de porosidad, tambien no se recomienna soldar con un arco largo, los gases del medio ambiente los gases puede ser adsovidos originando defectos.

Su arco es relativamente ajustado y la superficie ondulada es gruesa, en general produce más espato que los otros tipos de revestimiento.

El Tipo - 16

De revestimiento Rútílico, que es recomendado para la soldadura de CC de PI o (DCEP) y Corriente Alterna. Su sistema de escoria, con alto contenido de dióxido de titanio permite que la soldadura sea regularmente fácil de maniobrar en todas las posiciones, pero generalmente un poco difícil para moverse libremente en la posición vertical, que no lo es para el tipo - 15, tiende a producir un perfil superficial casi plano.

Las características del revestimiento del tipo-16 no son tan buenas como aquellos del tipo-15, pero presenta una buena resistencia a la rajadura cuando no se forma ferrita.

Este tipo de electrodos son también de mucho cuidado, no se les debe exponer al ambiente por mucho tiempo ya que tiende a atrapar la humedad en su revestimiento y genera defectos de porosidad o cuando el soldador consigue un arco demasiado largo los gases del medio ambiente son adsorvido y presentar el mismo defecto.

Su apariencia superficial del cordón de soldadura son buenas y la remoción de escoria es más fácil que aquellos electrodos del tipo -15.

El tipo-17

Es una modificación del tipo-16, donde algunos de los elementos del revestimiento son sustituidos como el silicio y silicato por algo de dióxido de titanio, se suelda con CC de PI o (DCEP) y corriente alterna.

La intensidad de la corriente de soldeo es mantenida por la longitud de arco, algunos de los electrodos Tipo-16 y tipo-17, se pueden emplear arrastrando el revestimiento sobre la superficie del metal base, al mantener una longitud de arco corto. Generalmente es recomendable usar una longitud de arco corto, debido a que una longitud de arco grande permite el arrastre de aire hacia el interior y producir defectos en el cordón.

El Nitrógeno del aire puede ser absorbido por la soldadura y convertirse en un elemento aleante, esto

significa que el soldador que consigue un arco largo con un electrodo diseñado para obtener una solidificación de la ferrita primaria puede generar suficiente nitrógeno como para cambiar el modo de solidificación a austenita primaria (referido a la fig N°3, que muestra que el nitrógeno promueve la austenita y suprime la ferrita), esto puede generar una rajaduras en caliente, causado por los electrodos diseñados para producir suficiente ferrita.

El tipo-15 es menos sensible a este error, mientras que el tipo-17 generalmente es el más sensible, la fig N°8 al 11, proporciona los procedimientos sugeridos para (SMAW) de las uniones a tope en las laminas de acero inoxidable y planchas en posición plana, la fig N°9 proporciona los procedimientos sugeridos para la soldadura a tope en las posiciones verticales y encima, la fig N°9, muestra las soldaduras en filete en las posiciones plana y horizontal, la fig N°11 considera las uniones por trechos, la fig N°10 considera las uniones por esquinas, estos datos son solo información de inicio en el desarrollo del procedimiento como punto de partida o guía.

3.2.5.1 Soldadura por arco de Tungsteno y gas Inerte como gas de protección.

El proceso TIG. es usado ampliamente para soldar los aceros inoxidable, especialmente cuándo se quieren tener soldaduras de penetración completa en los

materiales delgados y pases de raíz en materiales gruesos, pero en casi todos los aceros inoxidable se recomienda usar electrodos no consumibles de Tungsteno Toriado (AWS A5.12 clasificación EWTh-2) son los más adecuados, con un gas de protección de Argón con (CC de PI). Para secciones gruesas a veces se puede emplear una mezcla de Argón-Helio, cuando se quiere alcanzar un alto ingreso de calor a altas velocidades de avance

También se emplean Gas de hidrógeno (en el orden del 5%) mezclado con el gas de Argón en soldaduras de aceros inoxidable Austeníticos, este gas proporciona un alto ingreso de calor y produce superficies limpias, la fragilización por hidrógeno puede presentarse en todos los tipos de aceros inoxidable, su uso es muy limitado y solo se recomienda en procesos automáticos; Estos equipos poseen un control de voltaje que estabiliza la longitud de arco plasma.

Soldar en materiales de espesores delgados (< 1 mm), no se recomienda el uso de metal de aporte, una buena unión a tope o unión por cubre juntas o unión por el extremo o uniones por las esquinas; la soldadura obtenida será de igual composición que el metal base.

Cuando se sueldan aceros inoxidable austeníticos como el tipo 304 y 316 ó 316 L, es adecuado que haya ferrita en la soldadura, procurando medir la ferrita antes de soldar con la composición química de los

materiales tanto base como de aporte y plotear en el diagrama de Lake y predecir el (NF). Esto no debe ser causa de alarma, se sabe que toda la ferrita en el metal base presente será transformado a austenita. Los fabricantes de acero generalmente prefieren ajustar la composición de metal de acero inoxidable para que contengan una pequeña cantidad (3 a 8 NF) de ferrita, debido a que esto mejora la resistencia a que se rompa el metal base durante la soldadura, siempre y cuando sean ambos iguales, solamente habrá que tener en cuenta el uso de 4 (NF), cuando uno de los materiales es diferente.

Los metales de aporte obtenido por un proceso TIG se clasifica de acuerdo a las especificaciones AWS A5.9 y se muestra en las tablas 9 y 13. Sin embargo, muchas soldaduras exitosas han sido hechas empleando gas de nitrógeno suplementario en la soldadura TIG. en los aceros completamente Austeníticos.

Es aconsejable adicionar metal de aporte en exceso aún cuando no parezca necesario la adición de metal de aporte apropiado es empleado para obtener una forma convexa de la gota incidente que tiende a mejorar su resistencia a la rajadura en caliente; una de soldadura ligeramente cóncava o plana resulta cuando no se adiciona metal de aporte en exceso.

Las soldaduras exitosas obtenida por el proceso TIG. en los aceros inoxidable austeníticos (las soldaduras diseñadas para contener un poco de ferrita) estará sujeto cuando no se trabaje en zonas donde exista corrientes de aire y las velocidades de flujo de gas no sean excesivamente altas, esto causaría que el aire del medio con un 79 % de nitrógeno ingrese al arco y ser adsorbido por la soldadura, en vez de contener ferrita, puede entregar ferrita libre y ser sensible a la rajadura en caliente. Las velocidades apropiadas del flujo de gas se encuentra en el orden de (0.3 a 0.8 m³/hora) (10 a 30 ft³/h), ref 11.

El proceso TIG. puede trabajar en un amplio rango de corriente finas para cualquier tipo de soldadura, pero en la mayoría de usos con una velocidad apropiada de avance y amperaje correcto su puede lograr minimizar el ancho de ZAC.

3.3 ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS.

3.3.1 Clasificación de los Aceros Inoxidables.

Los aceros inoxidable ferríticos se clasifican en tres grupos.

- 1.- Grupo I de aleaciones, son los Aceros Inoxidables Standares.
- 2.- Grupo II de aleaciones, que son versiones modificadas de las Standares.
- 3.- Grupo III de aleaciones que contienen elementos intersticiales muy bajos.

3.3.1.1 Grupo I:

Este tipo de materiales han estado disponibles en el mercado llamados aceros inoxidables ferríticos de la serie 400 y usados por su resistencia a la corrosión y picadura a elevadas temperaturas. La tabla N° 8 muestra las composiciones químicas de estos tipos de aceros, se sabe que la soldadura reduce la tenacidad y la ductibilidad y la resistencia a la corrosión debido a la recristalización del grano y la formación de martensita, ref 12, la soldadura de este tipo requiere de precalentamiento y de un tratamiento térmico. Por esta razón no tienen mucha aplicación en la industria como los aceros de la serie 300.

Tabla N° 8 Composición Química del Grupo I Estándar de aceros Inoxidables Ferríticos.

UNS N°	Tipo	% C	% Cr	% Mo	Otros
S42900	429	0.12	14 - 16	...	...
S43000	430	0.12	16 - 18	...	...
S43020	430F	0.12	16 - 18	0.6	0.06P, 0.01S
S43023	430FSe	0.12	16 - 18	...	0.15 min Se
S43400	434	0.12	16 - 18	0.75 - 1.25	...
S43600	436	0.12	16 - 18	0.17 - 1.15	Nb+Ta=5*%Cmin
S44200	442	0.20	18 - 23	...	...
S44600	446	0.20	23 - 27	...	...

3.3.1.2 Grupo II:

Debido a su poca aplicación y al mejorar su soldabilidad se han modificado varios de los aceros inox. ferríticos de grado standard, ya que este tipo de materiales contiene bajos niveles de cromo y carbono y aleaciones que estabiliza la ferrita, como se muestra en la tabla N° 9 estas materiales pueden trabajar a

trabajar a altas temperaturas de exposición, como los usados en cajas de templado, tanques en agricultura y algunos partes automotrices.

Por ejemplo, el tipo 405, contiene 12 % Cr. es fabricado de bajo carbón y una pequeña adición de aluminio del 0.2 % restringe la formación de austenita a altas temperaturas, ref 13 - 20. de tal manera que se reduce la dureza durante la soldadura. Sin embargo para una ductibilidad máxima y resistencia a la corrosión es necesario un recocido, en la tabla 2, Se muestra los Aceros Inox. Ferríticos del segundo Grupo.

Nota: Aquellas aleaciones que contienen adiciones de Titanio es muy empleado en los sistemas de escape para los autos.

3.3.1.3 Grupo III :

A finales de los años 60 y finales de los 70 los investigadores reconocieron que los aceros inoxidable ferríticos de alta aleación (de alto cromo y molibdeno) poseían la combinación adecuada de resistencia a la corrosión general, pitting y (SSC). Estas propiedades se consideraron buenas alternativas para los aceros inoxidable austeníticos de las series 300 que comúnmente están plegadas de fallas cuando están expuesto al cloro, tabla No 10.

Se considero que controlando el contenido del elemento intersticial (carbono, nitrógeno y oxígeno) de estas nuevas aleaciones ferriticas, el uso de las Aleaciones de ultra alta pureza se podría eliminar la necesidad de precalentamiento y el tratamiento térmico post SOLDADURA, de tal manera que las soldaduras serían resistentes a la corrosión, tenaces y dúctiles.ref 44.

Para alcanzar estos resultados se usaron la refinación al vacío en cámara electrónica con descarbonización de oxígeno-Ar. y proceso de fusión por inducción al vacío, por la que se considero dos sistemas básicos de aleación de inoxidable ferrítico.ref 44.

3.3.1.3.A Aleaciones del grupo III de Ultra Alta Pureza:

Se caracterizan por tener un contenido de elemento intersticial (C + N) menor de 150 ppm. como se muestra en la tabla N°11, estas aleaciones se encuentran disponibles comercialmente en espesores hasta un máximo de 13 mm, son producidos por refinación al vacío en cámaras electrónicas, fusión por inducción al vacío (VIM), en la tabla No 3 las Aleaciones del grupo III de Ultra Alta pureza.

Nota:El oxígeno e hidrógeno son particularmente perjudiciales y sus niveles tienen que estar controlados.

3.3.1.3.B Aleaciones del grupo III de pureza Intermedia:

Se caracterizan por tener un contenido de (C+N) mínimo de 150 ppm ó max. 800 ppm, tabla N°12 son producidos como en caso anterior. y solo se disponen de planchas con espesores máximo de 3 mm.

3.3.2 Soldabilidad de los Aceros Inoxidables Ferríticos.

El termino de soldabilidad es definido como la facilidad con la que se puede soldar un material y que el cordón de soldadura sea las adecuadas para el desempeño en servicio. la Tabla N° 13, Combinación entre un metal de aporte diferente y un material base de Acero Inoxidable Ferrítico, empleando electrodo revestido o TIG.

El desempeño relativo a la soldabilidad de las aleaciones ferríticas se puede determinar mejor comparando el comportamiento de la fractura por impacto; se debería considerar la prueba de impacto en la ZAC.

En las aleaciones inoxidables ferríticos con bajo contenido de cromo o alto contenido de carbono, tales como los tipos 409, 430, 434, 442 y 446; puede ser sensibles a la formación de martensita durante la soldadura como se ilustra en la fig N°5. En la soldadura el (DBTT) estará fácilmente ~~sobre~~ la temperatura ambiente con alta susceptibilidad a la rajadura de la soldadura durante y después del enfriamiento desde el estado fundido.

Se recomienda tener precauciones cuando se realice soldaduras de secciones gruesas, se puede precalentar el material seguido de un enfriamiento lento y reducir así las tensiones que pueden dar lugar a la presencia de rajaduras, ref 14-20.

Nota: Se aconseja tomar precauciones al precalentar y tener en cuenta los parámetros de soldadura para cada caso. No se debe olvidar que mientras los altos ingresos de calor durante el precalentamiento puede reducir la tendencia a la rajadura de la soldadura en algunos aceros inoxidables ferríticos, y el crecimiento de EAZ que pueda ser muy peligroso, ref 47.

3.3.3 Procesos de soldadura por arco de tungsteno con gas inerte para los aceros inoxidables ferríticos.

Al soldar con este proceso TIG. se deberá usar el negativo del electrodo de corriente continua DCEN, se recomienda el uso de un electrodo de tungsteno con 2 % Torio (clasificación AWS. EWTh-2) con una punta ahusada; No es aceptable la oxidación de la punta del electrodo ya que reduce la estabilidad del arco, cuando esto ocurre, se debe detener el soldeo y esmirilar la punta soldada. Para optimizar la calidad de la soldadura se deberá usar una boquilla cerámica grande.

Cuando se emplee procesos automáticos de alta velocidad, se recomienda usar gas inerte para prevenir la oxidación excesiva de la gota incidente de la soldadura. El Argón, Helio o la mezcla de los dos se puede usar como gas de protección.

Se recomienda usar solamente gas de alta pureza, donde la oxidación en la parte posterior puede presentarse, se ase necesario que al gas protector sea un gas de alta calidad, que lo trataremos con más detalle en el capítulo 6

Cuando se suelda los grados austeníticos como las aleaciones del tipo 300, es común usar gas Argón y gas nitrógeno (para reducir costos y aumentar la resistencia a la corrosión). Nunca se debe usar gas nitrógeno cuando se suelda aleaciones ferríticas porque la adsorción de N_2 . causará una fragilidad severa (perdida de tenacidad y ductibilidad) y perdida de la resistencia a la corrosión.

Otra técnica común que es usado cuando se sueldan aleaciones austeníticos soldar a tope dos piezas de metal, soldando desde un lado, luego rectificar la parte posterior del metal base y completar la unión.

Este procedimiento nunca se debe realizar cuando se suelde aleaciones ferríticos debido que el metal contaminado no puede ser removido completamente, el resultado es una soldadura ferrítica defectuosa y sensible a la rajadura.

Para verificar la integridad del sistema de un gas se deberá realizar una prueba con un botón de soldadura. Esto se hace encendiendo un arco sobre una pieza de prueba en una placa de acero inoxidable ferríticos, estableciendo un baño circular pequeño de metal fundido aproximadamente 13 mm ($\frac{1}{2}$ in) de diámetro extinguiendo el arco por lo menos en 5 seg ó más. El botón de soldadura debe estar

brillantes, lustroso y libre de cualquier mancha, de lo contrario encontrar la fuente de contaminación y corregirla.

Algunas recomendaciones Útiles:

- 1.- Limpiar la pistola antes de soldar para remover el aire y/o humedad que se haya infiltrado en el sistema. Limpiar la soldadura para prevenir la contaminación. El tiempo de limpieza deberá ser lo suficiente de tal manera que la soldadura sea brillante lustrosa y libre de cualquier mancha o decoloración.
- 2.- Se debería usar un control remoto para permitir el incremento o disminución gradual de la corriente cuando se inicie o extinga el arco.
- 3.- Evitar el sobre calentamiento y fragilización de la soldadura, disminuyendo el ingreso de calor en las soldaduras múltiples, manteniendo la temperatura de interfase por debajo de los 95 °C.

3.3.4 Recocido para los aceros Inoxidables Ferríticos.

Normalmente se aplican a los aceros inoxidables ferríticos del grupo I. El propósito es transformar la martensita que se haya formado durante la soldadura a una estructura completamente ferrítica (usualmente conteniendo algunos carburos esferoidales) ó para aminorar los efectos de fragilidad por altas temperaturas y mejorar la resistencia a la corrosión.

El recocido bajo estas condiciones no refina los granos gruesos de ferrita, cuando se requiere el recocido, el rango de temperatura recomendado es de 790 a 850 °C, a estas temperaturas se debe considerar la oxidación de la superficie del metal y los efectos de distorsión. El enfriamiento desde la temperatura de recocido se debe hacer cuidadosamente. Se considera el enfriamiento del horno hasta 600 °C para reducir la distorsión por manipulación, ref 25.

Es necesario realizar un rápido enfriamiento de la temperatura de 565 a 400 °C para evitar la fragilidad a 475 °C dependiendo del espesor de la sección, empleando enfriamiento por aire forzado o por spray con agua.

3.3.5 Fisuramiento o Agrietamiento en caliente.

La fisura, en caliente en la ZAC en los aceros inoxidable ferríticos no es un problema tan común como en los aceros inoxidable austeníticos. Esto es resultado del bajo coeficiente de expansión térmica de los aceros inoxidable ferríticos, sin embargo cantidades excesivas de elementos estabilizantes causa fisuramiento en caliente así como reduce la ductibilidad.ref 27.

3.4 LOS ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS.

En la tabla No 14, se identifica un cierto número de materiales bases de acero inoxidable Martensíticos, los materiales de aporte de soldadura que tienen aproximadamente composiciones similares, son los clasificados por AWS. también considerados en la tabla No

15, solamente materiales selectos, de estos metales bases consideraremos las aleaciones de bajo carbono, especialmente del tipo 410 y CA-6NM (410 NiMo), son muy usados para las turbinas en las hidroeléctricas, presentando una resistencia a la corrosión moderada, cavitación y abrasión moderada, poseen resistencia relativamente alta. El CA-6NM, también es empleado en válvulas y bombas para aceite, transporte de H₂S y gasolineras, en esta aplicación usualmente la aleación deberá ser tratada térmicamente hasta un valor de dureza que no exceda los 22 HRC. Esto requiere un doble tratamiento de templado de 2 Horas a 675 °C (rango de temperatura intercritica) y enfriamiento a temperatura ambiente y luego de 4 Horas a 615 °C (por debajo de la temperatura critica inferior) son frecuentes.

El tipo 420 y aleaciones similares se usan en cuchillos, partes de válvula, herramientas, ejes y rodillos; Una aplicación amplia es una cubierta de soldadura sobre los rodillos en la planta de colada continua de aceros. Este tipo de aleaciones aún es frágil y deberán ser templados para obtener propiedades útiles de tenacidad.

Los aceros inoxidable martensíticos con alto contenido de carbono , tales como los del tipo 440A,440B y los 440C, puede ser endurecidos a valores cercanos a 60 HRC. luego de ser llevados a una temperatura hasta 480 °C para dar tenacidad sin experimentar mucha perdida de dureza, en esta condición puede ser empleados en bordes de corte y como cojinetes, ref 20.

Los aceros inoxidable martensíticos generalmente cuando son enfriados con aire desde 1000 °C, su dureza es total. Pueden ser ablandados a una temperatura entre 500 a 700 °C, a menos que contenga cantidades significativas de níquel, en el caso que se reduzca la temperatura máxima por el tratamiento térmico después de 650 a 750 °C, la dureza generalmente disminuirá a 30 HRC. o valores menores; Esto puede ser útil si es necesario ablandar un acero inoxidable martensítico antes de soldar para dar la suficiente ductibilidad en el bulk del cordón, para distribuir las tensiones de contracción asociado con la soldadura. Sin embargo el tratamiento térmico a alta temperatura produce carburos de cromo y perjudicará la resistencia a la corrosión del meta; se recomienda austenizar después de soldar, enfriándolo a temperatura ambiente y realizar un tratamiento térmico a baja temperatura (menos de 450 °C) para restaurar su resistencia a la corrosión.

3.4.1 Ingeniería para el uso de los Aceros Inox. Martensíticos en condiciones de soldadura.

Excepto los cordones de soldadura muy pequeños o metal base de muy bajo carbono, usualmente no se usan en los aceros inoxidable martensíticos en su condición de soldadura. Esto se debe a que el área de soldadura es muy quebradizo, esta área incluye a la soldadura misma.

Si se debe de usar un cordón de soldadura de acero inoxidable martensíticos en su condición de soldadura, entonces es mejor evitar las soldaduras "autógenas" (sin

aporte en volúmenes suficientes para garantizar la clasificación AWS de un metal de aporte similar, como se puede ver en la tabla 4.

El metal base del tipo 630 (17 Cr.-4Ni-3Cu) también es un acero inoxidable PH. martensítico prototipo. En condiciones de recocido (martensítico), su resistencia a la deformación es superior a 750 MPa. (100Ksi), una resistencia a la deformación mayor a 1200 MPa (170Ksi) se obtendría después de un tratamiento de envejecimiento; Las altas temperaturas de envejecimiento hacen mas gruesos los precipitados y reduce la resistencia.

El metal base del tipo 632 (15 Cr-7Ni-2Mo-1Al) es un ejemplo de un acero inoxidable PH semiaustenítico, en la condición de solución recocido (austenítico), su resistencia a la deformación solo es de 380 MPa (55 Ksi), que no es muy diferente a un acero inoxidable austenítico ordinario.

1.- El tratamiento térmico a 955 °C: Precipita los carburos y desestabiliza la austenita, que transforma a martensita en el subsecuente enfriamiento, luego el envejecimiento 510 °C precipita los compuestos intermetálico de Níquel - Aluminio.

2.- El envejecimiento a 730 °C: precipita las partículas de compuestos intermetálicos, endureciendo la aleación, su resistencia a la deformación (aproximadamente 590 MPa (86Ksi), sin embargo, es considerable menor que lo disponible en los grados martensíticos o semí-austenítico.

El tipo 660 (A286) es el acero inoxidable (PH) austenítico prototipo, con un solo contenido de aleación proporciona resistencia a la corrosión (15Cr-25Ni-1Mo-2Ti) mayor que los del tipo martensíticos o semí-austeníticos, además no es magnético, lo hace adecuado para el empleo en altos campos magnéticos, tales como aquellos asociados con magnetos de superconductores, usados para la investigación de la energía de fusión, ref 50

3.5.1 Ingeniería para el uso de los Aceros Inoxidables Endurecidos por Precipitados PH en las condiciones soldadas

Debido a que los aceros inoxidables PH. alcanzan una alta resistencia por tratamiento térmico, no es razonable esperar que la soldadura iguale las propiedades del metal base en la condición de soldadura, por la que el diseño de un cordón de soldadura, deberá asumir que la soldadura estará por debajo de la resistencia del metal base. Si eso es aceptable, entonces los metales de aporte que se puedan emplear serán los del AISI 308, AISI 309, los metales de aporte adecuados para los aceros martensíticos y los inoxidables PH. semí-austeníticos, ref 51

3.5.2 Ingeniería para el uso en la condición de Tratados Térmicamente.

tabla 17 y 18 Normalmente, el PWHT es hecho sobre una soldadura de acero inoxidable PH debido a la resistencia de la soldadura comparable a la del metal base descado, esto generalmente significa que la soldadura también debe ser un acero inoxidable PH.

Muchas de las soldaduras de acero inoxidable (PH) son materiales ligeros que se presta a ser empleados por los procesos TIG ó LBW, entonces la soldadura iguala al metal base y responde similarmente al tratamiento térmico excepto para el tipo 630, los metales de aporte similares para los aceros inoxidables PH no son fáciles de localizar y no poseen clasificación AWS, algunas especificaciones se encuentran AMS solo como alambre desnudos, que igualan las composiciones del metal base; estos alambres son empleados por los procesos TIG ó MIG & MAG, son los que están más disponibles para la industria Aeroespacial, otra alternativa es el corte del metal base en tiras delgadas pudiendo ser empleada como metal de aporte para los procesos TIG. ref 41.

3.6 LOS ACEROS INOXIDABLES DUPLEX FERRITICO - AUSTENITICO.

Los aceros inoxidables Ferríticos-Austeníticos tienen una microestructura consistente de ferrita y austenita, esta estructura dual les ha proporcionado el nombre de acero inoxidables dúplex.

Los aceros dúplex han existido durante varias décadas pero fueron usados muy poco debido a su limitada soldabilidad, el alto contenido de carbono y un alto porcentaje de formadores de ferrita condujeron a la formación de carburos en el límite de grano ferrita-ferrita. Estos carburos condujeron a una resistencia reducida a la corrosión en la ZAC. El AISI 329 es un acero que tiene dichas desventajas; durante los años 70 fueron desarrollados aceros con un contenido menor de carbono y con una composición química según cuadros adjunto, resultando en una buena reformación de la austenita en la ZAC, el Nitrógeno es un elemento altamente activo en esta relación no se forma carburos y por la austenita defensora en los límites de grano de la ZAC y así era posible establecer un nivel para la resistencia a la corrosión y suficiente tenacidad en las juntas soldadas ref 53.

La tabla No 19, se muestra los aceros inoxidable dúplex ferrítico austenítico, sus composiciones y algunas propiedad mecánica así como un número limitado de aceros que se pueden usarse en forma similar. Es notable que la resistencia a la deformación de estos aceros es dos veces que los aceros inoxidable austeníticos ordinarios como los AISI 304 y AISI 316 L, los aceros inoxidable dúplex tienen buena resistencia a la rajadura por corrosión bajo tensión (SCC) en soluciones que contiene cloruros, el nivel de resistencia generalmente es superior a de los aceros inoxidable austeníticos ordinarios, pero puede no ser tan buenos como los aceros inoxidable ferríticos de la tercera generación descrita anteriormente, los aceros

inoxidables dúplex en los últimos años se les esta adicionando elementos como el nitrógeno y molibdeno, para proporcionar resistencia a la picadura en soluciones cloruradas. ref 38.

Es común estimar la resistencia a la picadura de estas aleaciones de acuerdo al equivalente de la resistencia a la picadura (PREn) empleado para determinar la resistencia a la picadura por medio de la siguiente formula:

$$PREn = \% Cr + 3.3 \% Mo + 16 \% N$$

Cuando el PREn excede de 40, se dice que el acero inoxidable dúplex es un Super Dúplex, se observara una temperatura critica de picadura (CPT) en ≈ 80 °C, en soluciones de cloruro ferrítico al 6 % con los diferentes grados de super dúplex. El desarrollo de nuevas aleaciones en esta área a conducido a crear varios grados de aceros dúplex que aún no se encuentra standarizados por ASTM.

- 1.- De los aceros inoxidables dúplex, el más común probablemente es el tipo 2205, que es usado en tanques de presión, tubos, válvulas, bombas para el petróleo, procesamiento, manipulación de químicos, desalinización y plantas de papel, su (CPT) esta en el orden de 30 °C.
- 2.- En ambientes mas severos se puede requerir el uso de un acero inoxidable duplex con 25 % Cr, el mas común es la aleación 255, generalmente ofrece un (CPT) de 35 °C ó más.

3.- Para los ambientes mas severos que promueve (SCC), picadura y corrosión por grietas, por tanto el acero Inoxidable más recomendado es el acero dúplex.

Debido a su alta resistencia, los aceros inoxidables dúplex son más difíciles de conformar en frío que los aceros inoxidables austeníticos. Además, debido a que puede presentar diferentes formas de fragilización debido a las altas temperaturas en estas aleaciones, el forjado y otros procesos de trabajo en caliente requiere más cuidado que los aceros inoxidable austeníticos.

3.6.1 Ingeniería para el uso de los aceros inoxidables dúplex ferrítico austenítico en las condiciones soldadas.

Los aceros forjados o tundidos son preferiblemente soldados después de un tratamiento en solución, que es efectivo en un rango de aproximadamente 1040 a 1150 °C. Los contenidos de ferrita se encuentra entre 40 a 60 aprox. son usuales de encontrar, con un enfriamiento rápido después del tratamiento en solución se intenta mantener una óptima relación entre la Ferrita/Austenita y la distribución de fases.

Desde el punto de la corrosión resultara innecesario realizar un tratamiento de solución después del conformado en frío, si las deformaciones del cordón son bajas, para un acero (UNS S31803) se le ha estimado un máximo de 15 % de deformación en frío. Los coeficientes de expansión térmica y de conductividad térmica de los aceros duplex

son intermedios entre los aceros ferríticos y austeníticos; sus características generales son tales, que en la practica establecida para los aceros inoxidables en cuanto a la preparación de la junta, limpieza y ensamblado son todas similares.

De acuerdo con lo arriba descrito, una soldadura con una composición similar a la de los aceros dúplex tienen inferior ductilidad y tenacidad, debido a su alto contenido de ferrita. Este problema es menos critico con procesos de soldaduras TIG ó MIG & MAG. frente a los procesos de soldadura de arco abierto SMAW, SAW ó FCAW.

El proceso más seguro para la condición de soldadura es usar un metal de aporte que iguale al metal base en todos sus aspectos, excepto los que contienen un alto contenido de níquel, es mejor evitar los procesos de soldaduras con velocidades de enfriamiento muy rápido que son muy típicos en EBW y LBW. se recomienda el proceso TIG, su uso es aplicado en el pase de raíz, para lo cual se disenán abertura de raíz mas ancho que lo normal. ref 35.

Las especificaciones AWS clasifican a los aceros inoxidables dúplex, ref 30 de la siguiente forma:

- 1.- La composición de metal de aporte del tipo 2209, usado como un electrodo revestido para el proceso SMAW y como un alambre desnudo para SAW, TIG, MIG & MAG, PAW y otros procesos.

- 2.- De igual forma el tipo 2205, estos tiene un alto contenido de níquel, que es necesario para el control adecuado de la ferrita y la tenacidad; son empleados para cualquier tipo de acero inoxidable de baja aleación.

- 3.- La composición del material de aporte 2553 usado como electrodo revestido o como un alambre desnudo, es un material similar al anterior los del tipo 255. En general también puede ser empleado por todos los materiales de baja aleación.

El procedimiento de soldadura desarrollado para soldar, además de la selección del metal de aporte, se tomará en cuenta las consideraciones con respecto al hidrógeno, precalentamiento, temperatura de interfase y ingreso del calor de la soldadura. En el pasado, la mezcla de Argón - Hidrógeno han sido utilizados por TIG; para obtener un mejor contacto y mejor forma de la gota incidente sin embargo, han ocurrido casos de fragilización por la presencia por hidrógeno de las soldaduras TIG realizados con esta mezcla de Argón - Hidrógeno, para lo cual se recomienda evitar esta mezcla. ref 30.

En los aceros inoxidables dúplex son muy sensible a la presencia de oxígeno, muchos procedimientos no están clasificados por la AWS, en estos casos el fabricante es la mejor fuente de información.

En contraste a la situación con los aceros de baja aleación, el precalentamiento y control de la temperatura de interfase no son practicados con las soldaduras de acero inoxidable duplex para el propósito de protección a la rajadura por hidrógeno y el control de la microestructura de ZAC. Se puede recomendar un precalentamiento mínimo de 100 °C y una temperatura de interfase de 200 °C, para la mayoría de las soldaduras de acero inoxidable dúplex. Esta temperatura de precalentamiento/interfase ayuda a hacer lenta la velocidad de enfriamiento que promueve una formación de austenita en amplias zonas de la ZAC, sin plantear problemas potenciales con la fragilización α' .

Una limitación sobre el ingreso del calor por la soldadura también serviría para promover la formación de la austenita en la ZAC, el ingreso de calor por debajo de 1.2 kJ/mm. tiende a formar un alto contenido de ferrita indeseable en la soldadura. Además los niveles de calor aproximadamente sobre los 4 kJ/mm, tiende a producir un excesivo crecimiento del grano en la ZAC, que reduce la ductibilidad y también puede promover la precipitación de N_xCr_y . ref 36.

CAPITULO IV.

TECNOLOGIA DE LA SOLDADURA POR ARCO ELECTRICO.

CAPITULO IV.

TECNOLOGIA DE LA SOLDADURA POR ARCO ELECTRICO.

De todos los procesos de soldeo, la soldadura por un arco eléctrico es de mayor aplicación en la industria. En esta soldadura el calor necesario para fundir el electrodo y el metal de la pieza de trabajo se genera por la resistencia (fricción) de ambos al paso de la electricidad (corriente).

Cuando pasa electricidad por un alambre, el movimiento de la energía eléctrica en el alambre origina una fricción y dicha fricción calienta el alambre. Como el alambre se calienta como resultado de su resistencia al paso de la electricidad, es lógico deducir que cuanto mayor sea el flujo de corriente que pase por un alambre de un diámetro dado, mayor será la fricción que resulte. Este incremento de fricción dará lugar a un incremento de calor, necesario para fundir el alambre o electrodo.

Se emplean dos cables uno sirve para conectar al porta electrodo a una de las terminales de la maquina al que lo llamaremos cable del electrodo o terminal del electrodo, el otro cable se conecta a la pinza de tierra a la que lo llamaremos cable de tierra o cable de la pieza de trabajo.

Ambos cables deben de ser del tamaño, longitud y el material adecuados para conducir la corriente requerida ofreciendo poca resistencia; de lo contrario la energía se disipa desperdiciandose en forma de calor en el cable.

4.1. CLASES DE CORRIENTE ELECTRICA Y POLARIDAD.

Una parte importante del circuito es la conexiones del cable del electrodo y del cable de tierra en la soldadura con corriente directa.

Los cables del electrodo y de tierra pueden conectarse en dos formas diferentes. Una se conoce como conexión en polaridad directa (PD), y la otra conexión en polaridad invertida (PI).

4.1.1 La conexión de PI ó EP.- El cable de tierra o de la pieza de trabajo debe conectarse a la terminal negativa (-), y el cable del electrodo a la terminal positiva (+).

4.1.2 La conexión de PD ó EN.- El cable de tierra o de la pieza de trabajo, debe conectarse a la terminal positiva (+), y el cable del electrodo a la terminal negativa (-).

En algunas maquinas de soldar, la polaridad puede cambiarse por medio de un selector de polaridad instalado para tal objetivo. En otros tipos de maquinas, el soldador tiene que desconectar ambos cables, el electrodo y el de tierra y reconectarlos a las terminales opuestas (el cable de tierra donde estaba el cable del electrodo y el cable del electrodo donde estaba el cable de tierra) para invertir así la polaridad.

4.1.3 La soldadura con corriente alterna.- existe solo una forma de conectar los cables a las terminales, el cable de tierra y el cable del electrodo en cualquiera de las terminales de salida de la maquina.(AMERICAN WELDING SOCIETY).

4.2 El ARCO ELECTRICO.

El aire seco es un mal conductor de la electricidad, casi puede clasificarse como no conductor, la electricidad no se trasmite en realidad a través del aire. Pero bajo ciertas condiciones salta en un alambre de hierro formando un arco. La corriente de soldadura que pasa a través de este alambre de alta resistencia, genera un calor muy intenso en el arco, el cual puede ser de 2000 a 4000 °C. aproximadamente, el metal de base se funde en el punto en el que lo toca al arco y el electrodo se funde convirtiéndose en metal de aporte en el punto en el que el arco toca la punta del electrodo.

Para mantener el arco estable y consistente, se incorpora ciertas sustancias químicas en el revestimiento de los electrodos, las que ayudan a contener y dirigir el arco. Los materiales de recubrimiento de los electrodos permite lograr en forma automática la acción de limpieza y desóxidante en el posillo fundido.

Al arder el recubrimiento en el arco, una atmósfera gaseosa inerte que protege el extremo fundido del electrodo, a la vez que protege la fosa de la soldadura fundida. Esta atmósfera impide que el oxígeno y nitrógeno

perjudiciales se pongan en contacto con el área fundida soldada, en tanto que el residuo de recubrimiento quemado forme una escoria para cubrir el metal de soldadura depositado. Esta escoria también aísla a la soldadura del oxígeno y nitrógeno, hasta que se enfrié a una temperatura en la que no se forme óxidos y nitruros. adicionalmente la escoria hace que sea más lento el enfriamiento.

El punto que debe entenderse aquí es que la resistencia que existe en el espacio de un arco eléctrico crea el calor necesario que el soldador utiliza para fundir el metal. La maquina de soldar o fuente de energía puede ajustarse para entregar esta, en la cantidad y el tipo de corriente correcta al extremo del electrodo.

4.3 SOLDADURA DE ARCO METALICO PROTEGIDO.

El proceso de soldadura más empleado sigue siendo en el PERU la soldadura de arco metálico protegido, con electrodos revestidos. Al igual que en los otros procesos eléctricos, se utiliza el calor del arco para llevar la pieza de trabajo y un electrodo consumible al estado de fusión fig No 12.

En este proceso el arco acarea en realidad pequeños glóbulos de metal fundido, procedentes de la punta del electrodo, hacia la zona fundida que se forma sobre la superficie de la pieza de trabajo. El principio clave de este proceso es, sin embargo la protección la cual se obtiene por la descomposición del recubrimiento del electrodo en el arco.

El recubrimiento desempeña tres funciones:

- 1.- La creación de una atmósfera inerte que protege al metal fundido del contacto con el oxígeno y el nitrógeno u otros contaminantes del aire.
- 2.- La adición de desoxidantes o limpiadores para refinar la estructura granular del metal de la soldadura.
- 3.- La formación de una película de escoria, de endurecimiento rápido, que protege la zona de soldadura.

Actualmente se han desarrollado diferentes electrodos y recubrimientos para determinados trabajos específicos. según se especifica en el anexo No 1. Por tanto el soldador tendrá que seleccionar el electrodo correcto, ajustar su maquina al amperaje adecuado, establecer y mantener el arco, y poder soldar en la posición adecuada según requiera el trabajo.

4.3.1 La soldadura de arco metálico con núcleo de fundente.- Es una versión especializada de este proceso, en la que el electrodo es un alambre hueco relleno de fundente son en esencia, la misma que en el caso del electrodo recubierto

La ventaja de este proceso radica de su adaptación al proceso semiautomático y automático en trabajos de alta producción.

4.4 SOLDADURA CON ARCO METALICO Y GAS (GMAW).

En la soldadura por arco metálico con gas, conocido comercialmente como proceso MIG/MAG, la fusión es generada por un arco que se establece entre el extremo del alambre que es aportado continuamente a la pieza a soldar.

La protección se obtiene cuando los gases son suministrados con el metal de aporte (alambre) por la antorcha, este tipo de soldadura se clasifican de dos formas:

- 1.- MIG.- El cual emplea un gas inerte; Argón puro, Helio, la combinación de Ar-O₂ ó Ar-He ó Ar-CO₂, etc.
- 2.- MAG.- El cual se emplea exclusivamente un gas de dióxido de carbono CO₂.

La tarea, que cumple los gases protectores, es desplazar el aire alrededor del arco, para evitar la contaminación del metal fundido con los gases de la atmósfera. La envoltura protectora deberá proteger eficientemente el área del arco para obtener un metal de aporte de buena calidad.

Este proceso de soldadura se muestra en la fig. No 13. en la que se señala el alambre, la protección gaseosa, el arco y el metal depositado, este proceso puede ser automático o semiautomático, siendo el segundo de mayor uso en nuestro medio.

El tipo de transferencia del alambre de aporte a través del arco depende del valor de la corriente. A bajas corrientes, la transferencia se realiza por gotas (corto circuito), cuando la corriente aumenta estas gotas se reduce progresivamente hasta que la transferencia se realiza por gotas finas o por pulverización (spray).

4.4.1. Característica del proceso.

Este proceso permite:

- 1.- Excelente calidad de soldadura en casi todos los metales y aleaciones empleados en la industria.
- 2.- Mínima limpieza después de soldar.
- 3.- ARCO y baño fundido claramente visibles por el soldador.
- 4.- Fácil trabajo en todas las posiciones, lo que dependerá del diámetro del alambre y el proceso que se selecciones.
- 5.- Alta velocidad de trabajo.
- 6.- Exento de escoria.
- 7.- Cuando se hace uso de (CO₂) o (AGAMIG).se deberá emplear exclusivamente para soldar aceros al carbono y aceros de baja aleación, empleando CARBOFIL PS2 ó PS6.

8.- Cuando se hace uso de Argón o Helio (MIG). es para soldar aceros inoxidable, resistentes al calor, así como materiales No-ferrosos.

Nota: La razón del uso de Argón y Helio como gas de protección en estos materiales se debe al carácter oxidante del CO₂.

4.5 SOLDADURA CON ARCO DE TUNGSTENO Y GAS INERTE (TIG).

El proceso TIG (también conocido como GTAW. tungsteno y gas inerte) es un proceso de arco que utiliza un electrodo de tungsteno no consumible y una atmósfera de gas inerte suministrada en forma externa, generalmente de Helio, Argón o una combinación de ambos, fig. No 14.

La técnica de manipulación necesarias para soldar con este proceso son similares a las que se requieren para la soldadura con gas combustible Oxiacetileno, una mano para manipular el soplete y la otra mano para alimentar el metal de aporte.

La alta densidad de corriente eléctrica producida por este proceso hace soldar a mayores velocidades y obtener mayor penetración, que con la soldadura a gas combustible o con arco metálico protegido. Pueden hacerse soldadura de calidad excepcional con este proceso, pero todo depende del ajuste del equipo y de la preparación apropiada del metal de base (el uso de biceles limpios). Este proceso puede ser manual, semiautomático o automático. Este proceso TIG y el de Plasma serán tratado en capítulo siguiente con más detalle.

4.6 SOLDADURA DE ARCO SUMERGIDO.

La soldadura de arco sumergido es un proceso semiautomático o automático. Se usa uno o dos electrodos metálicos desnudos del tipo (PS. XX INOX), y el arco se protege mediante una cubierta, de suministros independiente, de un fundente granular fusible del tipo POP. de acuerdo a la denominación de OERLIKON.

No hay una exposición visible del arco por este método; El arco, el electrodo fundido y el pocillo fundido de soldadura están completamente sumergidos en el fundente conductor de alta resistencia.

Una cabeza de soldadura de diseño especial fig. No 15. Variándose la composición química del fundente puede soldarse una variedad de metales y aleaciones de diversos tipos y diferentes juntas. Sin embargo, la soldadura de arco sumergido es primordialmente un proceso de alta producción, pudiendo trabajarse estas soldaduras en posiciones planas, vertical ascendente u descendente, horizontal pero en línea recta, con los cuidados propios para este proceso.

4.7 CICLO DE SERVICIO O DE TRABAJO.

Es indudable, que no todos los procesos de soldadura impondrán la misma demanda a una fuente. El ciclo de servicio es una de los puntos más importante en las especificaciones de una fuente de poder para soldadura. donde son expresada en porcentajes.

Es la porción de tiempo durante el cual debe entregar la fuente de poder su capacidad nominal de corriente en cada uno de los intervalos sucesivos es de 10 minutos.

Así un ciclo de servicio del 60 % (de mayor uso en nuestro medio), significa que la fuente de poder puede entregar carga nominal durante 6 minutos de cada 10 minutos (la capacidad nominal del ciclo de servicio se mide en intervalos sucesivos de cada 10 minutos)

Las fuentes de poder que trabaja con un ciclo de servicio del 100 % son empleados para trabajar durante todo el servicio en forma continua, sin sobrepasar los límites establecidos de temperatura. Se emplean comúnmente en procesos en la soldadura semiautomática y automática.

Es importante destacar, que el ciclo de servicio de una maquina de soldar esta basada fundamentalmente en la corriente nominal de carga. Sin embargo si dicha maquina se destino a ser empleada con valores de corrientes distintas de los nominales, es posible determinar el nuevo factor de servicio para esas condiciones:

$$T = (I_n / I_o)^2 * T_o.$$

T - Es el nuevo ciclo de trabajo.

I_n - Corriente nominal para el ciclo T_o.

T_o - Ciclo de trabajo original en %

I_o - Nueva corriente, con que será empleada la maquina.

4.8 TENSION DE VACIO.

En general, en una fuente de poder empleada para la soldadura será necesario disponer de una tensión de vacío elevada, para facilitar el arranque del arco, sin embargo por razones de seguridad, la misma se limita a valores que reduzcan el riesgo de electrocución.

Las Normas NEMA EW 1-24, por ejemplo limitan dicha tensión a 80 voltios para equipos de soldadura manual y 100 voltios para equipos de soldadura semiautomática.

TABLA No 19.1 Cables recomendados para diferentes distancias.

DISTANCIA EN METROS DESDE LA MAQUINA DE SOLDAR AL PUNTO DE TRABAJO

Amperaje	15	23	30	38	46	53	61	69
100	2	2	2	2	1	1/0	1/0	2/0
150	2	2	1	1/0	2/0	3/0	3/0	4/0
200	2	1	1/0	2/0	3/0	4/0	4/0	
250	2	1/0	2/0	3/0	4/0			
300	1	2/0	3/0	4/0				
350	1/0	2/0	4/0					
400	2/0	3/0	4/0					
450	2/0	3/0						
500	2/0	4/0						

#Al.	2	1	1/0	2/0	3/0	4/0
mm ²	34	43	53	67	75	107

CAPITULO V

DISEÑO TECNOLÓGICO DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA TIG y
LA SOLDADURA POR PLASMA.

CAPITULO V
DISEÑO TECNOLÓGICO DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA TIG y LA
SOLDADURA POR PLASMA.

También conocido como HeliArc, GAS INERTE DE TUNGSTENO (TIG) Y/O SOLDADURA POR ARCO DE TUNGSTENO, se desarrolló a finales de los años 30, cuando se necesitaba soldar magnesio. Russell Meredith, desarrolló un proceso de soldadura de arco usando el gas inerte de Helio y un electrodo de tungsteno para fundir el magnesio.

Este método de soldadura reemplazó al remachado como método de construcción de aviones con aluminio y compuestos de magnesio. La soldadura por HeliArc. ha continuado hasta hoy día y ha tenido muchos cambios cada vez más refinados, pero sin cambios en los fundamentos dados por Meredith. ref 21

La temperatura de fusión necesaria para soldar materiales con el proceso TIG se obtiene manteniendo un arco entre el electrodo no consumible de una aleación de tungsteno y la pieza de trabajo fig N°17. Esta temperatura del baño puede llegar aproximadamente a 8000 °C, el gas inerte sostiene el arco y protege el metal fundido de la contaminación atmosférica. Normalmente los gases empleados por este proceso es Argón, Helio y una mezcla de ambos.

5.1. APLICACIONES.

El proceso TIG. se usan ampliamente para soldar aceros inoxidables, aluminio, magnesio, cobre y materiales reactivos (por ejemplo titanio y tantalio). El proceso también puede ser usado para soldar aceros aleados y al carbono. En los Aceros al Carbono, se emplea la soldadura TIG en el pase de raíz con la aplicación de insertos consumibles o técnicas de raíz abierta en tubos; la soldadura TIG suelda espesores apartir 0.4 mm hasta 12 mm, se puede soldar espesores mayores pero se recomienda el uso alambres desnudos de metal de aporte de mayor diametro.

5.2 VENTAJAS Y LIMITACIONES.

5.2.1 VENTAJAS: ref 22.

- 1.- Produce soldadura de alta calidad y baja distorsión .
- 2.- Libre de salpicaduras como ocurre en otros métodos.
- 3.- Se puede usar con o sin alambre de relleno.
- 4.- Se puede usar una fuente de poder con rangos finos de energía.
- 5.- Suelda casi todos los tipos de metales, incluyendo los materiales disímiles.
- 6.- Se puede controlar el calor generado por el arco en la soldadura.

- 7.- El operador tiene un control excelente del arco y la visión no es limitada por la emisión de gases o smoke generado por el proceso.
- 8.- El proceso es requerido cuando se requiere la más alta calidad de la soldadura.
- 9.- Consumo bajo de Voltaje-Amperaje que el proceso de soldadura de electrodo revestido

5.2.2 LIMITACIONES: ref 24.

- 1.- Producen bajas velocidades de deposición que los procesos de soldadura por arco eléctrico con electrodo consumible.
- 2.- Requiere un poco más de destreza y coordinación del soldador que para la soldadura por arco eléctrico protegido por gas MIG. o la soldadura eléctrico manual con electrodo revestido SMAW.
- 3.- Menos económico que la soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido, para secciones \geq de 9.5 mm (3/8 in), pero más rentable en espesores menores que esta.
- 4.- Es problematicos en ambientes abiertos debido a la dificultad en proteger apropiadamente la zona soldada.

ALGUNOS PROBLEMAS GENERADOS POR ESTE PROCESO COMO:

- 1.- Inclusiones de tungsteno, si se permite que el electrodo haga contacto con el baño de fusión .
- 2.- Contaminación del metal soldado si no se mantiene una protección apropiada del metal de relleno por el gas de flujo.
- 3.- Bajo porcentaje de contaminación en los metales de base y de relleno por efecto de la soldadura.
- 4.- Porosidad, causado por el goteo del liquido refrigerante de las pistolas enfriadas por agua.
- 5.- Choque de arco, como ocurren en otros procesos.

5.3 SUMINISTROS DE ENERGIA.

El suministro de energía empleado para el proceso TIG, usualmente son de corriente constante con una curva Voltaje - Amperaje (V-A) de caída negativa, los más comunes son los reactores saturables y unidades controladas por thuristor. Debido a los avances en la industria electrónica se puede contar con suministros de energía ligeros y sofisticados.

Los suministros de energía transistorizados de corriente continua (dc) son ahora los más usados y los nuevos suministros de retificador - inversor son más compactos y versátiles.

Esta fuente de poder pueden combinarse en tres formas:

- 1.- La corriente alterna primaria de 60 Hz (ac) es rectificadora a corriente continua (dc).
- 2.- La corriente continua es invertida a alta frecuencia.
- 3.- La corriente alterna es rectificadora a corriente continua (dc), ref 24.

Los suministros de energía inversor son más estables y tienen rápidos tiempos de respuesta que el retificador de silicio. La fig. N°18 compara la respuesta de una máquina de soldadura por arco controlado por inversor y una máquina de soldadura controlado por thyristor.

5.4 CONSTRUCCION DE LA PISTOLA.

La pistola de soldar mantiene el electrodo de tungsteno que conduce la corriente al arco y proporciona un medio de protección del arco y el metal fundido. Los componentes principales de una pistola típica de soldadura se muestra en la fig N°19.

Las pistolas de soldar (< de 200 amp.) son normalmente enfriadas con gas (osea, el gas de protección fluye alrededor del cable conductor, donde el enfriamiento es necesario).

Las pistolas enfriadas con agua son usadas para operaciones continuas o altas corrientes de soldaduras (> de 200 amp.) son comunes para la soldadura semiautomática y automática.

El suministro de agua de enfriamiento esta contenida en un tanque de recirculamiento que es bombeado a través del cable y la pistola.

5.5 ELECTRODOS NO CONSUMIBLES.

Los electrodos no consumibles usados en TIG. están compuestos de tungsteno o aleaciones de tungsteno. El electrodo más común es de una aleación Toriado EW Th - 2, (2 % ThO₂ - W).

Este material tiene excelentes características de operación y buena estabilidad del arco. El TORIO es radiactivo, por lo que se debe ser muy cuidadoso, cuando se prepare el electrodo no inhalar el polvo metálico.

Nota: La acumulación de polvos son considerados desperdicios peligrosos en algunos países y pueden estar sujetos a regulaciones ambientales.

Los electrodos de Tungsteno de Uso frecuente son:

- 1.- Los electrodos de tungsteno lantánidos (EWLa 1) tienen las mejores características para el encendido del arco inclusive manteniéndolo a bajo voltaje emite electrones.
- 2.- Los electrodos de tungsteno Cerio (EWCe - 2) es solo ligeramente mejor que el tungsteno torio con respecto al inicio del arco y velocidad de fusión.

3.- Los electrodos de Tungsteno Puro (EWP) es usado en la soldadura con corriente alterna y tiene la velocidad de consumo más alta, también se usan aleaciones de Zirconio. ref 26.

Tabla No 20 Clasificación y selección de los electrodos de tungsteno empleados par el proceso TIG.

Clasificación	Color	Aleación	Aleación en Oxido	
EWP	VERDE	....	...	...
EWCe - 2	NARANJA	CERIO	CeO ₂	2
EWLa - 1	NEGRO	LANTANIO	La ₂ O ₃	
EWTh - 1	AMARILLO	TORIO	ThO ₂	
EWTh - 2	ROJO	TORIO	ThO ₂	2
EWZr - 1	MARRON	ZIRCONIO	ZrO ₂	0.25
EWG	GRIS	NO ESPECIFICA		...

(a) La clasificación de estos electrodos son por colores en la banda de la superficie (b) La manufactura de estos materiales es idéntica a la especificación nominal de ref 23.

La apariencia externa del electrodo puede afectar la forma de la soldadura resultante, los electrodos con ángulos de 60° a 120° son estables al ancho de la profundidad del cordón, los electrodos con ángulo agudos de 15° a 30° son empleados en uniones de juntas soldadas tipo V, U y X. el arco propicia una mayor profundidad, eliminando así el arqueo en el lado de las paredes fig 20.

5.6 OSCILACION DEL ARCO.

Es usados en soldadura manual y mecanizada. La ventaja en la soldadura manual son básicas para el control del arco, se adapta a los cambios de las juntas soldadas y la abertura.

En la soldadura mecanizada, las oscilaciones es producida al mover o trasladar la pistola con la ayuda de un campo magnético aplicado externamente, de igual forma para el plasma de arco. La oscilación permite que el calor de soldadura se distribuya a lugares precisos.

Esto es ventajoso cuando se sueldan partes de piezas irregulares, se puede disminuir el numero de pases del cordón y disminuir el calor cuando se usa la oscilación del arco, originando una reducción en el costo.

El efecto de la distorsión de la oscilación magnética, algunas aleaciones necesitan del templado producido por las técnicas de soldadura de multipase y no se deberá usar la oscilación del arco. Se puede usar campos magnéticos aplicados externamente para estabilizar el arco. ref 28.

5.7 PARAMETROS DEL PROCESO.

5.7.1 Fuente de poder.

La corriente proporcionada por la fuente de poder, será la energía más importante para cualquier proceso de soldadura, esta a su vez estará vinculado con la profundidad del arco, velocidad de avance, velocidad de deposición y calidad de la soldadura, la fuente de poder genera tres tipos de corriente:

- 1.- El negativo del electrodo de corriente continua (CC) de polaridad directa PD (DCEN).

2.- El positivo del electrodo de corriente continua (CC) de polaridad invertida PI (DCEP).

3.- Corriente alterna (CA).

Las fig. N° 21 muestra los efectos de la soldadura cuando emplean (CC) y polaridad (PD y PI), en la tabla N°20.1, datos recomendados para soldar aluminio con corriente alterna (CA). Se caracteriza en revertir la polaridad de trabajo del electrodo a 60 Hz. y el rápido cambio de polaridad proporciona una acción de limpieza catódica que es adecuado para la remoción de óxidos cuando se suelda aluminio y magnesio.

Cuando se suelda con corriente continua y polaridad invertida el electrodo en cada ciclo se calienta, por la que es necesario el uso de electrodos de gran diámetro, normalmente hechos de tungsteno puro, la soldadura con polaridad invertida permite que se conecte la frecuencia de polaridad, esto puede producir los efectos de limpieza como la corriente alterna.

El uso de corriente continua de polaridad directa es el más usado por el proceso TIG. dando como resultado una concentración de calor máxima y proporciona máxima fisión en la pieza de trabajo.

5.7.2. Corriente de pulso vs. corriente no pulsada.

La corriente continua o no pulsada es de más uso para los procesos estándares de TIG, si embargo hay varias ventajas para usar la corriente de pulso.

La corriente pulsada produce la máxima cantidad de penetración, también ayuda a controlar el movimiento que es necesario en la soldadura manual y permite que el baño de fusión se enfríe entre los pulsos.

5.7.3 Pasos a dar antes y durante la soldadura con aceros inoxidables austeníticos y ferríticos.

Para incrementar la calidad de la soldadura se recomienda lo siguiente:

- 1.- Desengrasar por completo las uniones de soldadura y las superficies adyacentes al menos 50 mm. (2 in) en ambos lados de cada parte de la junta. Esto también debe incluir el alambre de aporte de la soldadura.
La soldadura se debe realizar con guantes limpios, nunca se debe usar guantes húmedos y sucios.
- 2.- Mantener la pistola de soldadura en ángulo recto a la superficie de trabajo dentro de 15° de la vertical para prevenir aspiraciones de aire dentro del contenedor de gas inerte.
- 3.- Durante la soldadura si se contamina la gota se debe cambiar inmediatamente la tobera cerámica si esta rota, debido a la interrupción del flujo de gas desde

la boquilla de la pistola que causa aspiraciones de aire hacia el baño de fusión. Es aconsejable la remoción del metal contaminado.

- 4.- No se permite mover el electrodo, excepto un poco para permitir buena fusión (lateral y continua). se debe observar que el excesivo movimiento causa contaminación del baño de fusión con subsecuente pérdida en la tenacidad de la fractura, en su ductibilidad y su resistencia a la corrosión.
- 5.- Cuando se suelda, mantener la punta del alambre de aporte dentro de la funda del gas, cuando se suelda aceros ferríticos emplear una tobera más grande. Si la punta del alambre de aporte se contamina, debido a que toco el electrodo de tungsteno o cuando es retirada fuera de la funda del gas inerte, se debe detener la soldadura, cortar la punta del alambre contaminada y remover esta soldadura.
- 6.- Todas las conexiones deben de ser de buena calidad y ajustadas para prevenir la inyección de aire. chequear todos los sellos de agua en la pistola. Se debe de evitar las corrientes de aire en el área de trabajo para prevenir la pérdida de protección del gas inerte.

5.8. LIMPIEZA .

Proteger el baño de fusión de la atmósfera es muy importante en TIG. La contaminación atmosférica puede dar como resultado rajaduras en el cordón, porosidad, inclusión de óxidos y una apariencia granular inaceptable. La tobera de gas en la pistola de soldar es el lugar por donde fluirá el gas de protección para la mayoría de los procesos TIG.

La protección posterior es importante debido a que la presencia del oxígeno puede reducir la penetración del metal de soldadura y se producirá los defectos ya mencionados.

Se emplean algunos dispositivos para favorecer la limpieza del cordón de raíz cuando se suelde. Estas pueden ser barras de apoyo de cobre y cerámicos estos materiales muchas veces se usan para mantener el gas de protección contra la superficie posterior de la soldadura fundida y soportar el flujo de las gotas.

Los materiales reactivos y aplicaciones especiales requieren una protección más elaborada. Esto puede ser un dispositivo de arrastre simple, suministrando el gas de protección inerte o puede ser tan complejo como una cámara especial de soldadura equipado con purificadores y analizadores de gas.

5.9 METALES DE RELLENO.

El espesor de la parte a ser soldada determinara la necesidad de adiciones de metal de relleno. puede soldar exitosamente materiales tan delgados < de 2.mm (0.08 in) sin adición de metal de relleno, cuando sea necesario adicionar metal de relleno; se le puede adicionar manualmente en una longitud recta o automática desde un rollo o bobina, el metal de aporte normalmente es adicionado frío, también se puede emplear alambre de aporte caliente para aplicaciones automáticas fig. N° 21. Los insertos de soldadura es un material de relleno que ayuda a la soldadura en el pase de raíz.

5.9.1 Varillas .- Son longitudes rectas de alambre de relleno, de 50 cm. de largo, que es comercializado por OERLIKON en el Perú, en otros países pueden llegar a 1 metro de longitud, son empleados para la soldadura manual, la mayoría de las longitudes rectas son redondas en la sección transversal, pero algunos rellenos de aluminio son a veces rectangulares.

5.9.2 Alambre frío.- El alambre frío se puede adquirir en carretes pequeños de 100mm (4in de diámetro), carretes grandes 305 mm (12 in de diámetro) o bobinas grandes que pueden pesar más de 225 Kg. (500 lb.).

Normalmente las bobinas grandes son usadas con el proceso MIG/MAG. debido a que se requiere grandes cantidades de material de relleno. El alambre de

aporte es alimentado direccionalmente en el borde del baño de fusión durante la soldadura con alambre frío.

5.9.3 Alambre caliente.- El proceso TIG, utiliza un metal de aporte caliente para incrementar la velocidad de deposición del proceso fig. N° 22; El alambre es calentado por una resistencia cerca a la temperatura de fusión y alimentado al borde del baño de fusión, las velocidades de deposición pueden llegar a 13 kg./hora, las altas velocidades de deposición obtenidas con alambres calientes hace que el proceso sea competitivo con las demás soldaduras, la tabla N°21 muestra los parámetros típicos de operación del alambre caliente.

Tabla N° 21, Parámetros típicos para soldadura automática para los procesos TIG con alambre caliente.

Amp.	Voltaje	Velocidad de la antorcha mm/min.	velocidad del alambre mm/min.	velocidad de deposición kg/hora.
300	10 - 12	100-225	2790-9400	1.4 - 4.5
400	11 - 13	150-335	4700-11300	2.3 - 5.4
500	12 15	205-510	7490-16900	3.6 - 8.2

Nota: Para espesores de plancha de 4.0 - 4.8 mm, diámetro del electrodo 1.14 mm clase EWTh-2, gas de 75He-25Ar.

5.9.4 Insertos de soldadura.- Son utilizados para producir gotas uniformes, los insertos normalmente es una pieza separada del material, aunque a veces se usan insertos integrales, pudiendo producir gotas suaves en un sistema manual o mecanizado, cuando se dispone de soldadores calificados.

Los insertos pueden ser de diferente configuración fig. N° 23. El propósito del inserto es pre-colocar el metal de relleno en la raíz de la junta.

Se pueden emplear insertos de diferente calidad al metal base, pueden ser utilizados siempre y cuando mejore la calidad de la raíz y de la soldadura, ref 40.

5.10. VARIACIONES DEL PROCESO TIG.

5.10.1 Soldadura manual.- Referido al proceso TIG. en la que el soldador manipula la pistola de soldar con la mano. Si se pone un alimentador de alambre automático a la pistola, el proceso es calificado como soldadura semiautomática, los productos generados por la soldadura manual se considerará para un sin fin de aplicaciones. Los equipos TIG. puede trabajar aún costo más baratos que otros procesos siempre y cuando los soldadores sean entrenados adecuadamente para soldar diferentes materiales.

La soldadura manual es bastante usado en tuberías de acero inoxidable, también se le emplea en la soldadura en el pase de raíz en tuberías de aceros al carbono.

5.10.2 Soldadura mecanizada:

Puede requerir ajustes en los parámetros de soldadura como en la observación visual, para lo cual requerirá de algunos accesorios especiales.

El sistema básico contiene un medio para sostener y mover la pistola de soldadura en la pieza de trabajo. Debido a que el voltaje del arco es una variable esencial en un proceso TIG. y es proporcional a la longitud de arco, los dispositivos de alimentación con frecuencia se usa apoyos en la pistola para controlar la longitud de arco.

5.10.3 Soldadura automática:

requiere ajuste como la soldadura manual y mecanizada, la aplicación más común de la soldadura automática esta asociada con cabezales de soldadura usadas para soldar tubos y tuberías.

Estos dispositivos se colocan a la pieza de trabajo y se mueven alrededor de la circunferencia, otros sistemas tienen alimentación de alambre y capacidad de oscilación. Estos sistemas se usan en conjunto con una computadora para controlar las variables de soldadura. Los controles son microprocesadores y drives de control numérico empleados para alta producción. La fig. N° 24 muestra un equipo de esas características muy usado en nuestro medio, equipo automático TIG.

5.11 INTRODUCCION A LA SOLDADURA POR ARCO PLASMA PAW.

La soldadura por arco plasma PAW se le puede definir como un proceso de soldadura por arco protegido con gas donde la unión de metales se alcanza mediante el calor transferido por un arco que es creado entre un electrodo

de tungsteno y la pieza de trabajo. El arco es contraído mediante el orificio de boquilla de aleación de cobre para formar una columna de arco altamente (collimate) fig.Nº 25. El plasma es formado por la ionización de una porción del gas de plasma, el proceso se puede realizar con o sin adición de material de aporte.

5.11.1 Principio de Operación. .

Una vez que el equipo se instale y se a iniciado la secuencia de soldadura, se conecta el plasma y los gases de protección, luego es encendido el arco piloto entre un electrodo de aleación de tungsteno y la boquilla de aleación de cobre dentro de la pistola mediante la aplicación de un voltaje al circuito abierto de alta frecuencia, cuando la pistola se lleva cerca de la pieza de trabajo o cuando se inicia la soldadura, el arco es transferido del electrodo a la pieza de trabajo a través del orificio en la boquilla de aleación de cobre (modo de arco transferido) en tales condiciones se forma el baño de fusión fig.Nº 26.

El proceso PAW se puede usar en dos modos de fusión:

- 1.- Por fusión. Se refiere a un baño de fusión similar a la que se forma en el proceso TIG donde una porción del material de trabajo que esta bajo el arco es fundido.

2.- El tipo Ojo de llave . El arco penetra totalmente el material de trabajo, formando un agujero concéntrico u (ojal), a través de ella el metal fundido de soldadura fluye alrededor del arco y se solidifica detrás del ojal, según como la pistola atraviese la pieza de trabajo.

5.11.2. Modos de operación y corriente.

El proceso PAW se clasifica de tres formas:

- * Micro plasma (por fusión)
- * Plasma de corriente media (por fusión)
- * Plasma de tipo Ojo de llave.

Esta clasificación se basa en el nivel de consumo de corriente:

1.- El Micro Plasma trabaja entre los rangos de corriente 0.1 a 15 Amp, El Plasma de corriente media entre 15 a 100 Amp. y el Plasma tipo ojo de llave Trabaja con corrientes > de 100 Amp.

2.- Los equipos del tipo efecto Ojo de llave pueden trabajar a 70 Amp. con laminas de espesores de 2 mm.(0.08 in) y equipos disponibles para corriente de soldadura de 500 Amp. no son recomendable, aunque se recomienda como máximo hasta 300 Amp.

3.- EL Micro Plasma y de Plasmas de corriente media son usados para materiales de 3 mm de espesor (0.12 ó 1/8 in) mientras que el plasma de tipo ojo de llave es usado en espesores grandes y a altas velocidades.

El componente positivo del electrodo del proceso de soldadura por arco de plasma y de polaridad variable (VPPA) promueve el ataque del cátodo en la película de óxido superficial cuando se suelda aleaciones de aluminio, permitiendo buenas características de flujo y consistencia en la gota. Los tiempos de pulso son de 20 ms. para el componente negativo del electrodo y 3 ms. para la polaridad positiva del electrodo. ref 39.

~~Nota :El proceso de soldadura VPPA es usado en forma efectiva en construcciones aeroespaciales.~~

El proceso PAW es usado generalmente cuando se requiere alta penetración en la soldadura y el primer proceso que se recomienda usar es el Tipo de ojo de llave ya que este proceso disminuye el número de pases y el tiempo de trabajo en la operaciones de soldadura (usado en alta producción).

En el otro extremo de la escala, se puede emplear el proceso de Micro plasma para soldaduras pequeñas y en espesores delgados (0.025 mm ó 1 mm de espesor), donde la alta concentración del arco y la baja corriente de soldadura puede ser adecuada para controlar el ingreso de calor y la distorsión tabla No 22.

5.11.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO PAW.

5.11.3.1 Ventajas.

- 1.- Para el proceso PAW del tipo Ojo de llave, puede penetrar en un solo pase simple, grandes espesores de metal, comparado con los procesos TIG. Esta gran cantidad de penetración permite que la preparación de las juntas sean más simples, por ejemplo, se puede usar una preparación de junta de tope ranurado para espesores hasta 12 mm. (espesores de $\frac{1}{2}$ in). El proceso puede ser similar al TIG por su alta unión de los cordones.
- 2.- El PAW minimiza los pases, los tiempos de soldadura y los costos de trabajo.
3. La forma columna del arco da como resultado una gran tolerancia a las variaciones en cuanto a la distancia ubicada de la pistola, comparado con la forma cónica del arco TIG.
- 4.- El electrodo de tungsteno usado en el proceso PAW esta protegido de la contaminación por la boquilla contraída.

5.11.3.2 Desventaja

- 1.- La longitud grande del arco permite una visión del baño de fusión, que es importante para la soldadura manual como para el proceso TIG.

- 2.- La alta **concentración del arco** alcanza altas penetraciones, también reduce la tolerancia del proceso para unir brechas y desaliniamientos comparado con el arco cónico de TIG.
- 3.- El Proceso PAW, tiene una gran complejidad en el diseño de la pistola y el gran numero de partes requieren mantenimiento con mucha frecuencia.
- 4.- La limpieza frecuente del **orificio de la boquilla.**
- 5.- El alto costo de capital de inversión del equipo comparado con el TIG.

5.11.4 EQUIPO.

Un sistema básico PAW consiste de una fuente de energía, **una consola de control de plasma**, un enfriador de agua, una pistola de soldar y un suministro de gas para el plasma y los gases de protección fig. N° 27, la fuente de energía que suministra la energía principal para el sistema de soldadura, es complementado con un controlador de secuencias y una consola de control.

El controlador de secuencias maneja el tiempo del flujo de gas, la iniciación del **arco**, el **control de corriente principal de soldadura** y cualquiera de los parámetros de subida o bajada.

En su forma más simple, la consola de control de plasma controla el flujo de gas para el plasma y gases de protección considerados flujómetros separados e incorpora un circuito de iniciación del arco de alta frecuencia.

La pistola de soldar puede ser manual o mecanizada y es enfriada con agua para evitar el sobre calentamiento de la pistola y obtener mayor duración del equipo. En la mayoría de las instalaciones PAW y los gases de protección se suministran desde cilindros separados de gas, aunque también se puede usar un gas BULK (mezcla de gases). El suministro de gas es dirigido por la consola de control de plasma, donde las velocidades individuales de flujo son controlados por el operador.

5.11.5.Fuente de energía.

Son equipos de corriente constante; los más comunes son las fuentes de energía transistorizada, aunque también están disponibles suministros de energía de inversión. Los equipos deben de tener un mínimo de tensión de vacío (80 volt.) para asegurar la transferencia de la corriente principal al arco.

Los equipos pueden contener controladores o potenciómetros para seleccionar los parámetros de la corriente de pulso, que son los niveles de corriente de pico, los terminales controlan los tiempos de pico y su termino.

5.11.6. Pistola de soldadura.

Como los otros procesos de soldadura de arco, las pistolas PAW están disponibles en un cierto rango de tamaños para diferentes niveles de energía y en las versiones manuales y mecanizadas, los principios de diseño son los mismos en cada caso. Un electrodo de aleación de Tungsteno es sostenido por un colector dentro del cuerpo de la pistola.

El montaje del electrodo es colocado dentro de una cámara y se suministra el gas de plasma a esta cámara, una boquilla de rosca de aleación de cobre o cerámica forma el frente de la cámara y contiene el orificio de la boquilla usado para contraer el arco de plasma.

La pistola es conectado a la fuente de energía y el electrodo al polo negativo o positivo del circuito para una corriente continua o alterna; las mangueras de gas que suministra el plasma y gases de protección y las mangueras de enfriamiento por agua están todas conectadas al cuerpo de la pistola o mango, estas mangueras están enceradas en una fundad flexible que se extiende desde la pistola a los componentes del sistema del equipo, ref 31.

Tabla N° 23. Combinación de Gas Plasma y Gas de protección.

Metal	Gas Plasma	Gas de Protección
Aceros en General	Argón	Argón Argón + 2-5% H ₂
Aceros aleados	Argón	Argón
Ac. Inox. Austeniticos	Argón	Argón + 2-5% H ₂ Helio
Ni y Aleaciones de Ni	Argón	Argón Argón + 2-5% H ₂
Titanio	Argón	Argón
Al y Aleaciones de Al	Argón	75He25Ar Argón
Cu y Aleaciones de Cu	Argón	Helio 75He25Ar.

5.11.6.1 Soldadura por arco plasma en aleaciones de Aceros Inoxidables Ferríticos. Los cuidados que se deben tener en cuenta para un proceso PAW en los aceros inoxidables ferríticos es muy similar al del proceso TIG. y si Ud. ha considerado el uso del gas de hidrógeno para PAW hay que tener en cuenta la posibilidad de rajadura del metal soldado causado por la interacción del hidrógeno en el metal y en condiciones de alta tensión. La experiencia adquirida con el proceso TIG en el tipo 409, indica que las adiciones de hidrógeno causaran fragilidad inmediata después de la soldadura, pero la mayor parte del hidrógeno se difunde hacia el exterior del metal soldado dentro las 48 horas y se restaura la ductibilidad. Sin embargo la situación es más crítica con las aleaciones con alto cromo, tabla No 24 y 25.

Una ventaja del proceso PAW es que el arco de alta intensidad producirá una gota incidente de soldadura caracterizada por su penetración profunda y una zona ZAC más estrecha que la producida por el proceso TIG. Es posible menos crecimiento del grano ZAC con PAW que con TIG.

5.11.7. Electrodos.

Los electrodos no consumibles empleados son de Tungsteno con 2% (ThO_2). La especificación es de acuerdo a AWS A5-12-92. El tamaño de electrodo se selecciona de acuerdo a los niveles de corriente de soldadura a ser usado.

El ángulo del cual depende en la selección del nivel de corriente de soldadura se muestran en la tabla N°1 se muestran los tamaños del electrodo y los ángulos en las puntas para un rango de corriente de soldadura.

Los nuevos tipos de electrodos de tungsteno contienen óxidos de elementos en TIERRAS RARAS en lugar de óxido de torio, estos electrodos tienen mayor duración en las puntas, sin embargo son más caros y su utilidad en la soldadura por arco de plasma puede ser limitado debido a que se requiere altos niveles de protección en la boquilla. En las aplicaciones de soldadura de baja corriente por microplasma, su mejor emisión proporciona una fácil transferencia de arco y su fácil operatividad.

5.11.8. Aplicaciones.

5.11.8.1 Tipos de material.

Tabla No 26, el proceso PAW es usado comúnmente para soldar aceros Inoxidables en un amplio rango de espesores, el proceso también puede ser usado con aceros al Carbono y Aleados, aleaciones de Aluminio, aleaciones de Titanio, aleaciones de Cobre y Níquel, y otros materiales tales como Zirconio y Tantalio.

Los espesores pueden ser soldados con un pase simple y están en el rango de 0.025 mm a 1 mm para MicroPlasma y 12.5 mm para soldadura VPPA en Aluminio, en la mayoría de materiales se usa corriente continua.

5.11.9 Industrias.

Las industrias que usan el proceso PAW pueden ser clasificados como aquellas que sueldan laminas de secciones delgadas usando MicroPlasma o soldadura de plasma de Corriente Media y aquellas que sueldan placas usando soldadura de plasma tipo Ojo de Llave.

Un amplio rango de dispositivos pequeños y partes hechas de lamina delgada de acero inoxidable, incluyendo fuelles de montaje, son soldados usando el Micriplasma o PAW de Corriente Media. La gota incidente estrecha de soldadura, resultado de la naturaleza columnar del arco que se produce favorece que la lamina de metal tenga buena apariencia, además de la alta velocidad de soldeo que es desarrollado por este proceso lo hace adecuado para una alta producción.

La soldadura por Plasma tipo Ojo de llave es ampliamente usado para soldar tubos de acero inoxidable y tanques de almacenamiento, el proceso es aplicado strakes individuales desde una placa a contenedores hechos de acero inoxidable en las industrias de procesamiento Químico y de Alimentos. Las soldaduras longitudinales en tubos de acero inoxidable con espesores de pared = 3 mm. son adecuada para este tipo de soldadura, debido a que se reduce la preparación de la junta y se puede llegar a una soldadura consistente a pases simple sin el uso de dispositivos adicionales.

Los tubos con espesores de 5 a 6 mm, emplean también este proceso solamente en el pase de raíz cuando se tiene otros procesos de fusión complementaría PAW, TIG, MIG ó SAW.

5.11.10 Inspección y control de calidad de la soldadura.

Todas las técnicas de evaluación no destructivas descritas en el capítulo VIII son aplicables, a las soldaduras por arco de plasma, la Radiografía e inspección ultrasónica son las técnicas más recomendadas.

5.11.11. Requerimiento de personal.

El nivel de habilidad y los requerimientos de adiestramiento para el proceso PAW generalmente son similares a los proceso TIG. cuando se suelda

manualmente, la naturaleza columnar del arco de plasma permite una gran variación de la distancia (pistola a la pieza de trabajo) sin alterar el tamaño y forma del bano de fusión.

Cuando se realiza la soldadura mecanizada que es usualmente para el caso Ojo de llave, se requiere que el operador ajuste un gran numero de parámetros comparado con TIG. será necesario un adiestramiento del operador.

5.11.12. Salud y la seguridad.

Relativo al proceso PAW son similares a los otros procesos de soldadura como arco protegido por gas, especialmente TIG. a esto se incluye el efecto de shock eléctrico, peligro de radiación electromagnética, particularmente radiaciones ultravioletas, quemaduras con las partes de metal caliente, la generación de OZONO, los volúmenes de emisión de este gas es bajo según dado por el fabricante. Para el Microplasma, que es usado comúnmente en forma manual, este proceso emplea bajos niveles de corriente que los niveles de emisión de ozono son despreciables.

Nota: El rápido decaimiento del ozono puede ser dado a una corta distancia del arco, asociado con el alto grado de mecanización y automatización de las operaciones de soldadura, esto significa que la exposición del operador generalmente es baja.

CAPITULO VI

ATMOSFERA PROTECTORA PARA LA SOLDADURA TIG. Y PAW.

CAPITULO VI

ATMOSFERA PROTECTORA PARA LA SOLDADURA TIG. Y PAW.

El gas de protección usado en los procesos de soldadura tiene una influencia significativa en el desempeño de la soldadura. Su función primaria es proteger el metal fundido del Nitrógeno y Oxígeno atmosférico cuando se forme el baño de fusión. El gas de protección promueve una transferencia uniforme del metal y estabiliza el arco.

El gas de protección interactúan con el material base y con el material de aporte generando una resistencia básica, tenacidad y resistencia a la corrosión en la soldadura, esto puede afectar la forma de la gota incidente y la forma de penetración.

La comprensión de las propiedades básicas del gas de protección será de gran ayuda en la selección correcta del gas o mezcla de gases en la aplicación de la soldadura.

6.1. PROPIEDADES BASICAS DE UN GAS DE PROTECCION.

La descarga eléctrica controlada conocida como arco eléctrico de soldadura es formado y sostenido por el establecimiento de un medio de conducción llamado el Plasma de arco.

El plasma esta formado por el gas ionizado, metales fundidos, escorias, vapores y átomos y moléculas gaseosos.

La formación del plasma de arco es dependiente de las propiedades de los gases de protección usados para la soldadura, en la tabla N° 29, se muestran las propiedades básicas de los gases usados por la soldadura. ref 34.

6.1.2. El potencial de ionización.

Es la energía, expresada en electro voltio, necesario para remover el electrón de un átomo de gas, convirtiéndolo en un Ión o átomo gaseoso cargado electricamente. si todos los demás factores se mantiene constante, el valor del potencial de ionización disminuye al aumentar el peso molecular del gas.

El inicio y la estabilidad del arco se ve muy influenciado por este potencial de ionización de los componentes del gas de protección usado en el proceso de soldadura.

Un gas con un potencial de ionización bajo, como el Argón, puede hacer que los átomos se conviertan en iones fácilmente, el Helio, con un potencial de ionización alto, produce un arco menos estable y difícil de iniciar.

Los niveles de energía requeridos para ionizar estos gases han de ser mantenidos, como consecuencia del voltaje que es influenciado directamente; Para las longitudes equivalentes de arco y corrientes de soldadura, el voltaje obtenido por el Helio es mayor

que con el Argón, esto se traduce en una mayor cantidad de calor disponible para el material base con Helio que con Argón.

6.1.3. La conductividad térmica.

La definición tradicional para la conductividad térmica, es la medida de la rapidez a la que fluye el calor a través de un material.

Esta influencia de la pérdida de calor radial del centro a la periferia del arco, así como la transferencia de calor entre el plasma y el metal líquido lo definiremos conductividad térmica de un gas.

El Argón, tiene una baja conductividad térmica, produce un arco que presenta dos zonas: la primera un núcleo caliente y segunda una zona exterior considerablemente fría, el perfil de penetración del área de fusión soldada, exhibe la forma de una "UNA" en la raíz y una parte superior ancha.

Un gas con alta conductividad térmica conduce calor externo desde el núcleo hacia la zona externa, dando como resultado un núcleo de arco ancho y caliente (el área de fusión se producen cordones anchos), este tipo de distribuciones de calor ocurre con el gas de Helio (He), (Ar-H₂) y (Ar-CO₂); dando una mayor distribución de calor en la superficie de trabajo fig 29.

6.1.4. Reactividad / potencial de oxidación.

La naturaleza de oxidación del gas de protección afecta a la soldadura y las propiedades del depósito de la soldadura resultante. El Argón y el Helio no son reactivos, son inertes, y por lo cual NO afecta químicamente el metal soldado.

Los gases activos u oxidantes, tales como CO_2 y O_2 (ACMIG), reaccionará con los elementos en el metal de relleno o metal de aporte y formará una escoria sobre la superficie del depósito de soldadura. La pérdida de elementos como Mn y Si, del acero puede afectar la calidad y aumenta su costo en las reparaciones del cordón de soldadura producida.

La resistencia de la soldadura y la tenacidad generalmente disminuyen al aumentar la naturaleza oxidante del gas de protección, La adición de gases reactivos tales como Oxígeno o Dióxido de carbono CO_2 , promueven la estabilidad del arco y afecta el tipo de transferencia del metal obtenido.

La frecuencia del goteo aumentará por unidad de tiempo a medida que se aumenta el nivel de oxígeno en gas de protección, el oxígeno reduce la tensión superficial de la gota incidente de soldadura, promoviendo un mejor transferencia de la gota incidente y altas velocidades de soldadura, pequeñas adiciones de CO_2 trabajan de manera similar, su uso se limita solo en un proceso MIG/MAG.

6.1.5. Pureza del gas.

Algunos metales como el acero al carbono, acero inoxidable y cobre, tienen una tolerancia relativamente alta para los contaminantes en el gas de protección, otros metales tales como aluminio y magnesio, son más sensibles. Inclusive otros metales tales como el Titanio y Zirconio, tienen una tolerancia extremadamente baja para cualquier constituyente extraño en el gas de protección.

Dependiendo del metal a ser soldado y el proceso de soldadura usado, las cantidades muy pequeñas de impurezas de gas pueden afectar significativamente la velocidad de soldadura, la apariencia de la superficie soldada, la solidificación de la gota incidente de soldadura y los niveles de porosidad.

Los efectos de cualquier impureza abarcan un amplio rango, pero la calidad de la soldadura y sus propiedades abarcan mayores áreas.

Siempre hay una posibilidad de que el gas sea contaminado, sin embargo, es más probable que las impurezas ingresen de algún lado entre en suministros y los puntos de distribución. Por esta razón, los suministros y mangueras de alta calidad, son recomendables para ser usado con los gases de protección en la soldadura. En la tabla N°28 se muestran los niveles industriales de pureza mínima recomendables para los gases de soldadura.ref 33.

Tabla N° 29, Pureza de los gases de protección más usados en la soldadura. ref 33.

Gas	Producto	Pureza Máxima	Máx. Contaminantes.
Argón	Gas	99.995	10 ppm.
Dióxido de carbono	Gas	99.5	19 ppm.
Helio	Gas	99.95	32 ppm.
Hidrógeno	Gas	99.95	8 ppm.
Nitrógeno	Gas	99.70	32 ppm.
Oxígeno	Industrial	99.5	50 ppm.
	Líquido	99.5	6 ppm.

Cuando se trabaje con aceros inoxidable ferríticos se deberá tener mucho cuidado ya que estos tipos de material son muy sensibles a la contaminación de elementos intersticial, para lo cual es importante la revisión de estos elementos para que no degraden las propiedades tales como la ductibilidad, tenacidad y la resistencia a la corrosión. Las impurezas encontradas comúnmente en los cilindros de gas o sistema múltiple son la humedad (cómo los aceites de las compresoras) y dióxido de carbono (cuando no es adicionado intencionalmente) la humedad en el gas CO₂ también es un problema común.

En el mercado existen sistemas que pueden eliminar los contaminantes de gas a niveles por debajo de 1 ppm, son de múltiples componentes.

Estos sistemas son pesados, usualmente las velocidades de flujo son limitadas o restringidas y no son muy portátiles. Otro sistema cuentan con una resina que es un compuesto recargable simple que puede proporcionar la remoción efectiva de una

variedad de impurezas a menos de 10 ppm, opera a temperatura ambiente es ligero y portátil en la fig N°29.1 se muestra los efectos del uso de este sistema sobre el impacto de una placas de aleación ferritica de 6 mm de espesor, ref 24.

6.1.5. Densidad del gas.

Es el peso de gas por unidad de volumen. la densidad es uno de los factores principales que influyen en la efectividad del gas de protección. Básicamente los gases más pesados que el aire, tales como el Argón y dióxido de carbono requieren bajas velocidades de flujo que los gases ligeros, tales como el Helio, para asegurar una protección adecuada del baño de fusión.

Tabla No 30 Propiedades de los Gases de Protección, usados en un proceso de soldadura.

Gas	Peso Molecular	Gravedad especifica	Densidad g/l	Potencial de Ionización aJ(b)	Inonización eV
Ar	39.95	1.380	1.784	2.52	15.74
CO ₂	44.01	1.530	1.978	2.26	14.4
He	4.00	0.1368	0.178	3.92	24.5
H ₂	2.01	0.0695	0.090	2.16	13.5
N ₂	28.01	0.967	12.500	2.32	14.5
O ₂	32.00	1.105	1.430	2.11	13.2

(a) At 100 Kp (1 atm) y 0°C, (b) 10⁻¹⁸ J.

6.2. CARACTERISTICAS DE LOS COMPONENTES DE UNA MEZCLA DE GAS DE PROTECCION EN EL PROCESO T.I.G.

Para obtener un gas de protección adecuado para una aplicación especifica generalmente es necesario un gas o una mezcla de gas que facilite obtener buenos cordones.

Algunas mezclas de gas tienen áreas relativamente específicas con un rango de aplicación limitado; otros pueden ser usados con muchos materiales y bajo una variedad de condiciones de procesos de soldadura. Cada componente de la mezcla proporciona propiedades que son complementados por otro gas para producir un mayor nivel de eficiencia esto será más notorio en los procesos MIG/MAG, TIG y PAW.

6.2.1 Argón.

Es el gas más usado por la soldadura TIG. el Argón exhibe baja conductividad térmica, que produce una columna de arco contraída y estrecha; esto permite grandes variaciones en la longitud de arco con una influencia mínima en la formación de la gota incidente de soldadura.

Su bajo potencial de ionización proporciona buenas características de encendido y buena estabilidad del arco, generalmente la conexión de energía del electrodo en el polo negativo de corriente continua DCEN el más empleado en la mayoría de los materiales con Argón como gas de protección y la acción de limpieza del arco superior con la presencia de la gota cuando se emplee la corriente alterna para el aluminio y magnesio.

El argón es aproximadamente 1.4 veces más pesado que el aire, facilita el desplazamiento del aire en el baño de fusión, originando cordones limpios

6.2.2 Helio.

La alta conductividad térmica y potencial de ionización del Helio lo hacen adecuado para la soldadura con alta cantidad de corriente, usando CC y PD o DCEN que es muy efectivo en materiales de secciones gruesas como el Aluminio. El helio incrementa la penetración de la soldadura formando cordones anchos, también permite el uso de grandes velocidades; El alto voltaje propicia un aumento de calor Q , para una longitud de arco y corriente I .

$$Q = I * V * t.$$

donde Q esta en Joule, I en amperios y t en segundos.

6.2.3. Argón - Helio.

Se seleccionan mezclas de Ar-He para incrementar la entrada del calor al material base, tiene características superiores en el encendido y estabiliza el arco. Comummente se usan mezclas de 25, 50 y 75 % He y el resto es Ar.

6.2.4. Argón - Hidrógeno.

El hidrógeno es adicionado al Argón para aumentar sus propiedades térmicas, la atmósfera ligeramente de reducción mejora el contacto del baño de soldadura y reduce la formación de algunos óxidos superficiales, produciendo una superficie de soldadura limpia. Para minimizar los problemas asociados con el inicio del arco, las adiciones de Hidrógeno generalmente son de 5 a 15 % . Estas mezclas se usan para soldar algunos aceros inoxidables, Níquel y aleaciones de Níquel.

Estas mezclas no debe emplearse para soldar aceros aleados, esto puede favorecer la rajadura en el cordón.

El Argón con 2 - 5 % H_2 , es se emplea cuando se suelda manualmente en materiales con espesores $>$ de 1.6 mm (1/16 in), las adiciones de 10 a 15 % de H_2 , son usados en aplicaciones mecanizadas, tales como aquellas encontradas en la fabricación de tubos de acero inoxidable.

6.2.5 Fragilización por hidrógeno en aceros Inoxidables Ferrítico.

Los aceros inoxidables ferríticos son susceptibles a la fragilidad por hidrógeno. Por esta razón, se deberá evitar el uso de gases que contenga hidrógeno. El hidrógeno también puede ser creado a partir del agua, vapor de agua y aceites, y que deberán ser rigurosamente excluido de la zona de soldeo.

La presencia del hidrógeno en la soldadura de aceros inoxidables puede ocasionar rajaduras en la gota incidente después de soldar. También puede reducir la ductibilidad en aquellas soldaduras que no presentan rajaduras.

Las partículas superficiales de óxido y/o nitruros pueden inhibir la salida de hidrógeno y pueden ser necesario remover tales partículas para facilitar la salida del hidrógeno. ref 35.

6.2.6 Velocidad de flujo.

El helio, debido a su baja densidad, debe ser usado a altas velocidades de flujo que el gas argón, la velocidad típica de flujo de gas para el argón de 7 lit/min. y para un gas de helio 14 lit/min. ref 10

6.3. SELECCION DEL GAS DE PROTECCION PARA PAW.

La configuración física del sistema PAW requiere el uso de dos gases: un Plasma o gas de orificio y gas de protección; El gas de plasma es usado para generar el arco, mientras que el gas de protección es usado para proporcionar el baño de fusión con protección suplementaria de la contaminación atmosférica mientras se solidifica y enfría, casi siempre el gas de plasma es el Argón.

Las propiedades del gas afectan la forma y calidad de la soldadura y las velocidades de flujo, particularmente del plasma de gas. La velocidad de flujo puede variar desde 0.1 l/min (0.026 gal/min), para la soldadura por MicroPlasma hasta 10 l/min.(2.6 gal/min), para la soldadura por plasma tipo Ojo de llave, debe de tener bastante cuidado para regular la velocidad del flujo de gas si se requiere el Ojo de llave, debido a que la velocidad de flujo debe llegar de 1 a 2 l/min.(0.26 a 0.52 gal/min) dentro del primer segundo.

El argón proporciona una protección efectiva, siendo este más pesado que el aire y más barato que el Helio. La mezcla de Helio y Argón-Helio pueden ser usados como gases

de protección para incrementar la conductividad térmica del gas y además el efecto del calentamiento sobre el baño de fusión. Con el He se obtiene baños de fusión más anchos que con el argón, debido a que se produce un alto voltaje del arco, ref 38.

Las adiciones de Hidrógeno al gas de protección de Argón tienden a promover baño de fusión ligeramente más estrechos por la contracción del arco y se alcanza una apariencia muy limpia del baño de fusión, aunque el gas H_2 y el gas He son adicionados al gas Ar. empleándolo como un gas de protección para obtener un alto ingreso de calor, ref 37, su uso no es frecuente.

- * El rol primario del gas de Plasma.- que sale de la pistola a través del orificio central, es controlar las características del arco y proteger el electrodo.

- * El gas de protección , introducido alrededor de la periferia del arco, cubre y protege el área de soldadura, en muchas aplicaciones, el gas de protección también en parcialmente ionizado para mejorar el desempeño del gas de Plasma.

6.3.1 PAW de corriente baja < 100 Amp.

El argón es el plasma preferido para el proceso PAW en corrientes bajas debido a su bajo potencial de ionización que asegura un fácil inicio del arco. La mezcla de Ar-He son usados para algunas aplicaciones que requieren un alto ingreso de calor.

La elección del gas de protección depende del tipo de espesor del material base. en la tabla N° 29 se pueden encontrar algunas recomendaciones.

6.3.2 PAW de corriente alta > de 100 Amp.

La elección del gas para el proceso PAW de corriente alta también depende del material a ser soldado. En casi todos los casos el gas de protección es el mismo gas de orificio, naturalmente el Argón es adecuado para soldar todos los metales, pero no necesariamente produce resultados óptimos, dependiendo del modo de la soldadura empleada, variara la mezcla óptima del gas, en la tabla N° 31 se puede encontrar algunas recomendaciones.

CAPITULO VII.

PASIVACION DE LOS ACEROS INOXIDABLES EN EL PROCESO
TIG.

CAPITULO VII.

PASIVACION DE LOS ACEROS INOXIDABLES EN EL PROCESO TIG.

Los aceros inoxidable austeníticos son resistentes a la corrosión, únicamente cuando su superficie es limpia, pulida y pasivada.

El aseguramiento de la resistencia a la corrosión en construcciones soldadas y no soldadas mediante tratamiento superficiales como decapado o arenado a chorro seguido por una pasivación representa la técnica actual. En caso de dano el ocasionante puede ser responsabilizado si se comprueba alguna de estas omisiones.

Si no existen prescripciones correspondiente al post tratamiento, el cliente deberá de especificar al fabricante las condiciones a que se someterá la superficie.

7.1. RESISTENCIA A LA CORROSION

La resistencia a la corrosión (comportamiento pasivo contra el medio agresivo) se logra mediante una capa muy delgada y cohesivo de óxido de cromo, la llamada capa pasivadora. Se forma con un contenido de cromo de más del 12 %. Esto explica la resistencia a la corrosión en los aceros con más del 12% en Cr. Este proceso puede compararse con la formación de una pátina de cobre. La capa de pasivación consiste en 5 - 10 capas de molculas llegando formar un espesor 10^{-4} micrometros, lo que corresponde a la millonsima parte de un milímetro.

7.1.1. Oxidación de la superficie.

En la soldadura con protección de gas se forma capas de óxido en la superficie del cordón y las zonas vecinas a ella. Dependen de la proporción de los componentes oxidantes en el gas protector y de la temperatura de las áreas calentadas alrededor de ellas. Las superficies metálicas debajo de los óxidos no tienen la típica capa pasivada y por consiguiente es susceptible a la corrosión si son expuestas a un medio corrosivo.

7.1.2. Colores del Revenido.

Por efecto de los gases oxidantes, a determinada temperatura se forman sobre los metales y aleaciones compuestos que son visibles a partir de un espesor de capa de aproximadamente 0.15 micrones al que se le llama colores del revenido. Esta coloración depende del espesor de la capa de óxido y este a su vez del grado de la acción oxidante del gas y su tiempo de acción

El primer espesor de esta capa es del orden de 0.13 micrones o sea 130 veces más grueso que la sensible capa pasivada de 10^{-2} micrones. Las capas coloreadas de óxido son porosas y quebradizas, como las capas de óxido de la superficie del cordón. Un medio líquido agresivo como la lluvia o rocío penetra los poros y fisuras hasta la superficie metálica ya no pasivada del material, ocasionando la corrosión.ref 29

7.1.3. Tratamiento Post Mecánico.

El tratamiento post mecánico que se emplean para eliminar los óxidos y la cascarilla, son en muchas ocasiones el uso del viejo o nuevo cepillo de alambre, y piensan que con esto han hecho lo suficiente. Pero pronto serán convencidos que no es así. El uso del cepillo de alambre será necesariamente de **acero** inoxidable y **usado** exclusivamente para materiales al cromo-níquel y acero inoxidables. porque en otro caso existe la posibilidad que partículas de alambre o de acero al carbono sean transferidos a las superficies de los aceros cromo-níquel y aceros inoxidables formando puntos susceptibles a la corrosión. Mejor que el cepillado manual es el cepillo accionados mecánicamente, a fin de que también las impurezas invisibles sean removidas.

Otro método que se deberá emplear es el esmerilado. Aquí también es importante la limpieza del abrasivo sea de banda o disco su uso deberá ser solamente empleado para materiales de Cromo-Níquel y Acero Inoxidable, nunca usar dicho disco en materiales de Acero al carbono.

Para grandes sobreelevaciones de las costuras y otras rugosidades se deberá emplear un disco esmerilador de granulación 20 a 36 ó emplearse de granulación más fina como de 46 a 80.

La pieza de ninguna manera deberá calentarse en el lugar esmerilado a más de 300 °C, a esta temperatura el esmerilado cambia de color. Por esta razón el disco debe conducirse sobre una área más grande solamente con poca presión. ref 46.

7.1.4 Construcción y fabricación que permite el decapado.

los equipos y maquinarias obtenidas por construcción y fabricación deben recibir un tratamiento en su superficie, siempre deben de tener una conformación que facilite un correcto decapado, enjuague y pasivado, para garantizar esto se debe de evitar:

- 1.- Costuras angulares soldadas de un solo lado, en juntas de solape y en forma de T.
- 2.- Costuras interrumpidas
- 3.- Fisuras a causa de los defectos en la soldadura hacia la superficie y porosidades, así como raíces no completamente soldada.

Por consiguiente, en la misma construcción debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- A.- Cerrar las fisuras mediante la soldadura que se extiende a su alrededor.
- B.- En caso de acceso desde un solo lado, reemplazar cordones angulares por juntas a tope.

- C.- Usar aceros de perfil angular para evitar soldaduras de difícil acceso.

En la proceso de fabricación se favorece mucho un decapado posterior, por ejemplo seleccionando apropiadamente el proceso de soldadura, el material y el gas de protección.

- A.- Debe averiguarse si en la soldadura es imprescindible usar un material base y de aporte de aleación al molibdeno o estabilizado con Niobio, que formen óxidos.
- B.- Los aceros resistentes a la corrosión de bajo contenido de carbono dan en la soldadura capas de oxidación preferible cuando son de menor espesor.
- C.- En caso de costuras delgadas, una menor energía del arco reduce la oxidación en la superficie del cordón después de salir del gas de protección ref 29

7.2. TRATAMIENTO POST QUIMICO O DECAPADO.

En los aceros inoxidable austeníticos una superficie inmaculada es necesario el decapado. Significa la remoción química de las capas de óxido, cascarilla o metales de la superficie mediante un ataque ácido. Los mordientes débiles solo desuelven los óxidos y aflojan la cascarilla. Para aceros del tipo inox 18/9, 18/10 ó 20/10 según (DIN 17440), las condiciones técnicas de entrega para planchas, flejes laminados en caliente, alambre laminado, alambre trefilado, aceros en barra, pieza forjadas y semiproductos

; se usan generalmente mordientes de fuerza mediana; La profundidad del decapado es de 2 a 5 micrones (0.002 a 0.005 mm) dependiendo de la composición del baño y tiempo de duración del decapado

Para garantizar la acción correcta del decapado, previamente es necesario desengrasar las superficies, con el proceso de decapado se logra lo siguiente:

- A.- Eliminación de óxidos ajenos.
- B.- Remoción o nivelación de estría de operación logrando una reducción de tensiones residuales y picos de dureza.
- C.- Aumento de la seguridad contra la corrosión por disminución de las asperezas de la superficie; el área de acción para el ataque corrosivo se reduce.
- D.- Estructura uniforme de la superficie.
- E.- Favorace la formación de la capa pasivante.

Antes se usaba para un decapado rápido y profundo, empleando ácido clorhídrico diluido HCL. esto puede acelerar la corrosión, los fabricantes recomienda el empleo de una mezcla de ácido nítrico, ácido fluorhídrico, ácido clorhídrico y ácido sulfúrico. la aplicación de un líquido decapante, dependera del tipo de capa y espesor; Por ejemplo:

Los aceros al cromo-níquel con adición de molibdeno requiere un tiempo de actuación del agente decapador mucho mayor, cuando se trate de partes conformadas en frío y luego recocidas mayormente se trabaja con decapado previo y decapado final, para costuras soldadas en sus zonas afectadas por el calor muchas veces se usa pasta de decapado con 15 a 20 % de ácido nítrico y 1.5 a 3.0 % de ácido fluorhídrico.

Tabla No 32, Decapado preliminar y final, así como la pasta de decapado para costuras soldadas en Acero Inoxidables.

Medio para decapado.	%	Temp. en ° C	Tiempo del decapado.
Decapado preliminar			
Acido Nítrico al 50%	10 a 20	20 a 60	60 minutos
H ₂ O	RESTO		
Decapado final			
Acido Nítrico al 50%	10 a 20	20 a 40	20 minutos
Ac. Fluorhídrico al 60%	2.5 a 3		
H ₂ O	RESTO		
Pasta para costuras			
Acido Nítrico al 70%	15 a 20	> 5	30 a 60 min.
Ac. Fluorhídrico al 60%	1.5 A 3		
Medio de espesamiento y H ₂ O			RESTO.

7.3. INMERSION O ROCIO.

En los baños para el decapado hay que tener en cuenta el tamaño del tanque de inmersión y de las dimensiones del componente no depende de estos factores para un decapado por rociado (pulverizado), con un baño por aspersion del líquido en el sitio de trabajo se podrá tener el mismo efecto.

En este sentido se ha comprobado que para la tabla No 32 el tiempo de decapado es de aproximadamente de 20 a 40 minutos, para la remoción de una capa de 2 a 5 micrones, con una temperatura del baño aproximadamente de 30 °C.

Factores a tomar en cuenta para un buen decapado:

- A.- Una alta temperatura de decapado reduce el tiempo de acción, una baja temperatura lo alarga; en caso de temperaturas muy bajas se recomienda a veces calentar el baño.
- B.- El contenido de molibdeno y un mayor porcentaje de cromo-níquel en los aceros prolonga el tiempo de decapado.
- C.- Un creciente grado de desgaste del baño de mordientes prolonga el tiempo del decapado.

En la practica es posible que el tiempo del decapado pueda prolongarse hasta una a dos horas, debido a las influencias mencionadas, todas las soluciones para el decapado son preparadas con agua y se deberá tener el siguiente cuidado:

- A.- El agua de pozos o ríos puede contener materias extrañas que afectan grandemente la acción del decapado.
- B.- El agua potable puede contener una gran cantidad de iones cloro.

Los puntos arriba descritos deberán tomarse con mucho cuidado, un descuido favorecerá una corrosión intergranular, por tanto se deberá limitar a 50 ppm como máx. de contaminantes. para estar seguro, en caso que esto aún es demasiado alto se deberá usar agua completamente desalinizada y ionizada. ref 46.

7.3.1. Decapado por medio de pastas.

No solo existen medios líquidos para el decapado sino también en pastas. Las pastas para decapado de alta calidad contienen agentes que retienen la humedad, garantizando así el efecto del decapado durante varias horas. Otras adiciones permiten su aplicación sobre superficies ligeramente gruesas, manteniendo una alta efectividad del decapado.

Su viscosidad permite la adhesión también en áreas verticales de un espesor económico, el empleo de las pastas para el decapado deberán cumplir con la siguiente condición:

- A.- No hay baño de mordientes si es demasiado pequeño.
- B.- Cuando se necesite un decapado en posición forzada.
- C.- El decapado sólo es localmente necesario, por ejemplo en los cordones de soldadura.

D.- Por el decapado únicamente se requiere restablecer una capa pasiva localizadamente deteriorada, por ej: En el área de costuras soldadas en la obra.

E.- Aplicar la pasta de decapado en un espesor aprox. 2 mm sobre la costura, esto deberá realizar en aire libre y buena ventilación este ambiente no deberá ser más frío de 5 grados centígrados

F.- Después de su actuación (durante 30 60 minutos) deberá eliminarse la pasta mediante el cepillado de alambre bien húmedo o mediante un chorro de vapor.

7.3.2 El Arenado puede sustituir el decapado.

Este proceso puede aplicarse localmente y en forma restringida. Acontinuación se darán algunos casos más frecuentes de decapado, es posible aplicar el chorro de arena y con el mismo éxito que un decapado químico ó por pasta. Sin embargo debe tomarse en consideración lo siguiente:

A.- Por principio en el decapado químico, debe de existir una profundidad de decapado suficientemente grande.

B.- La profundidad de la aspereza en la superficie arenada debería corresponder a la calidad de una superficie decapada, esto rige especialmente para componentes muy expuestos a la corrosión..

C.- La sustancia seleccionada para el arenado siempre debe estar exento de sustancias ferríticas.

En caso del chorro para el decapado se usa electocorindón como medio de arenado, La aspereza superficial puede ser muy profunda y reduciría su resistencia a la corrosión, por esta razón a menudo se usa un arenado compactador alisador. En este caso los medios empleados son perlas de vidrio de una granulometría (malla 4 a 6), pero no demasiada pequeña; si el alisado de la superficie se realiza correctamente, aumenta su resistencia contra la corrosión.

7.4. PASIVACION.

Sin que importe el tipo de decapado usado; ya por medio líquido, en pasta, etc. en todo caso será necesario limpiar/enjuagar su superficie para evitar la corrosión.

El proceso de pasivación comienza ya durante el enjuague. Como pasivación se entiende como ya se menciona a la formación de la capa de óxido de cromo resistente a la corrosión. Se forma sobre todo por efecto del oxígeno del aire. Los tiempos indicados son de varias horas llegando

en el peor de los casos a varios días. En realidad la pasivación se entiende la producción rápida de óxido de cromo con ayuda de sustancias químicas que se oxidan fuertemente. Generalmente se trata de productos comerciales que contienen mayor porcentaje de ácido nítrico como portador de oxígeno, además las condiciones de ataque se encuentran en el límite del esfuerzo de corrosión eventualmente posible.

Se hace la pasivación con ácido nítrico caliente (55 a 70 °C) durante 30 a 60 minutos. Después es necesario enjuagar con agua caliente y limpia. La capa pasivada se forma dentro de pocos minutos. ref 44.

Tabla Nº 33, Recomendaciones para una Pasivación en Aceros Inoxidable (no tratado mecánicamente).

Tipo	Tratamiento de Pasivación
Austeníticos del tipo 300 Contenido > 17 % Cr. (excepto la serie 440)	20 % del Volumen de HNO ₃ tratados (50 - 60 °C) durante 30 minutos.
Ac. al Cromo (12-14% Cr), Alto Carbono / Alto Cromo (Serie 440)	20 % del Volumen de HNO ₃ más (+) 22 gramos/Litros Na ₂ Cr ₂ O ₇ .2H ₂ O tratado (50 - 60 °C) durante 30 minutos.
Ac. Austeníticos Endurecidos por Precipita- ción.	50 % de Volumen de HNO ₃ tratados (50 - 60 °C) durante 30 minutos

Los siguiente procesos que se describe también es otra técnica de pasivación empleada en Aceros Inoxidable llamado:

Técnica: Alcalina - Acida - Alcalina.

- 1.- Después de desengrasar, empapar con una solución de Hidróxido de Sodio NaOH al 5 % en peso durante 30 minutos a una temperatura de (70 - 80 °C).
- 2.- Enjuagar con Agua caliente a 50 - 60 °C y secar.
- 3.- Sumergir por 30 minutos en una solución al 20 % HNO₃ más (+) 22 gr/Litro (3 oz/Gal) de Na₂Cr₂O₇.2H₂O a una temperatura de (50 - 60 °C).
- 4.- Enjuagar con Agua caliente a 50 - 60 °C y secar.
- 5.- Sumergir por 30 minutos en una solución de NaOH al 5 % en peso a una temperatura de (70 - 80 °C)
- 6.- Enjuagar con Agua caliente a 50 - 60 °C. y Secar.

Nota: Por principio no deberá de usarse agua de río, generalmente basta agua potable, pero en muchos casos se deberá emplear agua desalinizada y ionizada.

7.5. PROTECCION DEL TRABAJO Y DEL AMBIENTE.

Independientemente del hecho si se esta esmerilando, aplicando un chorro o decapado, siempre deberá tenerse presente la protección del trabajador y el medio ambiente.

- A.- En cuanto al esmerilado es especialmente importante proteger los ojos contra las partículas impulsadas. Para lo cual se deberá seguir los procedimientos de seguridad.

- B.- Si no se usa protección respiratoria y sin recuperación del medio granallado no emplear este método.
- C.- Los ácidos de los decapantes quemar la piel; sus humos son peligrosos para la vista, la piel, y los órganos respiratorios.
- D.- Si se procede de forma irresponsable en alto grado echando estos al ambiente sin que estos hayan sido tratados previamente, pueden dañar el medio ambiente del trabajo y sus alrededores.
- E.- Se deberá emplear personal debidamente entrenado.

En las siguientes Tablas No 34 al 38, se verán notarán los puntos de pasivación críticos para algunos aceros inoxidables Austeníticos cuantificado por un potencióstato.

CAPITULO VIII

FORMULACION MATEMATICA DEL ANCHO DE LA ZAC EN LOS
ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS.

CAPITULO VIII

FORMULACION MATEMATICA DEL ANCHO DE LA ZAC EN LOS ACEROS
INOXIDABLES AUSTENITICOS.

Durante el proceso de la soldadura, los ciclos térmicos producidos por la fuente de calor en movimiento, provocara cambios en su estado físico, cómo una transformación de fases y una tensión térmica transitoria y puntos de contracción del metal una vez finalizada la soldadura, en si el producto final puede contener discontinuidades físicas debido a una solidificación excesivamente rápida o a la presencia de microestructuras adversas debido a un enfriamiento inapropiado .ref 48.

el objetivo primario será la modulación del flujo de calor en la soldadura y de proporcionar una herramienta matemática para el análisis de los datos térmicos.

Proceso térmico de la soldadura

En la figura N°30, se muestra un modelo físico del sistema de soldadura, la fuente de calor para la soldadura se moverá a una velocidad constante a lo largo de una trayectoria recta. El resultado final, después de iniciar o terminar, la fuente de calor será la formación de un estado térmico transitorio en el cordón.ref 1

El calor intenso de la soldadura funde el metal y forma un charco fundido, una parte del calor se dirigirá al metal base y la otra parte se perderá en la columna de arco hacia el ambiente alrededor de la plancha, en la plancha

soldada se encontrará tres zonas metalúrgicas fácilmente reconocibles llamadas:

- 1.- Zona del metal soldado (ZMS)
- 2.- Zona afectada por el Calor (ZAC)
- 3.- Zona del metal base (ZMB)

La temperatura máxima y las velocidades de enfriamiento determinan el ancho de ZAC, mientras que los gradientes **térmicos**, las velocidades de solidificación y las velocidades de enfriamiento en el límite Líquido-Sólido determinarán la estructuras de solidificación de ZMS.

En este capítulo solo se considerará **las soluciones** analíticas del flujo de calor en el charco de soldadura y sus aplicaciones, en la que recurriremos a los diversos modelos y esquemas de análisis considerados por diferentes bibliografías.

8.1 FORMULACION MATEMÁTICAS

En la figura 30, se muestra un diagrama del modelo térmico de soldadura, el origen de las coordenadas de movimiento (w,x,z) esta fijado en el centro de la fuente de calor de la soldadura, las coordenadas se mueven con la fuente a la misma velocidad, la ecuación de la conducción del flujo de calor en el cordón será:

$$V \cdot (\rho \cdot V \cdot \frac{d\theta}{dw}) + \delta C_p \cdot v \cdot \frac{d\theta}{dw} + Q = \delta C_p \cdot v \cdot \frac{d\theta}{dt} \quad \text{ec 1}$$

la condición inicial

$$\theta = \theta_0 \quad \text{y} \quad t = 0 \quad \text{ec 2}$$

La condición general del límite será:

$$\Omega \frac{\partial T}{\partial w} I_w + \frac{\partial T}{\partial y} I_y + \frac{\partial T}{\partial z} I_z - q + h (T - T_\infty) \quad \text{ec 3}$$

donde de V es un operador diferencial, T es la temperatura, T_∞ es la temperatura ambiente, T_0 es la temperatura inicial, Ω es la conductividad térmica, δ es la densidad, C_p es el calor específico, h es el coeficiente de pérdida de calor superficial, I_w, I_y, I_z son los cosenos de la dirección de la superficie del límite, Q es la fuente de calor volumétrica, t es el tiempo y v es la velocidad de la soldadura.

La fuente de calor volumétrica representa el calor en Joule en el cordón que se debe al flujo de corriente eléctrica dentro de ese medio de conducción, la energía total de calor en soldadura es usualmente mínimo, comparado con el ingreso de calor del arco, la mayor parte de la energía esta concentrada en un volumen muy pequeño en la parte inferior del arco.ref 45.

8.2 FORMULACION DE LA FUENTE DE CALOR.

Los cosenos de dirección sobre la superficie que recibe el flujo de calor de la fuente de soldadura ($Z=0$) son $I_w = I_y = 0$ y $I_z = 1$, dentro del área significativa en la entrada de calor (que será definida más adelante durante el desarrollo del presente capítulo), el coeficiente de pérdida de calor (h) será cero.

Se considera la distribución del flujo de calor de la soldadura en forma general como una función GAUSIANA ref 49.

$$q(r,w) = q_0 \exp\left(-C r^2 - \frac{\beta v}{2k} w\right) \quad \text{ec 4}$$

donde (β) es una constante de peso, (k) es la difusividad térmica del material base, (C) es una constante de forma, (q) es el flujo de calor como una función (r,w) , (q_0) es el flujo de calor en el centro de la fuente, (r) es la coordenada radial desde el centro de la fuente y (v) es

la velocidad de la soldadura. La constante de peso ($\tilde{}$), para una distribución normal del flujo de calor de la soldadura se obtiene si la constante de peso es cero.

En general de la energía total al cordón que es una fracción de la energía total de soldadura generada por la maquina de soldar; que es la suma del calor concentrado y del calor difundido, el calor difundido alcanzara a la superficie soldada por radiación y el transporte de energía por convección desde la superficie del núcleo, la distribución del flujo de calor es una función de los valores proporcionales entre estos dos tipos de energía, la fracción de la energía total que alcanza el cordón de soldadura indica la eficiencia del calor del proceso, y el porcentaje de la fracción esta definida como la eficiencia del calor de soldadura (n). ref 49

La constante de forma (C) se puede obtener en términos del diámetro del núcleo (D), y el factor de concentración (F) que esta definido como la relación del calor concentrado a la energía de la red que alcanza el cordón, se puede asumir que el diámetro del núcleo sea el diámetro de la columna de plasma en el proceso de soldadura por arco.

Integrando la ec 4 sobre el área de calor del núcleo y sobre la entrada de calor ($r=0 \rightarrow \infty$) el factor de forma se puede determinar dividiendo las dos integrales, entonces se determinara el flujo de calor en el centro de la fuente considerando la segunda integral.

Las constantes son expresados como:

$$C = 4 I_{arc} [1 / (1 - F)] / D^2 \quad \text{ec 5}$$

donde I_{arc} es la longitud de la columna de plasma de arco.

$$q_0 / Q = C / \pi \quad \text{ec 6.}$$

En el caso de la soldadura por arco,

$$q_0 / nEI = C / \pi \quad \text{ec 7}$$

donde (E) es el voltaje del arco de soldadura, (I) es la corriente de la soldadura en Amperios. Para propósitos práctico se puede considerar que la fuente de calor de soldadura sea restringido dentro del círculo del radio (r_a), donde el flujo de calor cae a (1/100) del flujo central (q_0), el radio del área de calor se obtiene como :

$$r_a = \sqrt{ (I_{arc} * 100 / C) } \quad \text{ec 8}$$

8.3 SOLUCIONES DE INGENIERÍA Y CORRELACIÓN EMPÍRICA .

8.3.1 Soluciones generales. - Las soluciones analíticas del flujo de calor para una soldadura por fusión se clasifican en las apropiadas para una plancha gruesa y una plancha delgada o una plancha de espesor infinito. En todos los casos, se asume que la temperatura en la superficies límite será adiabática y las propiedades térmicas son independientes de la temperatura.

Las soluciones de la temperatura para un punto específico si se conoce como la velocidad de soldadura (v), el voltaje (E), amperaje (I); así como las propiedades físicas del material de la plancha (δ , ρ , C_p) y la eficiencia térmica (n), este punto específico estará definido por r y w en :

$$r = \sqrt{ (w^2 + y^2 + z^2) } \quad \text{ec 9}$$

donde ($w = x - v * t$), las soluciones de flujo de calor no son exactos en los puntos cercanos al arco de soldaduras, debido a que una fuente puntual o lineal que se asumirá, para una planchas delgadas o gruesas se aproximara a los cambios de temperatura de transición al inicio y al final del proceso, la figura No 31, muestra un sistema de coordenadas (x,y,z) , el origen del cual esta fijado al inicio de la fuente donde (t_0) es la temperatura inicial de la soldadura y (t_1) es la temperatura al termino de la soldadura.

La solución de temperatura para una plancha gruesa en el sitio inicial del arco es:

$$\hat{\theta} - \hat{\theta}_0 = \frac{n E I}{2 \pi \Omega v t_0} \quad \text{ec 10}$$

La distribución de temperatura quasiestacionario es:

$$\hat{\theta} - \hat{\theta}_0 = \frac{n E I}{2 \pi \Omega r} * \exp [-v (w+r) / 2k] \quad \text{ec 11}$$

En la situación final del arco, la solución es:

$$\hat{\theta} - \hat{\theta}_0 = \frac{n E I}{2 \pi \Omega v t_1} \quad \text{ec 12}$$

La solución de la temperatura para una plancha delgada en la situación inicial del arco es:

$$\hat{\theta} - \hat{\theta}_0 = \frac{n E I}{2 \pi \Omega H} * \exp \frac{v^2 t_0}{2k} K_0 \left(\frac{v^2 t_0}{2k} \right) \quad \text{ec 13}$$

La distribución de temperatura quasiestacionario es:

$$\hat{\theta} - \hat{\theta}_0 = \frac{n E I}{2 \pi \Omega H} * \exp \frac{-v w}{2k} K_0 \left(\frac{v r}{2k} \right) \quad \text{ec 14}$$

Para la situación final del arco, la solución es:

$$\theta - \theta_0 = \frac{nEI}{2\pi\Omega H} * \exp \frac{v^2 t_1}{2k} K_0 \left(\frac{v^2 t_1}{2k} \right) \quad \text{ec 15}$$

Donde (K_0) es la función modificada de Bessel de la segunda clase de orden y (nEI) es la velocidad de entrada de calor generada por la soldadura.

Temperatura para una plancha de espesor finito.

Consideremos que $\xi_0(w, y, z, t)$ sea la solución inicial para una plancha delgada o de espesor infinito, la solución de la temperatura para una plancha de espesor finito se puede obtener superponiendo las soluciones imaginarias $\xi_{mn}(w, y_m, z_n, t)$ y $\xi'_{mn}(w, y'_m, z'_n, t)$ a las soluciones inicial, obteniendo una ecuación general como:

$$\theta - \theta_0 = -\xi_0(w, y, z, t) + \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} [\xi_{mn}(w, y_m, z_n, t) + \xi'_{mn}(w, y'_m, z'_n, t)] \quad \text{ec 16}$$

donde: $y_m = 2mB - y$, $y'_m = 2mB + y$, $z_n = 2nH - z$ y $z'_n = 2nH + z$

En el cual (B) es la mitad del ancho y (H) es el espesor de la plancha, los subíndice (m) y (n) son enteros que varían de cero a infinito.

Para una plancha de un espesor ancho, (m) es igual a cero, la solución convergerá y alcanzara la condición superficial adiabática, de acuerdo al espesor de la plancha. La solución bidimensional (para una plancha delgada) es usada generalmente para cualquier solución como:

$$\theta - \theta_0 = \frac{nEI \exp(vw/2k)}{2\pi\Omega} \left\{ \frac{\exp(vr/2k)}{r} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{\exp(vr_{2n}/2k)}{r_{2n}} + \frac{\exp(vr_{2n+1}/2k)}{r_{2n+1}} \right] \right\} \quad \text{ec 17}$$

donde

$$r_{2n} = w^2 + y^2 + (2nH - z)^2 \quad \text{y} \quad r_{2n+1} = w^2 + y^2 + (2nH - z)^2 \quad \text{ec 18}$$

8.3.1 VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO.

Se debe recordar que la coordenada de movimiento (w) esta definida por: $w = x - v * t$, usando esta definición derivandolo por (dt) , se obtiene:

$$\frac{dw}{dt} = -v \quad \text{ec 19}$$

usando la regla de la cadena, la ecuación de velocidad de enfriamiento es:

$$\frac{d\theta}{dt} = -v \frac{d\theta}{dw} \quad \text{ec 20}$$

debido a que las ecuaciones de temperatura de distribución son una función de (w) y (r), las ecuaciones de velocidad de enfriamiento se puede obtener diferenciando las ecuaciones de temperatura-distribución respecto a (w) y multiplicandolo por $(-v)$.

La derivación de $(d\theta/dw)$ de la ecuación 11 ó 17 se requiere para obtener la expresión de la velocidad de enfriamiento, que será una función de (w) y (r), la variable (r) se puede escribir en términos de (w); Esta relación para (r), una vez formulada puede ser sustituida en $d\theta/dt$, el resultado es una función solo de (w), donde θ es igual a θ_c .

El resultado final será una ecuación que define la velocidad de enfriamiento para una situación particular en

el cordón y es una función de la temperatura crítica, para diferentes condiciones de soldadura y conductividad térmica del material base. ref 42.

Para determinar la velocidad de enfriamiento en una plancha gruesa a lo largo de la línea central soldada (ósea $y = 0$) para una temperatura crítica en particular, la ecuación de velocidad de enfriamiento se puede deducir en:

$$\frac{dT}{dt} = - \frac{2 \pi \Omega v}{n E I} (T_c - T_o)^2 \quad \text{ec 21}$$

Esta ecuación se ha usado para predecir las velocidades de enfriamiento de la soldadura en casos prácticos.

Temperatura Máxima.

Si una ecuación calcula la temperatura máxima en el cordón a una distancia determinada (y) de la línea central de la soldadura facilitara la predicción de los tamaños de ZAC así como el ancho de las gotas incidentes de la soldadura, considerando la figura No 31, se observara que la temperatura máxima se dará cuando $dT/dt = 0$.

para el modelo de la placa gruesa, la velocidad de enfriamiento se puede obtener derivando la ec. 11 y multiplicando por $(-v)$.

$$\frac{dT}{dt} = -v \frac{dT}{dw} = \frac{nEI}{2\pi\Omega r} * \exp\left[\frac{-v(w+r)}{2k}\right] * \left[-\frac{w}{r^2} - \frac{v}{2k} \left(1 + \frac{w}{r}\right)\right] \quad \text{ec 22}$$

la única manera que dT/dt pueda ser cero es si :

$$\left[-\frac{w}{r^2} - \frac{v}{2k} \left(1 + \frac{w}{r}\right)\right] = 0 \quad \text{ec 23.}$$

de la ecuación 23 describe la relación que debe de existir entre las dos variables (r) y (w) para la temperatura en el punto que se iguale a la temperatura máxima, si esta expresión se sustituyera en la ecuación de distribución de temperatura para placas gruesas (ec. 11) y son soluciones para (w) y (r) (con dos ecuaciones y dos incógnitas) entonces la localización de la temperatura máxima podría ser determinada en términos de (r) y (w) y su localización dada por (r) y (w) sería convertida fácilmente a "y" y "z" como:

$$r^2 = w^2 + y^2 + z^2 \quad \text{ec 24}$$

Tal solución para (r) y (w) no es posible explícitamente sin embargo debido a que la ecuación que resulta no son explícitas. por lo que se requiere técnicas iterativas, resultando en una solución que es engorrosa y requiere tiempo.

Un método de obtener una ecuación simple es asumir que la entrada de calor ocurre desde una línea instantánea sobre la superficie de la placa, en vez de una fuente puntual de movimiento, esto permite la eliminación de la dependencia del tiempo, considerando esta suposición, la distribución de temperatura se da por:

$$T - T_0 = \frac{n E I}{2 \pi \alpha t} \exp \left[-r^2 / 4k t \right] \quad \text{ec 25}$$

nuevamente para encontrar la localización de la temperatura máxima dT/dt se hará igual a cero y la ecuación es solución para r, el resultado será:

$$- r^2 / 4k t = 1 \quad \text{ec 26}$$

sustituyendo la ecuación 25 y 26 se tendrá la expresión de temperatura máxima.

$$\frac{1}{(\theta_p - \theta_o)} = \left(\frac{e \delta C_p \pi (r^2)}{2} \right) / \left(\frac{n E I}{v} \right) \quad \text{ec 27}$$

de la ecuación 27 da resultados que son muy altos, pero que la pendiente de $(1/(\theta_p - \theta_o))$ vs. (r^2) es exacta, para rectificar esta situación la ec 27 se ajusta a resultados experimentales especificando una ecuación conocida de temperatura, cuando se da esto la ec 27 se convierte en:

$$\frac{1}{(\theta_p - \theta_o)} = \left(\frac{e \delta C_p \pi (r^2 - r_r^2)}{2} \right) / \left(\frac{n E I}{v} \right) + \frac{1}{(\theta_r - \theta_o)} \quad \text{ec 28}$$

donde (θ_r) y (r_r) son la temperatura referencia y la distancia, si la evaluación de la temperatura máxima θ_p esta restringida a lugares sobre la superficie de la placa ($z=0$), si la temperatura de referencia y la distancia se asume que son la temperatura de fusión y la distancia desde la línea central soldada, al límite de fusión (la mitad del ancho de la gota) entonces la ec. 28 se transforma en:

$$\frac{1}{(\theta_p - \theta_o)} = \left(\frac{e \delta C_p \pi (y^2 - (d/2)^2)}{2} \right) / \left(\frac{n E I}{v} \right) + \frac{1}{(\theta_m - \theta_o)} \quad \text{ec 29}$$

donde (θ_m) es la temperatura de fusión y (d) es el ancho, esta ecuación da la temperatura máxima (θ_p) en una placa gruesa a una distancia (y) desde la línea central soldada.

Solución de la Temperatura Modificada.

Existe una condición en la que la temperatura máxima a lo largo del borde de la gota incidente, que se localiza en la interfase solido - liquido en el ancho máximo del charco, de la temperatura de fusión del material.

Usando esta condición de temperatura como una condición límite para las resoluciones de temperatura la ec 11 , y 14 se puede modificar tal como se muestra para una placa delgada.

$$\hat{T} - \hat{T}_o = Bz * \exp \frac{-vw}{2k} K_o \left(\frac{vr}{2k} \right) \quad \text{ec 30}$$

donde (Bz) es una constante de entrada de calor a ser determinada del ancho de la gota incidente (d).

$$Bz = \frac{(\hat{T}_m - \hat{T}_o) \exp(-vr/2k) \left[\frac{k_o(vr_B/2k)}{k_l(vr_B/2k)} \right]}{K_o(vr_B/2k)} \quad \text{ec 31}$$

con un ancho de gota de:

$$d = 2r_B \sqrt{ \left[1 - \left[\frac{k_o(vr_B/2k)}{k_l(vr_B/2k)} \right]^2 \right] } \quad \text{ec 32}$$

y para una placa gruesa ;

$$\hat{T} - \hat{T}_o = Bz * \exp[-v(w+r)/2k] / r \quad \text{ec 33}$$

$$Bz = (\hat{T}_m - \hat{T}_o) r_B / \exp(-vr/2k) \left[\frac{1}{1+(2k/vr_B)} - 1 \right] \quad \text{ec 34}$$

con una ancho de gota d :

$$d = 2 r_B * \sqrt{ \left[1 - \frac{1}{1+(2k / v r_B)} \right] } \quad \text{ec 35}$$

la entrada de calor (Q) es reemplazada por el ancho de la gota incidente de soldadura.

Una solución practica de la ecuaciones de flujo de calor; será establecer las condiciones térmicas en y alrededor del metal soldado para controlar los cambios metalúrgicos en la soldaduras, ref 43. se les puede usar para evaluar la:

- * la distribución de temperatura máxima en la ZAC
- * la veloc. de enfriamiento en el metal soldado y ZAC
- * la velocidad de solidificación del metal soldado.

la distribución de las temperaturas máximas en el metal base adyacente a la soldadura esta dada por:

$$\frac{1}{T_p - T_o} = \frac{4.13 \delta C_p t Y}{H_{net}} + \frac{1}{T_m - T_o} \quad \text{ec 36}$$

donde (T_p) es la temperatura máxima °C a una distancia (Y) en mm; desde el limite de fusión de la soldadura, (T_o) es la temperatura inicial °C, (T_m) es la temperatura de fusión en °C, (H_{net}) es la entrada de energía a la red igual a (nEI/v) (J/s.mm), (δ) es la densidad del material (gr/mm³), (C_p) es el calor especifico del metal solido (J/g. °C) y (t) es el espesor de la plancha del metal base en (mm). la ec 36 se puede usar para determinar la :

- * La temperatura de pico en lugares especifico de ZAC.
- * Ancho de la ZAC.
- * Efecto del precalentamiento sobre el ancho del ZAC.

Además se puede obtener la temperatura máxima en lugares especifico y en el ancho de la ZAC mediante el procedimiento descrito a partir de la ec 22 a la 29.

8.4 VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO

Debido a que la velocidad de enfriamiento puede variar con la posición y el tiempo para calcularlo se requiere una especificación cuidadosa de las condiciones, el método más usado es determinar la velocidad de enfriamiento en la línea central de soldadura en el instante cuando el metal

pase a través de una temperatura de particular de interés (T_c), a una temperatura por debajo del punto de fusión. La velocidad de enfriamiento para una placa gruesa es :

$$R = 2 \pi \delta (T_c - T_o)^2 / H_{net} \quad (^\circ\text{C/s}) \quad \text{ec 37}$$

La ecuación 37 es comparable a la ec 21 que se obtuvo mediante el procedimiento descrito en la velocidad de enfriamiento, además se ha desarrollado una ecuación de la velocidad de enfriamiento para una placa delgada a lo largo de la línea central considerada en la ec 14.

la velocidad de enfriamiento para una placa delgada es :

$$R = 2 \pi \delta \Omega C_p [t / H_{net}]^2 * (T_c - T_o)^2 \quad (^\circ\text{C/s}) \quad \text{ec 38}$$

donde R es la velocidad de enfriamiento ($^\circ\text{C/s}$) en un punto de la línea central de la soldadura solo en el momento cuando el punto se enfrió, el (T_c) y (Ω) es la conductividad térmica del metal en $\text{J/mm.s. } ^\circ\text{C}$, la cantidad adimensional (γ) llamado espesor de la placa relativa se puede determinar si la placa es gruesa o delgada:

$$\gamma = t \sqrt{\delta C_p (T_c - T_o) / H_{net}} \quad \text{ec 39}$$

La ecuación de la placa gruesa se aplica (γ) es mayor que 0.75 y la ecuación de la placa delgada se aplica cuando (γ) es menor que ese valor. La ecuación 37 y 38. se usa para determinar la velocidad de enfriamiento a lo largo de la línea central para placas gruesas y delgadas, respectivamente.

Si se busca la velocidad de enfriamiento a una distancia "y" en mm de la línea central, se debe usar las técnicas iterativas, primero se pueden obtener (w) y (r) por iteración de la ec.11 ó 17 donde θ_c se iguala a θ_c y $r^2 = w^2 + y^2$ donde (y) es conocido luego sustituir (w) y (r) en la diferencial $\frac{d\theta}{dt} = -v \frac{dt}{d}$, a partir de la temperatura de la ec.11 ó 17 el resultado será la velocidad de enfriamiento para una placa gruesa o delgada a una distancia "y" de la línea central.

$$\frac{d\theta}{dt} = -v \frac{dt}{d}$$

además la velocidad de enfriamiento para (ZAC) en los cordones de acero de bajo carbono se puede emplear la siguiente ecuación:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{2012}{\text{Area Parcial}} |^{1.119} \quad \text{ec 40}$$

$$\left. \frac{d\theta}{dt} \right|_{\text{HAZ}} = 0.35 \left(\frac{\theta_c - \theta_0}{(I/v)} \right)^{1.7} \left[1 + \frac{2 \tan^{-1}(H-H_0)}{\pi \alpha} \right]^{0.6} \quad \text{ec 41}$$

La velocidad de solidificación puede tener un efecto significativo sobre la estructura metalurgica, propiedades, reacciones al tratamiento térmico y solidificación, El tiempo de solidificación (St) del metal soldado se mide en segundos.

$$St = \frac{L H_{net}}{2 \pi \delta \Omega C_p (T_m - T_0)^2} \quad \text{ec 42}$$

donde (L) es el calor latente de fusión (J/mm³). con todo ello se pudo crear el siguiente programa en Basic y Tabla de resultados en la pag siguientes.

CAPITULO IX

DEFECTOS Y FALLAS EN LOS PRODUCTOS DEL PROCESO TIG.

Cualquiera que sea la configuración de la junta o el procedimiento de soldadura antes de aplicarse. Deberá en lo posible probar el procedimiento en partes; soldando imitaciones de la junta en cuestión, usando el mismo tamaño, tipo y forma de la pieza de trabajo. Si el soldador que ha de ejecutar el trabajo, calificará también el procedimiento. La calidad de la soldadura producida puede usarse también como verificación final de la habilidad del soldador.

9.1. POROSIDAD

El termino porosidad se usa para describir los huecos globulares, libres de todo material solido que se encuentra con frecuencia en los cordones de soldadura fig 32.1.b En realidad, los huecos son de forma de inclusión que resulta de las reacciones químicas que tienen lugar durante el soldeo.

- 1.- Una de las causa posibles podría ser los gases liberados por el enfriamiento del metal de soldadura, como consecuencia de la reducción de solubilidad al descender la temperatura y de las reacciones químicas que tienen lugar dentro de la propia soldadura. pudiendo restringirse evitando que la corriente sea excesiva o que la longitud del arco excesivas.
- 2.- Un consumo elevado de elementos desoxidantes del recubrimiento del electrodo durante la formación del deposito de soldadura. Si se emplean corrientes o longitudes de arco excesivas.

- 3.- Causa más frecuente es la HUMEDAD.
- 4.- En un proceso TIG también la porosidad puede generarse por:
 - A.- Insuficiente flujo de gas protector.
 - B.- Grasas o impurezas en la junta.
 - C.- La turbulencia de gas protector por demasiado flujo, arrastrando aire por la brisa o el viento del medio circundante.
 - D.- Tobera muy pequeña para el ancho de la costura.
 - E.- Demasiada separación de la antorcha con respecto al material.
 - F.- Demasiada inclinación de la antorcha que produce succiones de aire.
 - G.- Filtraciones de agua en las antorchas refrigeradas por agua.

Correcciones :

- 1.- Eliminar todo vestigio de humedad.
- 2.- Regular la cantidad de gas protector aprox. $10 * \frac{3}{4}$ en lit/min. de la tobera de la antorcha.

- 3.- Trabajar con mucha limpieza para el caso de los aceros inox. y con las herramientas adecuadas cuando se suelde.
- 4.- Procurar soldar en un ambiente cerrado donde la ventilación forzada o natural no perturbe a la campana de gas protector.
- 5.- La inclinación de la antorcha no debe ser mayor de 15° con respecto a la vertical.
- 6.- Usar antorchas en buen estado de conservación.

Las porosidades pueden clasificarse de tres formas:

- 1.- Porosidad de dispersión uniforme.
- 2.- Porosidad agrupada.
- 3.- Porosidad lineal.

fig. N°34

9.2. INCLUSIONES NO METALICAS.

Se usa esta expresión para describir los óxidos y otros sólidos no metálicos que se encuentran a veces en forma de inclusiones alargadas y globulares en los cordones de soldadura fig. 34.5.e.

- 1.- Cuando se suelda por el proceso de arco metálico protegido, puede formarse escoria y verse esta forzada a quedar bajo la superficie del metal fundido por la acción agitadora del arco.

- 2.- También puede fluir la escoria delante del arco, haciendo que se deposite metal sobre ella. Una vez que hay escoria presente en el metal fundido por cualquier causa que sea tiende a subir a la superficie por tener una menor densidad y muchas veces es retenida por la viscosidad del metal de soldadura. Generalmente aparece en forma de inclusiones finamente divididas o globulares.
- 3.- La presencia de escoria en la zona de la raíz, resulta cuando el electrodo es tan grande que el arco cuando se pega en el lado de la ranura en vez de pegarlo en el centro de la raíz.
- 4.- Otra fuente de escoria para el área de la raíz radica en el esmerilado o el rebabeado imperfectos que se hagan en la preparación de la junta.
- 5.- El metal desprotegido estará fuertemente oxidado cuando este es alejado de la campana de gas protectora.
- 6.- Soldadura raíz sin gas de protección.

Correcciones:

- 1.- Limpieza total en la zona de soldadura.
- 2.- Preparar correctamente los bordes antes de depositar cada cordón, teniendo cuidado de corregir los contornos en los que pueda dificultar al lograr

penetración completa con el arco.

- 3.- Preparar adecuadamente los bordes y flancos de la junta donde la superficie debe ser liza (las rugosidades son acumulación de impurezas).
- 4.- El material de aporte debe estar limpio (almacenado adecuadamente), en lo posible limpiar las varillas antes de soldar con un paño empapado de alcohol o acetona.
- 5.- El material de aporte debe conservarse con el extremo caliente dentro de la campana de gas protector.
- 6.- El talón de la junta no debe ser mayor a 1 mm.
- 7.- Los bordes debe estar exentos de rebarbas, especialmente en los aceros inoxidables y el acero Cromo - Molibdeno.
- 8.- Se debe de usar en todo momento gas de protección para impedir la formación de oxido de cromo con el contacto del oxígeno.

9.3 AGRIETAMIENTO DEL METAL DE SOLDADURA.

El agrietamiento del metal de la soldadura tiene más probalidades de ocurrir en la primera capa de soldadura que en cualquier otra parte, y de no repararse continuara pasando a las demás capas al ir siendo depositadas.

Cuando se encuentra el problema de agrietamiento de la primera capa de soldadura, puede solucionarse aplicando el siguiente procedimiento:

- 1.- Modificar la manipulación del electrodo o las condiciones eléctricas, lo que cambiara el contorno o la composición del deposito.
- 2.- Disminuir la rapidez de avance, para aumentar el espesor del deposito, aportando con ello más metal de soldadura.
- 3.- Auxiliarse con un precalentamiento, para modificar la intensidad del sistema de esfuerzos que se esta imponiendo.

En el metal de soldadura pueden presentarse tres tipos diferentes de grietas: fig 34.6

9.3.1. Las Grietas Transversales.

Son grietas perpendiculares al eje del cordón, y en algunos casos se ha observado que se extiende mas allá del cordón y hasta el interior de la plancha. Este tipo de grietas es mas común en juntas que tienen alto grado de restricción.

9.3.2. Las Grietas Longitudinales.

Se presentan predominantemente dentro del metal de la soldadura y están confinadas por lo general al centro de la misma. Pueden ocurrir como prolongaciones de las grietas del cráter que se forman en el extremo de la soldadura.

9.3.3. Las grietas pasantes.

Se forman en la primera capa de soldadura depositada, y si esta no es eliminada o se vuelve a soldar un cordón de soldadura en el anterior depósito, y así hasta llegar a la superficie. El paso final de la grieta llegara hasta la superficie del cordón, que se presentara durante el enfriamiento.

Correcciones:

- 1.- Regular la intensidad adecuada de corriente, soldar con una velocidad regular y constante.
- 2.- Dejar enfriar el acero austeníticos antes de iniciar cada pasada (temperatura entre pases no debe ser $>$ a 100°C).
- 3.- LLenar el cráter final antes de apagar el arco.

9.4. AGRIETAMIENTO DEL METAL BASE.

Este tipo de agrietamiento como se ilustra en la parte superior de la fig 34.6. es por lo general de naturaleza longitudinal y que tiene lugar dentro de la ZAC del metal que se esta soldando, y casi siempre esta asociado con los materiales templables. La dureza y la fragilidad que hay en ZAC de las uniones soldadas, son defectos metalúrgicos producidos por el ciclo térmico de la soldadura y se cuentan entre las causas principales de agrietamiento.

Las características de los aceros que intervienen es muy importante, como la ductivilidad disminuye generalmente al aumentar la dureza, el agrietamiento del metal base se ha asociado con la falta de ductibilidad en la ZAC., pero esto no es una respuesta definitiva por que se ha comprobado que diferentes lotes de fisión del mismo acero y de igual templabilidad verían en forma apreciable en cuanto a su tendencia al agrietamiento.

Las características del recubrimiento del electrodo tiene también un efecto considerable en la tendencia al agrietamiento en la ZAC.

Los aceros que admiten temple son, por lo general mas difíciles de soldar, por las razones siguientes:

- 1.- La variación en la estructura metalografica de ZAC, las que puede ocurrir al variar el régimen de enfriamiento y conducen a diferencias en las características mecánicas.
- 2.- Se usan tales aceros por sus mejores propiedades a la tensión, y por tanto pueden equipararse con el aumento de espesor a un acero común.

Los dos tipos de agrietamiento de metal base que pueden ocurrir en los aceros aptos para templarse son:

9.4.1. Las grietas transversales que se forman en el metal base.

Por lo general se presentan en la soldadura de filete, ~~en~~ gran amplitud al temple, en los que la distancia, entre las orilla de la soldadura y el borde expuesto de una placa es relativamente pequeña. Tales grietas no pueden detectarse por lo general sino hasta que el conjunto soldado se ha enfriado a la temperatura ambiente.

9.4.2. Las Grietas longitudinales del metal base.

Son paralelas a la soldadura y están en el metal base. Puede ser prolongaciones de las grietas de la zona de fusión. Para los cordones de filete, las grietas longitudinales del metal base se pueden dividir en dos tipos:

1.- Grietas de la punta.

Son las que avanzan desde la punta u orilla del cordón de filete y cruzan el metal de base partiendo a menudo de las socavaciones.

2.- Grietas de raíz.

Son las que avanzan desde la raíz del cordón de filete y pasan a través del metal base. Estas grietas son evidentes en el lado opuesto de la plancha.

Correcciones:

- 1.- El empleo de un precalentamiento adecuado.
- 2.- El incremento de aporte de calor para retardar el régimen de enfriamiento.
- 3.- La selección del mejor material de aporte.

3.5. PENETRACION INCOMPLETA.

Esta expresión se usa para describir la situación en la que el metal depositado y el metal base no se funden en forma integral en la raíz del cordón. Puede ser ocasionado porque la cara de la raíz del cordón no alcance la temperatura de fusión fig. 34.5.c. porque el metal de soldadura no llegue a la raíz de una soldadura de filete, y deje un hueco entre la soldadura y el metal base fig. 34.5.d.

La penetración incompleta es indeseable, particularmente si la raíz de la soldadura esta sujeta ya sea a tensión directa o esfuerzos flexionantes. El área que no se funde permitirá concentración de esfuerzos y la deformación durante la soldadura, ocasiona con frecuencia la iniciación de una grieta en el área sin fundir. Tales grietas pueden avanzar a medida que se deposite los cordones hasta prologarse en todo el espesor de la soldadura.

También sucede esto si la abertura en la raíz es demasiado pequeña o si el ángulo que forman los lados de la ranura en (V) es demasiado agudo.

Correcciones:

- 1.- Soldar con una velocidad adecuada para permitir una buena fusión y humectación del baño del metal, regular la intensidad de corriente.
- 2.- La altura de talón no debe ser mayor de 1/8 in, dando la separación adecuada entre los bordes de la junta, conducir adecuadamente la antorcha, procurando hacer cordones sin demasiada turbulencia.

9.6. SOCAVAMIENTO.

Se emplea este termino para describir:

- 1.- La eliminación por fusión de la pared de una ranura de soldadura en el borde del cordón, con la deformación marcada en la pared lateral en la zona a la que debe unirse por fusión, el siguiente cordón.
2. La reducción de espesor en el metal base, de la línea en la que se unió por fusión el ultimo cordón a la superficie fig. 34.5. a y b.
3. Ciertos electrodos con una corriente demasiado alta o un arco demasiado largo, puede aumentar la tendencia al socavamiento.

Sin embargo, los diferentes tipos de electrodos muestran características sumamente variable a este respecto. Con algunos electrodos hasta el operador más diestro puede ser incapaz de evitar el socavamiento bajo ciertas condiciones; dependiendo de la posición y la accesibilidad a la junta, aunque también puede ser un factor el soplo magnético del arco.

El socavamiento en la superficie en forma grave no debe permitirse, ya que puede reducir en forma considerable la resistencia de la junta, en particular su resistencia a los esfuerzos de fatiga. Afortunadamente este tipo de socavamiento siempre es detectable en un examen visual de la superficie.

Correcciones:

- 1.- Regular adecuadamente la corriente.

- 2.- Prepara la junta uniformemente con los cantos paralelos, procurando conducir la antorcha uniformemente.

9.7 INCLUSIONES DE TUNGSTENO.

Causas posibles:

- 1.- Contacto del electrodo de tungsteno con el baño de fusión, contacto del electrodo de tungsteno con el extremo de varilla del metal de aporte.

- 2.- Sobrecarga del electrodo con corriente continua y polaridad invertida (lo correcto es usar polaridad directa)

Correcciones:

- 1.- Evitar el contacto del electrodo con el baño de fusión o con el material de aporte.
- 2.- Evitar sobrecargar el electrodo tanto con corriente continua como corriente alterna (corriente alterna solamente se emplea para aleaciones de aluminio).

Observacion:

Para poder determinar cada una de estas fallas y defectos de las piezas soldadas, habrá que realizar pruebas no destructivas según la norma de AMERICAN WELDING ASOCIETY Y/O DIN. ref 50. Entra ellas tenemos la siguientes:

- 1.- Inspección visual
- 2.- Inspección radiografica
- 3.- Inspección por partículas magnéticas
- 4.- Inspección con líquidos penetrantes
- 5.- Inspección ultrasónica

CAPITULO X

CONTROL DEL MEDIO AMBIENTE, SEGURIDAD E HIGIENE
INDUSTRIAL DURANTE EL PROCESO TIG

CAPITULO X
CONTROL DEL MEDIO AMBIENTE, SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL
DURANTE EL PROCESO TIG

En los talleres o industrias que emplee algún proceso de soldadura, tendrán que adecuarse a las especificaciones y normas editadas por la AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS), la sociedad COMPRESSED GAS ASSOCIATION (CGA) y la acta de WILLIAMS-STEIGER sobre seguridad y salud en el trabajo, conocida mundialmente como OSHA.

Hay que reconocer que muchas empresas dedicadas a esta actividad no cuentan con alguna norma de seguridad, como la manipulación segura del equipo de soldeo y soldadura, el presente capítulo ayudará a cubrir esta necesidad. ref 50.

10.1 MANIPULACION SEGURA DEL EQUIPO.

10.1.1 Precauciones generales de seguridad.-

Aún cuando la industria de la soldadura y las organizaciones que la norma han llevado a la creación de aparatos de protección de seguridad hasta donde es posible y si no se cuenta con un sentido común de seguridad por parte de los jefes y trabajadores, nuestra área o lugar de trabajo será un lugar de alto riesgo, los puntos que se anotan a continuación, reducirán en mayor grado la posibilidad de accidentes.

Para limitar al mínimo el riesgo de incendios y explosiones se debe tener en cuenta lo siguiente:

- 1.- Nunca utilice cilindros de gas comprimidos para soportar la pieza de trabajo que este soldando o cortando y nunca utilice dicho cilindros como rodillos.

- 2.- Nunca efectué trabajos de soldadura o de corte en presencia de gases o vapores inflamables.

- 3.- Utilice siempre un gas inerte o no inflamable (Argón, dióxido de carbono, Nitrógeno o el vapor de agua) para purgar cualquier tambor, recipiente o estructura hueca que se sospeche haya contenido una sustancia inflamable o explosiva, antes de soldarlo, calentarlo o aplicarse soldadura fuerte.

- 4.- Ventile siempre por taladro o punzonar el agujero (según resulte apropiado) cualquiera hueco estructural, recipiente encaminados o piezas fundida, de lo que sospeche que estén huecos, antes de comenzar cualquier trabajo de soldadura, calentando o aplicación de soldadura fuerte. Los gases dilatados producen un aumento de presión si el espacio en la que están contenidos no es mayor que aquel en el que estaban contenidos antes de calentarlo. El incremento de presión puede ocasionar la explosión súbita de la parte que se esta soldando.

- 5.- Nunca coloque una pieza de trabajo que va calentarse o soldarse sobre un piso de concreto, porque cuando este se calienta suficientemente, puede fragmentarse y salta, en perjuicio de los soldadores o de otras personas que esten alrededor.
- 6.- Deje siempre los cilindros de oxígeno y acetileno fuera de los tanques o de otras zonas confinadas.
- 7.- Nunca bajo ninguna circunstancias, permita que se agregue, ni siquiera una pequeña parte de carga extra de carburo, a una carga de agua en un generador de acetileno.
- 8.- Nunca intente pasar gas de un cilindro a otro.
- 9.- Nunca mezcle gases en un cilindro.
- 10.- Nunca utilice un cilindro que tenga fugas de gas.

10.2 CONEXION DE REGULADORES.

Procedimiento standard de seguridad No 40

Los reguladores para oxígeno, acetileno y gases inertes, son aparatos delicados y debe de ser manejados con cuidado. No debe de ser golpeados o dejados caer al suelo. Nunca debe ser revisados y reparados sino por personas especializadas en la materia.

Los reguladores que tienen fugas o que se descalabran solo, son un peligro y debe ser puestos fuera de servicio

Si el regulador indica descalibración, mostrada por un aumento de presión en el manómetro de baja presión (de descarga) cuando las válvulas del soplete están cerradas, se cerrará la válvula del cilindro y retirará el regulador para enviarlo a reparación. Cuando el regulador ha sido conectado para su uso pero no se tiene en uso, se deberá descargar el dispositivo para el ajuste de presión. Las válvulas de los cilindros no debe ser nunca abiertas hasta que el regulador este completamente libre de gas y el dispositivo de ajuste de presión en el regulador se encuentre descargado.

El siguiente procedimiento deberá ser seguido al conectar reguladores o válvulas reductoras de presión a los cilindros:

- 1.- Abrir ligeramente la válvula de descarga del cilindro para retirar cualquier mugre que pueda entrar en el regulador y luego cerrarla. Con cilindros de gas combustible se debe ver que no haya llamas en las inmediaciones.
- 2.- Conectar el regulador a la válvula del cilindro teniendo cuidado que la rosca de la tuerca del regulador sea igual a la del cilindro. Nunca debe de forzar las conexiones que no coinciden. Todo los acoples entre los reguladores, adaptadores y válvulas de los cilindros deben de ser herméticos.

- 3.- Aflojar el tornillo de ajuste del regulador hasta que llegue a su limite. Esto es, girarlo completamente hacia la izquierda.
- 4.- Abrir lentamente la válvula del cilindro para que la manecilla del manómetro de alta presión suba lentamente. En los cilindros de oxígeno la válvula se abre completamente, pero los de acetileno y gas Inerte solo se abre 1 y 1/2 vuelta.
- 5.- Conectar la manguera de oxígeno a la salida del regulador de oxígeno y la entrada de oxígeno del soplete conectar de igual manera para los otros gases. (para los procesos, MIG-MAG, TIG Y PLASMA).
- 6.- Revisar las conexiones de las mangueras de oxígeno para encontrar posibles fugas. teniendo cerrada la válvula de oxígeno del soplete se hace girar hacia la derecha el tornillo de ajuste; Con agua jabonosa se revisan todas las uniones. En este manómetro de baja presión de trabajo, con agua jabonosa se revisan todas las uniones. En este momento se revisa si el regulador se descalibra solo. Tal falla será indicada si se observa que la presión de baja va aumentando sola.
- 7.- Revisar las conexiones de la manguera de acetileno y otros gas para encontrar posibles fugas. Teniendo cerrada la válvula de gas del soplete se procede de la misma manera que se hizo con la manguera de

oxígeno, con excepción de que la presión a que se debe de ajustar el regulador del acetileno debe ser cerca de 10 lbs/pulg².

10.3 SEGURIDAD EN LOS CORTES Y SOLDADURA CON ARCO.

Procedimiento standard de seguridad No 63.

La mayoría de los fuegos y/o explosiones que ocurren en las operaciones de corte y soldadura resulta principalmente de hacer trabajos cerca de materiales combustibles o en recipientes que contienen residuos de líquidos inflamable. Aunque pareciera obvio que se debe tomarse precauciones, lo cierto es que muchas veces se ignora completamente todas las reglas de seguridad.

- 1.- La soldadura o los cortes nunca de realizarse en espacios limitados hasta que se obtenga la aprobación de la persona que corresponda, quien por su experiencia y conocimientos sabe cuales son los trabajos que deben hacerse con seguridad de acuerdo con los procedimientos establecidos.
- 2.- Siempre que sea posible se quitara de la zona de trabajo todos los combustibles. Si los combustibles no puede sacarse, debe de cubrirse con material ignífugo o resistente al fuego, o instalar un mampara refractario para evitar que puedan hacerse chispa.
- 3.- Las grietas y aberturas en el piso debe cubrirse también son cubiertas por ignifugos o resistente al calor.

- 4.- La soldadura o los cortes nunca debe hacerse cerca de líquidos inflamable, vapores, hilachas o polvo.
- 5.- Nunca suelde o corte un recipiente que haya contenido líquidos o vapores inflamable a menos que se haya vaciado y limpiado bien o llenado con agua de acuerdo con la practica aceptada.
- 6.- Estacionar un observador de incendio mientras se hace el trabajo, en el lugar y en los lados opuestos de las paredes cuando el calor pudiera llegar hasta ellas. Los observadores de incendio debe estar provistos de equipos de protección de incendio listo para ser usados de acuerdo con el riesgo y haber sido entrenados en el manejo del equipo.
- 7.- La zona de trabajo debe ser inspeccionada después de terminar el trabajo para ver si arde algún material haciéndose verificaciones periódicas hasta que se tenga la seguridad de que no hay peligro de ninguna clase.
- 8.- Los circuitos de fuerza para los equipos de soldadura eléctrica debe instalarse y mantenerse siguiendo estrictamente las especificaciones del código eléctrico nacional (OSHA).
- 9.- El equipo se soldadura eléctrica debe ajustarse a los requisitos de (AWS). o los de la Underwiter laboratories de USA. o de ambos.

- 10.- Solamente debe de usarse portaelectrodos de adecuada capacidad nominal de corriente, aislados contra choque y contra circuitos o chisporroteo cuando toque material conductivo. Utilice únicamente conectores aislados para cable, según tabla No 19.
- 11.- Dependiendo del tamaño del trabajo, por lo menos una persona debe ser asignada para verificar que todas las maquinas de soldar estén apagadas a la terminación del trabajo.
- 12.- Nunca cambie el interruptor de polaridad estando la maquina bajo carga. espere hasta que quede trabajando en vacío la maquina y se abra el circuito. De lo contrario puede quemarse la superficie de contacto.
- 13.- Nunca sobrecarga un cable de soldadura.
- 14.- No haga saltar el arco si esta cerca alguien sin protección adecuada para los ojos, (carreta o rejilla).
- 15.- Nunca cargue cables de soldar enrollados sobre sus hombros mientras esta energitizados.
- 16.- Los cilindros de oxígeno y acetileno o de cualquier tipo de gas comprimido deberán afianzarse bien en posición vertical todo el tiempo y cuando lo usen, sería preferible tenerlo encadenados en un carrito de soldadura.

17.- Todos los manómetros debe de colocarse rígidamente y examinarse al principio y al final de cada turno. Los gases que se usen en la separaciones de soldadura y corte deben de cerrarse en los cilindros a la terminación del trabajo.

Las mangueras deberán inspeccionarse frecuentemente para ver si tienen roturas, quemaduras, desgaste u otras averías y cuando no estén en uso.

18.- Los cilindros y mangueras deben de estar constantemente protegidos contra chispas, escorias y metal fundido y nunca se colocaran cerca de una fuente de calor o de conductores eléctricos.

10.4 PROTECCION DE OJOS Y CARA.

Muchas personas creen que si tienen su vista lo suficientemente fuerte como para mirar el sol, también será lo suficiente fuerte para poder mirar la soldadura de arco sin gafas de protección o quizás por entre los dedos de la mano, sin sufrir ninguna lesión. Lo que estas personas no saben que la luz producida por el arco es mucho más intensa que la luz del sol y que además esta acompañada por rayos ultravioleta e infrarrojos. Es por esta razón que se dice que en el arco hay una radiación de energía. Es esta radiación de energía la que causa el daño a los ojos cuando no se protege por medio de pantalla o de filtro luminoso. Los filtros no son unos simples vidrios de color oscuro, como a veces se le cree, sino que son laminas de vidrio que tienen una composición especial para

impedir que los rayos perjudiciales lleguen a los ojos y que produzca quemaduras en la membrana conjuntiva que envuelve al ojo. Casi nunca las lesiones causadas por exposición a los resplandores del arco son de carácter permanente y después del tratamiento de primeros auxilios el dolor desaparece y se corrige la anomalía.

10.4.1 Tipo de gafas.

10.4.1.1. las de tipo de anteojos.

Las que se fabrican con protectores metálicos. Pueden tener puente metálico regido no ajustable.

10.4.1.2 las de copa de ojos.

Las que tienen contenedores flexibles para lentes, conformados a la configuración de la cara. Son diseñados en formas de copa de cubierta, para poderlo usar sobre lentes graduados, aunque también puede usarse solo.

10.4.2. Uso múltiple del equipo personal.

Los cascos, guantes, ropa, mandil y las gafas no deben pasarse de una persona a otra sin que se les haga una limpieza antiséptica.

10.5. PINTURA EN NEGRO DE LAS NAVES DE SOLDADURA.

En los lugares en los que se hace en forma regular la soldadura con arco, las paredes de la nave de soldadura deben pintarse de negro o de algún color que no refleje la luz. De lo contrario deben encerrarse la pieza de trabajo y el operador en una caseta para soldadura.

10.6.1. Humos producidos por los Electrodo para Soldadura con Arco metálico y Soldadura de Arco sumergido.

Bajo ciertas condiciones, los humos producidos por algunos electrodos puede constituir un gas irritante que algunos soldadores y en situaciones extremas pueden ocasionar un daño permanente al sistema respiratorio; Los electrodos de carbono simple, o los aceros de bajo contenido de aleación, con recubrimiento de los tipos EXXXO, EXXX1, EXXX2 y EXXX3, cuando se usa en aceros sin recubrir, producen humos formados principalmente por óxido de hierro y cantidades variables de material fundente.

El limite tolerable de concentración para el óxido de hierro es de 10 miligramos /metro cubico, concentración lo suficiente alta como **para reducir** notablemente la visibilidad, pero suficiente para producir dano físico, los óxidos de nitrógeno que siempre produce la soldadura de arco, puede acumularse hasta el punto que lleguen a ocasionar daño a los pulmones.

Los recubrimientos de fundente de los electrodos con bajo contenido de hidrógeno EXXX15, EXXX16, EXXX18, EXXX20 Y EXXX28 y los electrodos para soldadura con arco de ACERO INOXIDABLE, Níquel, Aluminio, y otras aleaciones, el compuesto flúor se encuentra en el orden permisible de 5 al 10 %. Los Humos producidos contienen también sales de fluoruro, por lo general son mayores que en los recubrimientos de baja aleación, los humos pueden contener también ácido fluorhídrico, pero generalmente en cantidades extremadamente pequeñas.

EL limite permisible TLV para el flúor en forma de sal es de 2.5 mg/m³; para el ácido fluorhídrico o flúor de hidrógeno de 2.0 mg/m³, los electrodos de acero inoxidable producen humos que pueden contener has 6% de cromatos, generalmente por la oxidación del cromo, en la zona de respiración del soldador puede exceder el limite tolerable de 0.1 mg/m³. La cantidad de fluoruro y/o cromatos inhalado por el soldador dependerá de la composición de los humos, del tamaño, la forma y la posición de la pieza de trabajo, y sus hábitos individuales de trabajo del soldador.

10.6.2 Concentraciones Ambientales Permisibles (TLVs).

Para sustancias en ambientes de trabajo aprobado por la AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH)

1a. Cancerígenos para el hombre. Sustancias o sustancias relacionadas con procesos industriales, que se sabe tienen potencial cancerígeno o co-cancerígeno y para las que se ha fijado un TLV:

Arsénico (trióxido de) (producción).....	As ₂ O ₃ , 0.05 mg/m ³ (en As) SO ₂ , C 5.0ppm Sb ₂ O ₃ , 0.05 mg/m ³ (en Sb)
Amianto (en todas las clases) ^u	5 fibra/cc, >5µm de long
Biséter (Clorometilo).....	0.001ppm.
Cromita (mineral de proceso).....	0.05 mg/m ³ (en Cr).
Níquel (sulfuros de) (calcinación) (humos y polvos).....	1.0 mg/m ³ (en Ni).
Partículas policíclicas de hidro- Carbonos aromáticos (PPAH).....	0.2 mg/m ³ (solubles en benceno).

para Emanaciones de Soldadura ANEXO B4.

Total de macro partículas (NOC)^{*} - TLV, 5 mg/m³

No es sencillo clasificar las emanaciones de soldadura. La composición y cantidad de las emanaciones dependerá de la aleación que se esta soldando, del proceso y del electrodo que se use. No se puede hacer un análisis confiable de las emanaciones sin considerar la naturaleza del proceso de soldadura y del sistema que se esta examinando; algunos metales reactivos y aleaciones de aluminio, cobre, inoxidable y titanio, se sueldan en una atmósfera protectora de gas inerte, como el ARGON. Este arco crea relativamente pocas emanaciones, aunque una radiación intensa puede producir ozono.

Procesos similares, se usa para soldar aceros, creando también un nivel relativamente bajo de emanaciones. Las aleaciones ferrosas se sueldan también en atmósfera oxidante, las cuales generan muchas emanaciones y pueden producir monóxido de carbono en lugar de Ozono. Tales emanaciones están compuestas generalmente de partículas aisladas de escoria amorfa que contiene hierro, manganeso, silicio y otros constituyentes metálicos que dependerá del sistema de aleaciones que se emplee.

Cuando se sueldan aceros inoxidable, los compuestos de Cromo y Níquel producen muchas emanaciones. Algunos electrodos revestidos, en su revestimientos pueden contener fluoruro y las emanaciones pueden contener mucho

más fluoruro de óxidos. debido a los factores que se han mencionado arriba, las emanaciones provenientes de soldar con arco metálico deben de ser probadas para ver si contienen constituyentes individuales, que es probable que se encuentre presente durante las emanación, para determinar si los TLVs específicos se han excedido, será adecuado verificar si hay elementos tóxicos presentes en las varillas de soldar, metal o revestimiento y aquellas condiciones que conducen a la formación de gases tóxicos.

En la mayoría de las soldaduras, incluso con ventilación primitiva se podría solucionar este problema, si en las caretas del soldador durante la soldadura, los humos acumulados están por encima de 5 mm/m^3 se le deberá proporcionar una ventilación adecuada; a mayor cantidad de partículas mayor deberá ser el control.

ANEXO E, Algunas partículas^a molestas TLV, 30 mpppc ó 10 mg/m³.

Aceites vegetales (niebla)	Glicerina (niebla)
(con excepción de los aceites	Grafito (sintético)
de racimo, anarcado u otros	Lana mineral (fibra)
aceites irritantes análogos)	Magnesitas
Alundón Al_2O_3	Pentaeritrol
Almidón	Rojo de pulir
Calcáreos	Sacarosa
Calcio (carbonato de)	Silicio
Calcio (silicato de)	Silicio (carburo de)
Caolín	Titanio (dióxido)
Celulosa (fibra de papel)	Vidrio (fibra ó polvo)
Cemento Portland	Yeso
Corindón (Al_2O_3)	Yeso de paris
Esmeril	Zinc (esteuratos de)
Estano (óxido de)	Zinc (óxido de) (polvo)

ANEXO F. Algunos asfixiantes^a simples. ref 53.

Acetileno	Hidrógeno
Argón	Metano
Butano	Neón
Etano	óxido Nitroso
Etileno	Propano
Helio	Propileno

ANEXO G.

Cálculo para la conversión del numero de partículas de las concentraciones en mpppc a concentración de masa respirable en mg/m³.

1.- Suposiciones básicas:

- A.- La densidad media para la Sílice que contiene polvos es de aproximadamente de 2.5 grms/cc (2500mg/cm³). Las densidades importantes de polvos en los pulmones pueden variar de 1.2 grm/cm³ para los polvos de carbón a 3.1 grm/cm³ para cemento portland. Las densidades de la Sílice varían de 2.2 (amorfo) a 2.3 (Cristobalita y tridimita) a 2.5 (alfa cuarzo).
- B.- El diámetro medio de la masa(dmm) de partículas recogidas en muestreadores de polvos pequeños y contados con la técnica Standard light field y recogidas por un muestreador respirable es de aproximadamente, 1.5 μ m ó 1.5 * 10⁻⁴ cm, estas suposiciones es, naturalmente, bastante arbitraria ya que dmm de todas las nubes de polvo varían bastantes, dependiendo de muchos parámetros independientes.

2.- Cálculo

a) Volumen por partículas :

$$4*PI*r^3/3 \quad r=0.75*10^{-4} \text{ cm}$$

$$4*PI*(0.75*10^{-4})^3/3 = 1.77*10^{-12} \text{ cm}^3$$

b) Peso de la partícula = Volumen * densidad.

$$= 1.77*10^{-12} \text{ cm}^3 * 2.5*10^3 \text{ mg/cm}^3$$

$$= 4.425*10^{-9} \text{ mg/partícula.}$$

c) 1 partícula/cm³ = 35.5 partículas/m³

$$(\text{puesto que } 35.5 \text{ cm}^3 = 1\text{m}^3)$$

$$10^6 \text{ partículas/cm}^3 = \text{mpppc} = 35.5*10^6 \text{ partículas/m}^3$$

Peso

$$1 \text{ mpppc} = 35.5*10^6 \text{ partículas/m}^3 * 4.425*10^{-9} \text{ mg/partículas.}$$

$$1 \text{ mpppc} = 0.157 \text{ mg/m}^3 \text{ ó } 6.37 \text{ mpppc} = 1 \text{ mg/m}^3.$$

3.- Los TLVs equivalente en mpppc y mg/m³ (de la masa respirable) para recomendables para polvos minerales, los más importantes se dara en la tabla siguiente; Cálculo del TLV para la mezcla de minerales, por ejemplo:

12.5 % de cuarzo	TLV puro = 3 mpppc.
12.5 % de Sílice amorfa	TLV puro = 20 mpppc
20 % de talco	TLV puro = 20 mpppc.
60 % de Celulosa	TLV puro = 30 mpppc.

$$\text{TLV} = \frac{1}{\frac{0.125}{3} + \frac{0.125}{20} + \frac{0.20}{20} + \frac{0.60}{30}} = 12.834 \text{ mpppc de la mezcla}$$

TABLA No 42

sustancia	Concentraciones Numeración mpppc	Ambientales Permisibles (TLV)	
		Masa respirable mg/m ³	Masa total ^a mg/m ³
Carbón (polvo)	12	2	4
Cemento portland	30	5	10
Diatomita(tierra)naturl		1.5	
Esteatita(piedra de ja- bón)	20	3	6
Grafito	15	2.5	5
Lana mineral (fibras)		5	10
Mica	20	3	6
Partículas molestas	30	5	10
Perlita	30	5	10
Sílice (SiO ₂)			
Amorfa	20	3 ^{a,b}	6
Cristobalita	1.5	0.05	0.15
Cuarzo	3	0.1	0.3
Sílice fundida	3	0.1	0.3
Tridimita	1.5	0.05	0.15
Talco (no asbestiforme)	20	3	6

La desviación admisible para el CO es 400 ppm durante 15 minutos

- q) Cuando están exentos de impurezas por ejemplo cuarzo <1% y cuando están determinados por métodos apropiados.
- r) < de 7 µm (micras) de diámetro.
- s) Según la definición enunciada en la primera parte del ACGIH
- t) Puede que sea necesario un TLV más riguroso para la crocidolita
- u) El fumar puede intensificar la incidencia de carcinoma broncogénico a partir de esta y otras de estas sustancias o procesos.
- v) El fumar puede intensificar la incidencia de cáncer respiratorio a partir de ésta o de otras sustancias o procesos.
- w) Nombre comercial: Algoflon, fluon, halon, teflon, tetran.
- x) No se encuentra clasificación de otra manera.
- z) A no ser que se especifique de otra manera, se piensa que la masa respirable es igual, aproximadamente al 50 % de la masa total.
- ab) Todos los valores son calculados recientemente a base de la equivalencia de 6 mpppc = 1 mg/m³ de masa respirable y masa respirable = 50 % de la masa total.

10.7 DISPOSITIVO INDIVIDUALES DE VENTILACION O SISTEMA DE ESCAPE. Procedimiento standard de seguridad No 72.

Los sistemas de escape se instala para eliminar los contaminantes del aire en la fuente donde se produce. Son necesarios para el mantenimiento de la salud, comodidad, prevención de incendios y explosiones.

El sistema de escape básico consta de cuatro partes: campana, conductos, dispositivo depurador de aire o filtros y ventilador. Cada una debe ser diseñada para un trabajo en particular, teniendo en cuenta la sustancia que se va a manipular como por ej: tamaño de las partículas, carga de polvos, corrosión, inflamabilidad, etc. Durante la instalación debe seguirse estrictamente las especificaciones del diseño incluyendo una protección adecuada contra incendios.

Para lograr una máx. eficiencia la campana debe colocarse lo más cerca posible a la fuente de contaminación. La campana y los conductos debe fabricarse de un material de buen espesor para reducir al mínimo el peligro de corrosión. Los ventiladores se instalan siempre en un lado del colector.

10.7.1 Mantenimiento .

El mantenimiento y las inspecciones se harán de acuerdo con las normas establecidas por los procedimientos industriales, es decir inmovilizando con cerradura los equipos antes de hacer el trabajo:

- 1.- Los motores y dispositivos de accionamiento de los ventiladores deberán ser inspeccionados y lubricados en intervalos regulares.

- 2.- La parte de adentro de los colectores deberán inspeccionarse periódicamente a través de puertas de acceso. la acumulación de polvos en el lado de aire limpio indica un funcionamiento impropio del colector.
- 3.- El personal de mantenimiento debe inspeccionar las tolvas para cerciorarse de que no están demasiado llenas y examinar las bolsas colectoras para tener la seguridad de que no están rotas o tienen escape.
- 4.- Los filtros deberán limpiarse o cambiarse periódicamente según se necesite.
- 5.- La velocidad de los ventiladores deberán verificarse periódicamente con un tacómetro.
- 6.- Deberán examinarse las paletas de los ventiladores en cuanto a su desgaste y posible contaminación de suciedades a través de una puerta de inspección cerca del punto de descarga del ventilador.
- 7.- La resistencia de la chimenea de descarga del ventilador deberán mantenerse baja.

Tabla No 43 Capacidad de aire por pie cubico de espacio.

ESPACIO	CORRIENTE MIN. ó PIES ³ /MINUTO OPERADOR	CAMBIO COMPLETO DE AIRE cada minuto.
50000 pies ³ ó más	350	20
5000 a 50000 pies ³	350	15
Menos de 5000 pies ³		
Espacio por operador		
4000 a 5000 pies ³		4
3000 a 4000 pies ³		3
2000 a 3000 pies ³		2
menos de 2000 pies ³		1

El volumen del espacio dividido entre la capacidad del ventilador en pies³/min. es igual al tiempo teórico necesario para cambiar de aire una vez.

10.8 PROTECCION CONTRA CHOQUE ELECTRICO.

Aunque los voltajes que se requiere para la mayoría de los trabajos de soldadura eléctrica son bajos, resulta suficiente para representar un fuerte potencial de choque eléctrico en condiciones desfavorables. Para minimizar la exposición al choque eléctrico y las consecuencias de los mismos, se debe observarse las precauciones siguientes:

- 1.- Nunca trabaje fuera de la vista de otras personas.
- 2.- Manipule siempre cualquier circuito eléctrico como si estuviera energitizado.
- 3.- Mantenga siempre el cuerpo (del soldador) aislado tanto de la pieza de trabajo como del electrodo metálico y del porta electrodo.
- 4.- Siempre que sea posible, parece sobre tablonos de madera aislante semejante, en vez de hacerlo sobre superficie metálica\$

10.9 CALIFICACION DE SOLDADORES.

Según Norma DIN 8560 - 8561 y DIN-EN 287-1/2872.

El objetivo es tener un personal bien preparado, por lo tanto las empresas industriales están obligadas a aplicar esta norma de calificación para soldadores, esto no garantiza que el personal que califica sea un experto, solo que es una persona competente y conocedor del proceso al cual el individuo a calificado (posición plana, vertical, sobre cabeza, etc. ya sea en soldadura de electrodo revestido, TIG, Arco sumergido, MIG/MAG, etc.)

10.9.1 Campo de aplicación

Para la ejecución de soldadura manual con los procesos de soldadura a gas, eléctrico con electrodo revestido, MAG-MIG y TIG, en partes o en segmentos de aceros aplicar la Norma DIN 8560 ó DIN-EN 287-1, ó en metales ferrosos aplicar la Norma DIN 8561 ó DIN-EN 287-2, como por ejemplo en:

- Construcción de Tanques.
- Calderas de Vapor.
- Edificios con estructuras de aceros
- Construcción de puentes.
- Construcción de represas y esclusas.
- Tendido de tuberías.
- Fabricación de recipientes.
- Construcción de barcos.
- Fabricación de vehículos.
- Tendido de Rieles.

En el campo de aplicación de un contratista de una obra, se exige el empleo de personal de soldadores calificados, cuya certificación avale su condición de personal competente.

10.9.2 Extensión.

La calificación consiste en un examen de la habilidad manual, de conocimiento de la soldadura, para el nivel de calificación y certificación.

10.9.2.1 Vigencia del certificado.

Según la norma DIN 8560/8561, el examen se repetirá anualmente, los casos de excepción son:

1.- Plazo corto

cuando el soldador deja de soldar por un período de tres o más meses.

2.- Plazo largo

Por ejemplo dos años, cuando el soldador es vigilado constantemente por un inspector especialista de la empresa, o por un centro de calificación competente y mediante los ensayos de costuras soldadas.

Según la norma DIN-EN 287-1/287-2 el examen se repite cada dos años y los casos de excepción se amplían para el plazo corto, cuando el soldador deja de soldar por 6 meses.

10.9.3 Posiciones de trabajo en soldadura Según ISO 6947

Campo de aplicación:

Esta norma internacional describe las posiciones de trabajo y posibilita determinar la ubicación especial de las costuras soldadas con referencia a un plano horizontal (paralelo al piso del taller), mediante el ángulo de inclinación y de rotación.

CONCEPTO:

a.- Posición de trabajo.

La posición de trabajo se define mediante la ubicación de la costura en el espacio y la dirección del soldeo

b.- Inclinación S.

Para costuras rectas, el ángulo de inclinación entre la línea del eje de la raíz y el eje X positivo del plano horizontal fig N°1, esta inclinación se mide grados en sentido positivo.

Para costuras curvas el ángulo de inclinación se forma entre la tangente del eje de la raíz en relación a la sección de la costura observada y el eje X.

c.- Rotación R.

El ángulo entre la mediana de la costura (esto es línea de unión entre el medio de la raíz y la superficie del cordón) y el eje Y, medido en grados en sentido positivo en el plano de la sección transversal de la costura en observación. La dirección de observación para la sección transversal del cordón es en sentido contrario al sentido de avance o de soldeo.

En el caso donde la inclinación $S = 90^\circ$ ó $S = 270^\circ$ fig N°27 se tiene en observación, no es necesario determinar la rotación, porque todos los ángulos son posibles. ejemplo para la determinación de los ángulos de rotación de costuras simétricas y asimétricas a tope y en filete o garganta se representan en le fig N° 25,26 y 27.

Definición para posiciones inclinadas, para tubos inclinados y costuras sin fin:

L - ángulo de inclinación del tubo.

H - sentido ascendente.

J - sentido descendente.

k - costuras sin fin

10.9.4 Procesos de soldadura DIN-EN 287: 1992.

- 111 Soldadura con electrodo revestido.
- 114 Soldadura de metal por arco voltaico con alambre tubular (sin gas de protección).
- 12 Soldadura por arco sumergido.
- 131 Metal de gas Inerte (MIG).
- 135 Metal de gas Activo (MAG).
- 136 Metal por arco voltaico con alambre tubular (con gas de protección).
- 141 Soldadura con Tungsteno con gas Inerte (TIG).
- 15 Tungsteno Plasma.
- 311 Soldadura a gas (Oxiacetileno).

10.9.5 Grupos de materiales según DIN 287-1

Grupo W01:

Aceros de bajo carbono sin aleación (aceros al carbono-Manganeso) y/o de baja aleación, este grupo también incluyen a los aceros de grano fino hasta un límite de fluencia $ReH < 355 \text{ N/mm}^2$.

Grupo W02:

Aceros al Cromo-Molibdeno (Cr-Mo) y/o Aceros térmicos (aceros al cromo-Molibdeno-vanadio).

Grupo W03:

Aceros Normalizados, bonificados, aceros con tratamiento termomecánico, con límite de fluencia $ReH > 335 \text{ N/mm}^2$, así como los aceros similares aptos para la soldadura, aceros al Níquel con 2 % a 5 % de Níquel.

Grupo W04:

Aceros inoxidable ferríticos o martensíticos con 12 % a 20 % de Cromo.

Grupo W11:

Aceros inoxidable ferríticos - Austeníticos, aceros austeníticos puros al Cromo - Níquel.

Tabla N°45

Grupo de Materiales para calificación de Soldadores	Campo de aplicación e inclusión.				
	W01	W02	W03	W04	W11
W01 St 37, St 52, St 35, 19Mn5, StE 32	*				
W02 13CrMo44 10CrMo 9 10	X	*			
W03 W StE 43, 10Ni14	X	X	*		
W04 X7Cr3, X22CrNi17	X	X	X	*	
W11 X5 CrNiMo 1812 X5 CrNiMoTi 2520	X1	X1	X1	X1	*

X1 se incluye solamente cuando el material de aporte del grupo W11.

Tabla No 46

Grupos de material de las pruebas	Campo de aplicación
W02	W02 Soldado con W01 a.
W03	W02 Soldado con W01 a. W03 Soldado con W01 a. W03 Soldado con W02 a.
W04	W02 Soldado con W01 a. W04 Soldado con W01 a. W04 Soldado con W02 a.
W11	W11 Soldado con W01 b. W11 Soldado con W02 b. W11 Soldado con W03 b. W11 Soldado con W04 b.

a. - Para uniones de materiales de distinto grupos el material de aporte deberá pertenecer a uno de esos grupos.

b. - Para la aplicación de materiales de aporte del grupo W11.

Tabla N°47

Tipos de electrodos revestidos para la calificación de soldadores	Campo de aplicación que esta incluido para la calificación				
	A/AR	R/RC	B	C	S
A y AR	*	-	-	-	-
R, RB y RC	X	*	-	-	-
B	X	X	*	-	-
C	-	-	-	*	-
S a.	-	-	-	-	*

S a.-Es valido solo para los tipos de revestimiento del electrodo especial, el que no cumple para la calificación.

A=Acido, AR=Acido Rutilico, B=Básico, C=Calulónico
S=Espacial.

Tabla N°48 Espesores de prueba y rangos permisibles.

Espesor "t" de prueba	Rango Permissible:
$t \leq 3$ mm	t a 2t (a)
$3 < t \leq 12$ mm	3 mm a 2t (b)
$t > 12$ mm	5 mm

a) para soldadura a gas 311; t a 1.5t

b) para soldadura a gas 311; 3mm a 1.5t

CAPITULO XI

ENSAYOS NO-DESTRUCTIVOS, DESTRUCTIVOS Y CORROSION
POSTERIOR AL PROCESO TIG.

CAPITULO XI
ENSAYOS NO-DESTRUCTIVOS, DESTRUCTIVOS Y CORROSION
POSTERIOR AL PROCESO TIG.

11.1 Pruebas de Corrosión Intergranular.

Este tipo de pruebas tiene por objeto la determinación de la resistencia a la Corrosión intergranular de los aceros Inoxidables austeníticos y Ferríticos con un contenido de cromo mayor o igual al 15 % y menor o igual 21 %, en medio ácido sulfúrico-Sulfato cuprico (ENSAYO MONYPENY-STRAUSS) NORMA ISO/R 3651/I 3651/II.

La importancia de este ensayo no es aplicables más que a los aceros inoxidables arriba descritos, presentados en forma de productos moldeados, laminados, forjados y tubos destinados a la utilización en medio ácido poco oxidante, por ejemplo: ácido sulfúrico, ácido fósforico y soluciones cloradas.

Generalidades:

La medición de la corrosión intergranular se dará preferentemente en los límites del grano, los aceros Inoxidables austeníticos puede sufrir este tipo de ataques después de haberse mantenido a una temperatura entre 500 °C y 900 °C y una temperatura superior de 850 °C para los aceros Inoxidables Ferríticos, este proceso ocurrirá durante la transformación en caliente (forja, laminado y fundido o moldeado) o como consecuencia de un temple incorrecto o de una operación de soldeo, provocando una sensibilización a la corrosión intergranular.

La corrosión intergranular puede ir unida a la presencia, a lo largo de las zonas próximas a los límites de grano, de una zona empobrecidas en cromo debido, en general a una precipitación de carburos de cromo en dicho límite.

Esta prueba se ensaya después que el material haya sido tratado térmicamente por un método de sensibilizado de acuerdo a lo especificado por esta norma.

1.- Para los aceros austeníticos las probetas se realiza un calentamiento durante 30 minutos a una temperatura de 700 ± 10 °C de sensibilización seguido de un enfriamiento rápido en agua.

2.- Para los aceros inoxidables Ferríticos se realiza bajo las mismas condiciones de temperatura que los aceros austeníticos pero el enfriamiento se realizara al aire (véase capítulo A5 de la Norma).

Preparación:

Antes de realizar la pruebas misma, deberemos realizar la siguiente preparaciones.

1.- Preparación mecánica: donde las probetas se adecua mediante un pulido de todas las superficie con una lija, hasta el No 400. siempre evitando el contacto con superficies oxidadas o contaminantes.

2.- Preparación cenizo: Decapado propiamente dicha, dichas probetas se le someterá aún decapado mediante una solución de 50 volúmenes de HCL ($d=1.19$ g/ml), 5 volúmenes de HNO₃ ($d=1.40$ g/ml) y 50 Volúmenes de agua caliente a una temperatura de 60 - 80 °C. o usar un método básico-ácido-básico.

Solución corrosiva:

100 gramos de sulfato de cobre cristalizado en 700 ml de agua destilada después se añade 100 ml de ácido sulfúrico ($d=1.84$ g/ml) complementando un volumen de 1000 ml.

Procedimiento:

Se utiliza un volumen de solución corrosiva de al menos de 10 ml por centímetro cuadrado o 20 ml por centímetro cuadrado de superficie cuadrado, en presencia de 50 gr de cobre metálico en forma de viruta por litro de solución introducido al comienzo del ensayo, estas probetas se le pone en contacto de la viruta de cobre y el conjunto se lleva al punto de ebullición durante un período de 24 horas, luego de ello se lava la probetas con agua destilada, este tipo de ensayo se repite de igual forma para los aceros inoxidable ferríticos (la solución solamente es usada por una sola vez).

Conclusiones:

1.- Luego de haber preparado las probetas y realizados los ensayos se notara efectivamente que en los bordes del cordón de soldadura; la presencia de la corrosión

intergranular cuando son observado al microscopio a 200 aumentos a lo largo de toda la plancha.

- 2.- Esta corrosión también afecta en la zona de interfase entre el cordón de soldadura y la plancha, por la presencia de dentritas finas concentrada en la zona de interfase o de fusión, obseravadas a 500 aumentos.
- 3.- Al observar entre el borde del cordón y el ancho de la zona afectada por el calor (ZAC), la corrosión se hizo más evidente a lo largo de la misma, siendo en mayor grado en los aceros Inox 430 y 304.
- 4.- La presencia de la ZAC se hizo muy evidente en los aceros inoxidable ferriticos a simple vista de un tamaño de aproximadamente 8 mm, cuando la prueba se alargó por un periodo de tiempo de 48 horas a las mismas condiciones, (solución corrosiva de sulfato de cobre y ácido sulfúrico, a temperatura de ebullision).
- 5.- Cuando la prueba se prolongo por 48 horas más al termino del ensayo de MONYPENY-STRAUSS, en un grupo de probetas bajo las mismas condiciones iniciales, se pudo observar que la ZAC presento una corrosión intergranular profunda entre ZAC y zona de fusión y menor grado a lo largo de la plancha y la soldadura; especialmente en los aceros inoxidable 304 y en menor grado en los aceros del tipo 316 L.

6.- Lo que se pudo confirmar, que la corrosión intergranular se presentará a lo largo de la ZAC y la zona de interfase; el ancho de ZAC estará íntimamente relacionado con la variables de soldeo.

11.2 Pruebas de Polarización Catódica.

Todas las pruebas se han efectuado con la ayuda de un potencióstato/galvanostato Modelo 173 de la Princeton Research, este equipo cuenta un programa universal modelo 175 mediante el cual se programa tanto la velocidad como el rango de barrido de los potenciales previamente prefijados, a este equipo se encuentra acoplado a un graficador para registro de las respuestas de la corriente como función del potencial experimentado, el medio al que será expuesto será H₂SO₄ en 1 % , 5 % , 10 % y 15 % .

Estas probeta son de dos tipos: una conteniendo el 50 % de plancha y 50 % de soldadura como superficie de contacto (cara), la segunda probetas conteniendo aproximadamente el 35 - 40 % de soldadura y el resto es plancha como superficie de contacto (raíz), el área de la superficies de contacto es de 100 mm² , dichas superficies son pulidas hasta la lija al agua No 400, antes de cada barrido son previamente lavadas con agua destilada y limpiadas con alcohol.

Nota: nunca utilice la misma probeta para hacer doble medición, si fuese el caso habrá que limpiar la superficie con una lija No 400, lavar con agua destilada y limpiar con alcohol.

Procedimientos para la determinación de las curvas de polarización:

Las técnicas que se siguen para la determinación de la velocidad de corrosión son la determinación de las pendientes de tafel (b_a y b_k) y la medición de su resistencia a la polarización; Los pasos siguientes son:

Acondicionamiento de las probetas y equipo (ensamblaje).

Medición del potencial de abandono y velocidad de barrido, en forma directa en el circuito abierto, luego de homogenizar la solución.

Programación de los rangos de barrido en las zonas catódicas y anódicas, aproximadamente + 50 a -500 mvoltios, simultáneamente se hace una programación de la velocidad de barrido que en todos los casos fue de 5 mvoltio/segundo (como la más apropiada).

Se programa una escala de corriente para evitar los sobre amperajes, hasta + 100 mvoltios.

Determinación de la recta de la resistencia de polarización:

Para la realización de esta prueba, luego de determinar las curvas de polarización llevar estos datos a una computadora, graficar y estimar los rangos de voltaje en la que se encuentra (E_{aba}) con +

50 mv a - 50 mv de la escala de (Eaba) de las curvas de polarización.

Las velocidades de barrido están en el rango de 2.5 mvoltios/segundo, luego se de ello se realiza el mismo procedimiento seguido para la curva de polarización.

Nota: En todos los casos hemos usado dos Digital-Multimeter para las mediciones de amperaje y mvoltajes durante el experimento, que se conectan a la salida del graficador del potencióstato.

Conclusiones:

- 1.- Desde el punto de vista de la corrosión, determinada experimentalmente por *tafel* se notó que las superficies soldadas con argón puro para un proceso TIG frente un Gas AGAMIG usado por un proceso MIG & MAG y un proceso de electrodo revestido, que los valores más bajos de mm/año. se obtienen empleando un proceso TIG; hay que indicar que el gas AGAMIG contiene 2 % Oxígeno y a lo largo del proceso de soldadura MIG se oxidó la superficie.
- 2.- Cuando fueron comparados los datos de la soldadura con gas de Ar puro en la cara y un aporte de gas de Nitrógeno en la raíz, en una misma plancha, se encontró que la resistencia a la corrosión era mayor en la raíz que en la cara, dando lugar a la conclusión que esto era posible cuando se suelda con amperajes bajos y la presencia del gas Nitrógeno, ello favoreció la resistencia al medio corrosivo por Ácido Sulfúrico.

- 3.- A bajas velocidades de barrido en todas las probetas de soldadura se observó que el material expuesto se pasiva durante el barrido cuando la concentración de ácido sobre pasaba el 10 % de concentración de ácido sulfúrico.
- 4.- Los picos de $(\text{Log } I_{\text{corr}} / \text{Log } I_{\text{pasb}})$ entre un proceso TIG y electrodo revestido; los valores de velocidad de penetración (mm/año) más bajos se encontraron en el proceso TIG frente SMAW y MIG MÁS para propósitos de corrosión.
- 5.- En conclusión al cuantificar la velocidad de penetración de un proceso de corrosión en mm/año en una plancha de soldadura, estamos midiendo indirectamente el efecto de la ZAC. en el cordón de soldadura.

11.3 Metalografía.

Para nuestro trabajo de investigación usaremos como solución de ataque de Marble y una solución ml de etanol, 24 ml de ácido clorhídrico, 8 ml de ácido nítrico y gramos de cloruro ferrico, observados en un microscopio metalografico a un aumento de 200, 500 y 1000, presentando las siguientes estructuras, fig 36 al 46.

11.4 Tracción

El equipo usado de marca DITROI de tracción y compresión, de la empresa FUNFERSA, las probetas son mecanizadas bajo la norma de ANSI/ASTM E8-93

11.5 Pruebas de Dureza

Para este tipo de ensayo se empleo un equipo WILSON para la medición en la escala HRA, estas mediciones se tomaron a lo largo de la cara y la raíz previamente cepillada la superficie en aproximadamente 0.2 mm por lado de la planchas, presentando las siguientes cuadros: t06-316 cara y raíz, T05-304 Cara y raíz, T04-316 Cara y raíz, M04-316 Cara y raíz, Mig 30 cara y raíz, etc.

Conclusiones:

- 1.- En todos los casos se presento en lado de la cara del cordón unas zonas duras al borde del cordón de soldadura, su dureza fue menor que de el cordón mismo (55 - 58 Rockwell A), pero mayor que la plancha (48 - 50 Rockwell A).
- 2.- Se encontró una zona de dureza intermedia mayor a de la plancha y menor que del cordor de soldadura al llamaremos ZAC ubicado al borde del cordón, esta zona varia de acuerdo con las condiciones de operación del equipo de soldar, (tablas de dureza No 56s).
- 3.- Al comparar la dureza a lo largo de plancha por la cara y la raíz, se noto una gran discrepancia, esto se debió que las condiciones de operación de soldadura en la cara y la raíz fueron diferentes como se muestra en la tabla No 56 (s) y de la presencia del elemento de Nitruros, este ultimo no se pudo determinar al no contar con los equipos apropiados para tal fin.

11.6 Análisis Químico

cuadro No 55 b.

11.7 Radiografía Industrial.

El problema de más cuidado es de clasificar la severidad de los defectos que pueda presentarse en la soldaduras y su influencia sobre las características mecánicas de la unión, por la que resulta poco práctico de establecer reglas rígidas y de carácter general que estén basados en un estudio de la severidad para los distintos defectos. El mayor peligro deberá a las grietas superficiales normales a la dirección de máxima tensión, si existe cargas alternas (fatiga) o si la unión se encuentra en contacto con un medio corrosivo, las grietas internas si bien son de menor severidad, pueden extenderse y abrirse en condiciones de fatiga.

Defectos redondeados, cavidades e inclusiones, aparte de definir una mala calidad de la soldadura, se presento con frecuencia en los procesos de arco eléctrico con electrodo revestido y menor grado en el proceso MIG.

La falta de fusión o penetración debido a una mala ejecución del proceso SMAW y MIG & MAG, ocasionará una notable reducción de la resistencia a la fatiga y una corrosión localizada cuando se hallan abierta o parcialmente cerradas mediante soldaduras de estanquidad agrietadas, para lo cual nosotros recomendaremos su reparación.

Para nuestro criterio de clasificación usaremos la norma UNE 14.011 - Clasificación de soldaduras por rayos X, aplicados exclusivamente a los recipientes de presión y tuberías, las normas de adaptación de las uniones soldadas, contenidas en esta norma son muy parecidas a la de ASME VIII, Div 1, para UW-51/ASME. V, art 2, art 22 y AWS QW-191, QW-256 para procesos TIG, en general no se admite en ningún código de uniones soldadas que presenten defectos tales como: grietas, falta de fusión o falta de penetración, sin embargo como se indica en la norma como una observación que tiene que estar establecida, que la falta de penetración cuando no se requiere la penetración completa no puede ser considerada como defecto, habiendo incluso casos en las que bajo ciertas condiciones se admite la falta de penetración en la raíz (B.S. 3351-1961 Sistemas de tuberías para la industria del petróleo).

Para la admisión o rechazo de las uniones soldadas sobre materiales Austeníticos y Ferríticos y los no Ferrosos, cuya radiografía muestre porosidades se tendrá en cuenta las cartas de porosidad máxima admisible, en una determinada longitud de la unión soldada, para las cuales tenemos la del código de ASME y las porosidades (ISO/TC. 11)

Las inclusiones de escoria, bien sean aisladas o alineadas serán admitidas o rechazadas de acuerdo a su longitud de la agrupación en relación con el espesor de la unión, que puedan encontrarse y a una determinada longitud de la misma. (AWS QW-142, QW-143).

La mordedura de bordes, cuando esta presente en uniones en servicio, estará sometidos a fatiga térmica o mecánica, presentan una condición de fuerte entalle que puedan producir grietas y dar lugar a la rotura, estas mordeduras puede corregirse esmerilando la zona afectada si el caso lo requiere, la mordedura no son permitidas a una profundidad mayor de 0.5 mm, en algunos casos y las mordeduras deben ser consideradas como defectos superficiales se pueden ser aceptadas hasta una profundidad del 5 % de espesor de la plancha.

Conclusión:

- 1.- Las fallas más frecuentes encontradas en la soldadura MIG & MAG a lo largo del cordón fueron: porosidades y micro porosidades por atrapamiento de gas, esta ultima solamente detectables por metalografía.
- 2.- En el proceso TIG presento menos o casi ningún defecto a lo largo del mismo, salvo dos casos muy aislados por condiciones del equipo por falta de fusión en la raíz.
- 3.- En los procesos de electrodo revestidos se noto el atrapamiento de escoria en la raíz y falta de fusión era frecuente, cuando el equipo de soldeo tiene mucha oscilación.

4.- Cuando se aumento el amperaje muy excesivo en un proceso MIG & MAG y SMAW presentando socavación a largo del cordón, pudiendo corregir las variables del equipo de soldar, pero no ocurrió en TIG

El equipo usado fue el del Laboratorio de Metalurgia Física de la Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica empleando película proporcionada por el Laboratorio de Ensayos Mecánicos de PUC, con la ayuda del Ing. Ruiz y el Ing. Cuya.

CAPITULO XII

CALCULO DE LOS COSTOS DE LOS CORDONES DE SOLDADURA.

CAPITULO XII.

CALCULO DE LOS COSTOS DE LOS CORDONES DE SOLDADURA.

12.1. FACTORES TECNICOS DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA.

Densidad = peso / volumen --> Peso = Densidad * Volumen.

Peso = Densidad (gr/cm³) * área * 1 metro lineal

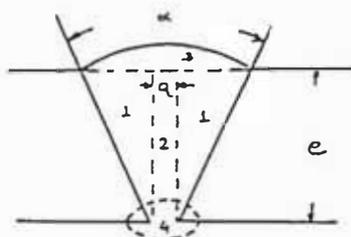
Peso = 7.93 gr/cm³ * 1kg/1000 gr * 1 cm²/1000 mm² * A mm² * 1mt

Peso (kg/mt l) = 7.93 * (Area en mm² / 1000)

Densidad de materiales industriales mas usados

Material.	Densidad (gr/ cm ³)
Acero 0.15 / 0.30 % C	7.85
Acero 0.50 % C	7.83
Acero al Manganeso	7.93
Inoxidables Austeníticos	7.93
Aluminio	2.72
Bronce Tobin	8.60
Bronce al Aluminio	7.70
Cobre	8.93

Determinación del peso de la junta en V.

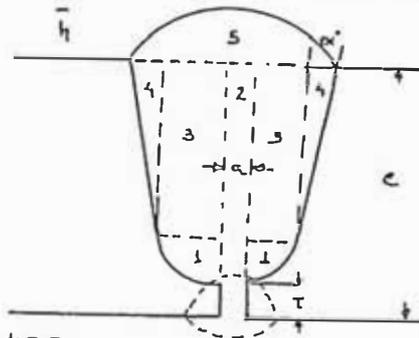


Areas de las Juntas.

Area del triángulo (1)	$A_1 = e^2 * \tan(\alpha/2).$
Area del rectángulo (2)	$A_2 = a * e.$
Area Sobreelevación (3) donde $b = b' + a.$	$A_3 = \pi * a * h / 2.$
Area Contrasentido	Porcentaje adicional en función del ángulo y espesor de la pared. A4.
Area Total	$A_{total} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4.$

Peso de la costura kg/ml = A total en mm² * (7.93 gr/cc) / 1000

Determinación del peso de la Junta tipo U.



Áreas de las Juntas.

Área de la semiesfera (1)	(1)	$A_1 = \text{PI} \cdot r^2 / 2$
Área del Cuadrado (2)	(2)	$A_2 = 2 r (e - (t + r))$
Área del Rectángulo (3)	(3)	$A_3 = a * e$
Área del Triángulo (4)	(4)	$A_4 = (e - (t + r))^2 * \text{Tan } \alpha$
Área de la Sobreelevación (5) Si $b' = 2(r + (e - (t + r)) \text{Tan } \alpha) + a$	(5)	$A_5 = b' * h * \text{PI}$
Área Total		$A_{\text{Total}} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5$

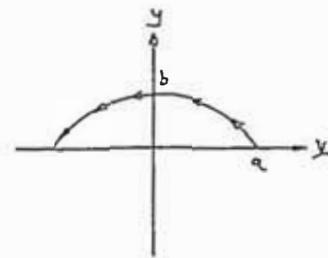
Peso de la costura = Área en mm² * 7.93 (gr/cc) / 1000

CÁLCULO DEL ÁREA DE LA SOBREELEVACION.

$$x^2/a^2 + Y^2/b^2 = 1 \quad \text{ec (1)}$$

$$Y/b = \text{Sen } t. \quad t \in [0, 2\text{PI}]$$

$$X/a = \text{Cos } t.$$



$$Y = b \text{ Sen } t. \quad \text{ec (2)}$$

$$X = a \text{ Cos } t.$$

$$Y^2 = b^2 * \text{Sen } t^2$$

$$X^2 = a^2 * \text{Cos } t^2$$

$$dx = -a \text{ Sen } t * dt. \quad \text{ec (3)}$$

$$A = \int_a^b Y * dX. \quad \text{ec (4)}$$

$$A = \int_0^\pi b \text{ Sen } t (-a \text{ Sen } t) dt.$$

$$A = \int_0^{\pi} -ab (\text{Sen } t)^2 dt$$

$$A = ab \int_0^{\pi} (1 - \text{Cos } 2t)/2 dt.$$

$$A = ab/2 \int_0^{\pi} (1 - \text{Cos } 2t)/2 dt.$$

$$A = ab/2 * \left[t - \text{Sen } 2t / 2 \right]_0^{\pi}$$

$$A = ab \left[\text{PI}/2 - \text{Sen } 2\text{PI} / 4 - 0 + \text{Sen } 0 / 4 \right].$$

$$A = ab \text{PI} / 2.$$

Area de la sobreelevación = $ab * \text{PI} / 2$
--

Calculo del consumo de corriente.

$$\text{Cons. Corr.} = \left(\frac{\text{J.U.}}{1000 \text{ Sf. } n} + \text{No} \left(1 - \frac{1}{\text{Sf}} \right) \right) * T.$$

Cons. Corr: Consumo de corriente Kwh.

J : Corriente de soldadura (Amp óptimo) Tabla N° 85

U : Tensión de arco de trabajo (Volt).

Celulósicos 24 V.

Rutilicos 26 V

Hierro en Polvo 30 V.

Bajo Hidrógeno 25 V.

Sf : Factor de tiempo de soldadura Tabla N° 86

n : Rendimiento de la fuente de poder

Rectificador 0.7

Transformador 0.8

No : Consumo de corriente en Kw.

Rectificador 1.0

Transformador 0.3

T : Tiempo total de soldadura (horas)

Tabla N° 85 * Tabla N° 86

Datos practico a utilizar en los cálculos empleando las

Eficiencia del deposito:

Tabla N°10.9

Alambre MIG 90 %

Alambre TIG 95 - 97 %

$$\text{Costo US/ml} = \text{P. M. D. (kg/ml)} * \frac{\text{Valor del alambre (\$/kg.)}}{\text{eficiencia del deposito}}$$

Flujo de Gas:

20/25 pies ³ /hr	(1.65/ 2.2 m ³ /hr)	amperaje	50/ 150
35/32 Pies ³ /hr	(2.20/ 2.7 m ³ /hr)	amperaje	150/ 350
32/42 Pies ³ /hr	(2.70/ 4.0 m ³ /hr)	amperaje	> 350

$$\text{Costo US/ml} = \text{P.M.D. (kg/ml)} * \frac{\text{Flujo Gas (m}^3\text{/hr)} * \text{Gas (}\$/\text{m}^3\text{)} * f}{\text{Velocidad de deposición (Kg/hr)}}$$

f : Factor de avance de soldadura.

1 metro ----> 0.034 horas 0.8 mm

1 metro ----> 0.0425 horas 1.0/1.2 mm

\ alambre.

\ alambre.

Valor del gas:10 US \\$/ m³ + IGV + 0.168 \\$/m³ (Flete)Valor de la Mano de Obra:

Aproximadamente 300 \\$ /mes : 1.302 \\$/hr. TIG.

Aproximadamente 250 \\$/ mes : 1.04 \\$/hr. MIG.

Aproximadamente 200 \\$/ mes : 1.0 \\$/hr. Electrodo consumido.

$$\text{Costo US/ml} = \text{P.M.D (kg/ml)} * \frac{\text{Mano de Obra (\$/hr)}}{\text{Velc. de deposito (kg/hr)} * f.Operación}$$

Gastos Generales:

ejemplo:

Aproximadamente 2 * valor de Mano de Obra - 2.08 \\$/hr

Costo de Energía:

0.14 \\$/ Kw - hr (tarifa en el Perú).

$$\text{Costo US/ml} = \text{P.M.D. (kg/ml)} * \frac{\text{Costo Energia (}\$/\text{kw-hr)} * \text{Voltaje} * \text{Amp.}}{1000 * \text{Velc. de deposito (kg/hr)} * \text{Eficiencia.}}$$

12.2 Las siguientes Tablas determinan los costos para soldadura.

Los ejemplos No 1 al 6 de las tablas No 87 al 92 , se demuestra los cálculos del costo de soldadura en US/metro lineal de acuerdo a los datos prácticos obtenidos durante el proceso de soldeo en las pruebas experimentales realizadas en DERLIKON, en ella se demuestra que el uso del proceso TIG frente al MIG & MAG SMAW es más eficiente y económicamente mas rentable que los demás procesos, a pesar de que las velocidades de soldeo fueron bajas en el orden de 1.5 kg/hora a 2 kg/hora.

Esto se vera reflejado al comparar el proceso TIG a varias velocidades frente a otros procesos en la Tabla No 93, y los costos que representa en US/Metro lineal para espesores de 5 mm y 12 mm.

CAPITULO XIII

VENTAJAS DEL PROCESO TIG.

CAPITULO XIII

VENTAJAS DEL PROCESO TIG.

13.1 Tecnologicamente

De acuerdo a las pruebas de corrosión realizadas con un potencióstato encontramos que el uso del proceso TIG frente a los demás procesos como el MIG y SMAW de acuerdo a las tablas No 53 al 62 los valores de mm/año, mas bajos se obtuvieron cuando se soldó con el proceso TIG.

Además que la ZAC mas reducida se obtiene cuando se suelda con este proceso TIG en < 7 mm de acuerdo a las tabla No 65 al 70 (practico), frente a los valores Teóricos obtenido con el programa de la pag. 137 y los valores de dureza mas bajos obtenidos en la raíz se encuentra cuando se soldó con el proceso TIG.

13.2 Económicamente.

Como ya la habíamos indicado el proceso TIG es mas rentable frente a los procesos MIG & MAG ó SMAW como se demuestra en la Tabla No 93 y 94.

En la tabla No 93 se demuestra que soldando a una velocidad de 2 mm/seg con un proceso TIG frente a MIG ó SMAW se puede llegar a tener una rentabilidad de 50 al 70 % y económicamente como en la tabla No 94 se demuestra, llegar a tener un reducción de sus costos en 5 a 10 US/Metro lineal del costo al soldar con SMAW.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES.

Para cualquier proceso de soldadura empleado para soldar un material de aceros inoxidable Austeníticos o Ferríticos se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- I. El factor más importante para los materiales arriba descritos en su valor inoxidable, que dependa del ancho de la ZAC; esta ZAC determina su resistencia a la corrosión intergranular las cuales dependen el uso correcto de sus variables de operación.
- II. Esta observación se corroboró al cuantificar los mm/año usando un potencióstato y su dureza HRA en forma transversal al cordón como se demuestra los cuadros No 50 al 70.
- III. Otra variable de vital importancia es la velocidad de avance y velocidad de deposición que influirá en el ancho de ZAC, a mayores velocidades menor ancho de ZAC y menores velocidades mayor ancho de ZAC tabla No 97 al 98.
- IV. A menor Voltaje y mayor Amperaje de operación, nos favorece que el ancho de ZAC sea también menor o la relación de I/V mayores de 6 nos dará como resultado menores valores de ZAC, como se demuestra en el cuadro 95 y 96, esto se vio reflejado cuando se comparó los resultados con el uso del Programa en BASIC descrito capítulo anterior.

- V. La soldadura TIG frente a la soldadura MIG & MAG y SMAW cumple con los puntos arriba indicados y económicamente presento un 35 % de reducción de sus costos frente a SMAW y de 10 a 15 % de reducción sus costos frente a un proceso MIG & MAG, cuadro No 93 al 94, por lo expuesto el uso del proceso TIG es el más recomendado para usar en soldadura de aceros inoxidables austeníticos y ferríticos.
- VI. La recomendación de un tratamiento térmico a los cordones de soldadura no favorece a la resistencia a la corrosión ya que al disminuir la concentración de carburos en la zona de interfase, hace crecer la ZAC y esta zona ZAC hace que el material falle por ZAC que por el cordón o por la plancha misma tabla No 39 al 40.
- VII. Para la determinación de la ZAC recomendaría usar la formulación matemática o el programa en BASIC ya descrito en el capítulo 8, estos valores teóricos calculados presentan una aproximación con un 10 a 15 % de error respecto a los datos determinados experimentalmente en su dureza transversal al cordón.
- VIII Una caso frecuente en la soldadura de Aceros Inoxidables Austeníticos y Ferríticos es La Rajadura que puede ocurrir a temperatura por debajo de la temperatura de bulk de los solidos en los cordones de soldadura. Estas rajaduras en caliente puede aparecer

generalmente a lo largo de la línea central del cordón.

Sin embargo, también puede aparecer en tamaño pequeños llamadas como rajaduras cortas (microfisuras) en la soldadura o en la zona afectada por el calor ZAC en la línea de fusión y usualmente perpendicular a ella.

- IX. Si el depósito de soldadura es austeníticos, entonces un número de ferrita de 4 ó 5 como mínimo es suficiente para prevenir la rajaduras en caliente. ref 9 y AWS 5.4-93 (calculado empleando el diagrama de Lake) Además, un depósito que primeramente es austeníticos no se rajara en frío. Estas dos consideraciones influyen en la selección del metal de aporte y el desarrollo de la soldadura.

Es apropiado considerar que la ferrita que se encuentra a temperatura ambiente después de la solidificación es solo una fracción de lo que existe durante la solidificación. En términos del diagrama (WRC 1992), el encontrar ferrita a temperatura ambiente solo es una indicación indirecta del modo de solidificación ref 10.

Según esta teoría: Si la soldadura solidificar como ferrita al inicio, con presencia de austenita solo en la última etapa de solidificación, entonces la soldadura tendrá resistencia a la rajadura. Sin embargo,

si la soldadura solidificar al inicio como austenita, con la presencia de ferrita solo en la ultima etapa de solidificación, entonces la soldadura corre el riesgo de rajarse.

- X. Las aleaciones que solidifican como austenita primaria son más susceptibles que todas las aleaciones en este sistema, excepto aquellas que solidifican enteramente como austenita según D.J Kotecki, The Lincoln Electric Company.

- XI. Las aleaciones que solidifican enteramente como ferrita son más resistentes a las rajaduras en caliente que cualquier otras aleaciones, excepto aquellas que solidifican como ferrita primaria. Por lo que desde un punto de vista de la soldadura, el orden requerido de solidificación es ferrita primaria, completamente ferrítico, austenita primaria y completamente austenítico al final, ref 17.

- XII. La mezcla de gas ARGON + (1 - 2 % Nitrógeno) recomendaría como uso de gas de protección, la presencia del gas nitrógeno aumenta su resistencia a la corrosión intergranular a través de la precipitación de nitruros de Cromo en los límites del grano, ya que esto se vio reflejado en la cara (gas de Ar) y en la raíz del cordón (gas Ar+N₂), al ser sometidos a la prueba de tafel, en soluciones de Acidos sulfurico a varios %, esto ocurrirá siempre y cuando que el contenido el carbono sea muy bajo alrededor de 0.03 % y el nitró-

geno alrededor de 0.08 % a 0.15 % siendo que esta presencia favorezca un cambio electroquímico que sería meramente estructural en los aceros inoxidables convencionales y si los cordones de soldadura suelen poseer mayores contenidos de carbono y por consiguiente la precipitación de carburos $MxCy$ se realizara primero que los nitruros. fig No los niveles tolerables.

XIII La identificación tanto de la ferrita, nitruros y el tipo de Astenita no pudieron realizarse en los laboratorios de FIGMM ya que para ello es necesario contar con un microscopio con aumentos mayores a 2000 como mínimo o el uso de un microscopio electrónico.

XIV. Ventajas de usar un proceso (TIG) para soldar los aceros Inoxidables austeníticos:

- 1.- Produce soldadura de alta calidad y baja distorsión .
- 2.- Libre de salpicaduras como ocurre en otros métodos.
- 3.- Se puede usar con o sin alambre de relleno.
- 4.- Se puede usar una fuente de poder con rangos finos de energía.

- 5.- Suelda casi todos los tipos de metales, incluyendo los materiales disímiles.
- 6.- Se puede controlar el calor generado por el arco en la soldadura, con la alta frecuencia
- 7.- El operador tiene un control excelente del arco y la visión no es limitada por la emisión de gases o smoke generado por el proceso.
- 8.- El proceso es requerido cuando se requiere la más alta calidad de la soldadura.
- 9.- Consumo bajo de Volt-Amp cualquier otro proceso de soldadura MIG MAG o por electrodo revestido SMAW.

LIMITACIONES:

- 1.- Producen bajas velocidades de deposición que los procesos de soldadura por arco eléctrico con electrodo consumible o se puede optar por un proceso semiautomático para superar esta deficiencia.
2. Se requiere un poco más de destreza y coordinación del soldador al usar el proceso TIG, frente a MIG & MAG o SMAW.

3. Se hara menos económico que la soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido, para secciones \geq de 9.5 mm (3/8 in), pero más rentable en espesores menores que esta.
- 4.- Es problematicos en ambientes aereados debido a la dificultad en proteger apropiadamente la zona soldada.

ALGUNOS PROBLEMAS GENERADOS POR ESTE PROCESO COMO:

- 1.- Inclusiones de tungsteno, si se permite que el electrodo haga contacto con el baño de fusión .
2. Contaminación del metal soldado si no se mantiene una protección apropiada del metal de relleno por el gas de flujo.
3. Bajo porcentaje de contaminación en los metales de base y de relleno por efecto de la soldadura.
- 4.- Contaminación o porosidad, causado por el goteo del liquido refrigerante de las pistolas enfriadas por agua.
- 5.- Choque de arco, como ocurren en otros procesos.

XV.- Ventajas de usar un equipos de Plasma FAW frente a un proceso TIG.

- 1.- Para el proceso FAW del tipo Djo de llave, puede penetrar en un solo pase simple, grandes espesores de metal, comparado con los procesos TIG. Esta gran cantidad de penetración permite que la preparación de las juntas sean más simples, por ejemplo, se puede usar una preparación de junta de tope ranurado para espesores hasta 12 mm. (espesores de $\frac{1}{2}$ in), el proceso puede ser similar al TIG.
- 2.- El FAW minimizan los pases, los tiempos de soldadura y los costos de trabajo.

La forma columna del arco da como resultado una gran tolerancia a las variaciones en cuanto a la distancia ubicada de la pistola, comparado con la forma cónica del arco TIG.

- 4.- El electrodo de tungsteno usado en el proceso FAW esta protegido de la contaminación por la boquilla contraída fig. N° 26

DESVENTAJA

- 1.- La longitud grande del arco no permite una visión del baño de fusión, que es importante para la soldadura manual como para TIG.

2. La alta concentración del arco alcanza altas penetraciones, también reduce la tolerancia del proceso para unir brechas y desalinamientos comparado con el arco cónico de TIG.
- 3.- El Proceso PAW, tiene una gran complejidad en el diseño de la pistola y el gran numero de partes requiere mantenimiento con mucha frecuencia, siendo estas partes las que incrementen sus costos de reparación y mantenimiento.
- 4.- La limpieza frecuente del orificio de la boquilla.
- 5.- El alto costo de capital de inversión del equipo comparado con el TIG.

XVI.- Gas de protección

- 1.- La importancia de un gas de protección es La energía expresada en electrovoltio necesaria para mover un electrón de un átomo de gas, convirtiéndolo en un ion o un átomo gaseoso cargado electricamente, donde los valores del potencial de ionización disminuye al aumentar el peso molecular del gas.
2. Un gas con un potencial ionización bajo favorece la formación de átomos fácilmente por lo tanto el Gas Argón exhibe baja conductividad térmica, produciendo una columna de arco contraída y

estrecha; esto permite grandes variaciones en la longitud de arco.

- 3.- Un gas con un potencial de ionización alto necesitara mayor energía para la formación de átomos gaseosos, por lo tanto el Gas Helio exhibe alta **conductividad** térmica, produciendo **una columna** de arco ancho y caliente. ideal para el aluminio tabla No 30.

XVII Pasivación en los aceros Inoxidables.

El objetivo principal al tratar una soldadura o plancha de acero inoxidable es la formación de la capa de óxido de cromo que es la resistente a la **corrosión**. (comportamiento pasivo contra un medio corrosivo), en el cual se deberá cumplir los siguiente pasos:

- 1.- Construcciones y fabricaciones que permitan el **decapado**
2. Tratamiento post mecánico.
- 3.- Tratamiento post Químico o propiamente dicho un decapado.

Factores que deberán tenerse en cuenta para un buen deca-
pado:

- 1.- Una alta temperatura de decapado reduce el tiempo de acción, una baja temperatura lo alarga; en caso de temperaturas muy bajas se **recomienda a veces** calentar el baño.
- 2.- El contenido de molibdeno y un mayor porcentaje de cromo-níquel en los aceros prolonga el tiempo de decapado.
3. Un creciente grado de desgaste del baño de mordientes prolonga el tiempo del decapado.

En la practica es posible que el tiempo del decapado pueda prolongarse hasta una a dos horas, debido a las influencias mencionadas, todas las soluciones para el decapado son preparadas con agua y se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- A. El agua de pozos o ríos puede contener materias **extrañas** que afectan grandemente **la acción del decapado.**
- B. El agua potable puede contener una gran cantidad de iones de cloro.

La Pasivación propiamente dicha:

El proceso de pasivación comienza ya durante el enjuague. Se forma sobre todo por efecto del oxígeno del aire. Los tiempos utilizados pueden ser de varias horas llegando en el peor de los casos a varios días. En realidad la pasivación se entiende la producción rápida de óxido de cromo con ayuda de sustancias químicas que se oxidan fuertemente. Generalmente se trata de productos comerciales que contienen mayor porcentaje de ácido nítrico como portador de oxígeno esto puede ser medido a través de un potencióstato como se demuestra en las tablas No 34 al 38.

XVIII Control del medio ambiente, Seguridad e Higiene industrial.

Todos los trabajos que involucren corte y procesos de soldadura de cualquier tipo se deberán adecuar a las especificaciones y normas editadas por la AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS), la sociedad COMPRESSED GAS ASSOCIATION (CGA) y la acta de WILLIAMS-STEIGER sobre seguridad y salud en el trabajo, conocida mundialmente como OSHA.

Un análisis de seguridad de un trabajo es un procedimiento que debería ser de uso frecuente, donde se identifican los riesgos de accidentes potenciales, asociados con cada etapa del trabajo y su posterior solución.

Existen cinco pasos básicos para realizar un análisis de trabajo.

- 1.- Seguridad e higiene industrial:
2. Selección del trabajo a analizar.
- 3.- División del trabajo en etapas sucesivas.
- 4.- Identificación de riesgos potenciales.
- 5.- Desarrollo de las maneras de eliminar los riesgos y los accidentes potenciales.

los puntos arriba mencionados serán los pasos que por regla general deberemos establecer para instituir la norma de seguridad más apropiadas ya que no existe una regla definida, para lo cual debemos de hacer la siguientes preguntas:

- *. La frecuencia en la ocurrencia de accidentes anteriores.
- *. Frecuencia de lesiones inhabilitadoras.
- *. Gravedad potencial.
- *. Un trabajo nuevo.

bajo este procedimiento hemos establecido los siguientes puntos básicos para un proceso TIG:

- 1.- Manipulación segura del equipo.
- 2.- Conexión de reguladores.
Procedimiento standard de seguridad no 40 .

Seguridad en los cortes y soldadura con arco.
Procedimiento standard de seguridad no 63.
- 4.- Protección de ojos y cara.
- 5.- Dispositivo individuales de ventilación o sistema de escape. Procedimiento standard de seguridad No 72.
- 6.- Protección contra choque eléctrico.
- 7.- **Control** del medio ambiente e impacto ambiental de la soldadura (anexo a,d,e,f y g TLVS). esta reglamentado por AMERICAR CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH) en su concentraciones permisibles (TLVs). en sus **anexos** A,D,E,F y G.

La naturaleza de cualquier material tóxico a los que puede estar expuesto el soldador dependerá del tipo de soldadura, y la presencia de contaminación en el metal base y de la presencia de disolventes **volátiles** en el aire, entre las clasificaremos de la siguiente forma:

1a. Cancerigenos para el hombre

2da. Para Emanaciones de Soldadura ANEXO B4.

Total de macro partículas (NOC)* = TLV, 5 mg/m³

3er. ANEXO E, Algunas partículas^a molestas TLV,
entre 30 mpppc ó 10 mg/m³.

4to. ANEXO F, Algunos asfixiantes^m simples.

XIX. CALIFICACION DE SOLDADORES.

Según Norma DIN 8560 - 8561 y DIN-EN 287-1/287-2,
fig.35

XX. Con todos los datos obtenidos nos atreveremos afirmar que el uso del proceso TIG es y será el más apropiado si queremos tener soldaduras de buena calidad y con la seguridad que el costo de soldadura serán más bajas que MIG & MAG y más rentables que SMAW si este proceso se automatizara y usando un alambre de relleno caliente este proceso podría competir con arco sumergido.

BIBLOGRAFIA

BIBLOGRAFIA

- 1.- A.L. Schaeffler, Constitution Diagrama for Stainless Steel Weld Metal, Met. Pro., Vol 56 (No 11), 1949, p 680-680 B.
- 2.- T.A. Siewert. C.N. McCowan, and D.L.Olson, Ferrite Number Prediction to 100 FN in Stainless Steel Weld Metal, Weld. J., Vol 67 (No 12), 1988, p 289s-298s.
- 3.- T.A. Siewert. C.N. McCowan, and D.L.Olson, "Stainless Steel Weld Metal: Prediction of Ferrite Content", Welding Research Council Bulletin 342, WRC, 1989.
- 4.- D.J Kotecki and T.A. Siewrt, WRC-1992 Constitution Diagram for Staliness Steel Weld Metal: a Modification of the WRC-1988 Diagram, Weld J., Vol 71 (No 5), 19-92, p 171s-175s.
- 5.- W.T. DeLong, Metal WEld.J., Vol 53 (No 7), 1974, p 273s-286s.
- 6.- F.B. Lake, "Effect of Cu. on Stanless Steel Weld Metal Ferrite Content", Peper presented at 1990 American Welding Society Annual Meeting, as yet unpublished.
- 7.- E.R. Szumachowki and D.J. Kotecki, Manganese Effect on Staless Stee Weld Metal Ferrite, Weld. J., Vol 71 (No 5) 1984, p 156s-161s.
- 8.- J.A Self, D.K. Matlok, and D.L. Olson, An Evaluacion of Autenic Fe-Mn-Ni Weld Metal for Dissimilar Metal Joining, Weld.J., Vol 63 (No 9), 1984, p 282s-288s.
- 9.- S. Katayama and A. Matsunawa, Proc. Int. Conf. on Advanced Weld. and Electro-chemical (ICAWEQ) (San Francisco), 1990.

- 10.- Metal Handbook, 8th ed., Vol 7, American Welding Society for Metals, 1972, p 144-145.
- 11.- D.J. Kotecki, 5th ed., Vol 8, Welding of Stainless Steel, The Lincoln Electric Co, 1990, p686-689.
- 12.- Working Data, Carpenter Stainless, 1971 paper No 40.
- 13.- W.A Matejka and R.J. Knoch, E-Brite 26-1, the High-Purity Approach to High Chromium Ferritic Stainless Steel, ASM Symposium, Bal Harbour, Florida, ASTM 6 Dec 1973.
- 14.- K.E.Dorsch, Weldability of a New Ferritic Stainless Steel, Weld. J., Sept 1971.
- 15.- "Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Corrosion Attack in Austenitic Stainless Steel," A 262 Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials.
- 16.- "Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Corrosion Attack in Ferritic Stainless Steel," A Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials.
- 17.- M.Frager, Cast High Alloy Metallurgy, in Steel Casting Metallurgy, J. Svoboda, Ed., Steel Founders Society of America, 1984, p 221 - 245.
- 18.- Corrosion of Austenitic Stainless Weldments, Corrosion, Vol 13, ASM, Handbook, ASM International, 1987, p 347-361.
- 19.- T.G. Gooch, Proc Corrosion '92 (Nashville), paper 296, NACE, 1992.

- 20.- Y.Okazaki,R Todoroki, T. Sakamoto,and T. Zaizen, On the Properties of High-Purity 19 Cr-2 Mo Ferritic Stainless Steel Welds, peper No 118, Presented at the National Association of Corrosi6n Engineers Conference (Toronto Canada) 6-10 April 1981.
- 21.- R.Meredith, U.S. Patent 2274,631.
22. T. Myres, Why the Growing Interest in Gas Tungsten Arc Welding? The fabricator, Vol 22 (No 9), Nov 1992, p38-39.
23. Welding Handbook, 8th ed., Vol 2 American Welding Society, 1991, p 74-107.
- 24.- T. Byrd, Inverter Power Sources: An Efficient Alternative, Weld. J. Vol 72 (No 1), Jul 1993, p 37-40
- 25.- D.J. Kotecki, Heat Treatment of Duplex Stainles Steel Weld Metal, Weld. J., Vol 68 (No 11), 1989, p 431s-441s.
- 26.- A.A. Sadek, M. Ushio, and F. Matsuda, Effects of Rare Earth Metal Oxide Additions to Tungsten Electrodes, Metall. Trans.A. Vol 21, 1990, p 3221-3234.
- 27.- D. Kotecki and T.A. Siewert, Weld. J., Vol 71, 1992, F171s.
- 28.- G.K. Hicken,N.D.Stuck,and H.W. Randal, Applications of Magnetically Controlled Arcs,Weld.J. Vol 55 (No 4) 1976,p 264-267
- 29.- Metals Handbook, 8th ed., Vol 8, American Welding Society for Metals, 1973, p 291.
- 30.- T.G. Gooch, Weldability of Duplex Ferritic-Autenitic Stainless Steel, Duplex Stainless Steel, R.A. Lula , Ed., Proc. Conf. on Duplex Austenitic-Ferritic Stainless Steel, ASM, Oct 1982.

- 31.- H.Giepl, Orbital **TIG** - Plasma Arc Welding, Stainless Steel Eur., May 1990, p 47-49.
32. N. Stenbacka and K.A. Persson, Shielding Gas Selection Manual, Unión Carbide Industrial Gases Tecnology Corp., 1990, p 18-19.
- 33.- N.E. Larson and W.F. Meredith, Shielding Gas Selection Manua, Unión Carbide Industrial Gases Tecnology Corp., 1990, p 11.
- 34.- N.E. Larson and W.F. Meredith, Shielding **Gas Selec-**tion Manua, Unión Carbide Industrial Gases Tecnology Corp., 1990, p 10.
- 35.- C.D.Lundin, K.Kikuchi, and K.K. Khan, "Phase I Report: Measurement of Diffusible Hydrogen Content and Hydrogen Effects on the Cracking Potential of Duplex Stainless Steel Weldments," Welding Research Council, March 1991.
- 36.- I.Varol, W.A. Baeslack III, and J.C. Lippold, "Final Report: Weld Cracking and Solid-State Phase Transformation Characteristic in Duplex Stainless Steel," Welding Research Council, 30 June 1989.
- 37.- H.U. Pomaska , "Shielding Gases for Arc Welding and Cutting, " Sonderdruck 48, Linde AG, Linde Technissche Gases, Holriedelskreuth, Germany.
- 38.- L.Van Nassau, H.Meelker, and J.Hilkes, "Welding Duplex and Super-Duplex Stainless Steel," Document II-C-893-92, Internatinal Institute og Welding, 1992.
- 39.- J.R. Key Anode/Cathode Geometry and Shielding Gas Interretionships in GTAW Plasma, Weld.J. Vol 59 (No 12), 1990, p 3221-3234.
- 40.- K.J.Pfahl, Automatic Contour Welding of Tube ande Pipe, Tube Pipe Q., Vol 3 (No 4),1992, p 58-62.

- 41.- C.L. Cole and J.D. Jones, Publication 117, Iron and Steel Institute, London, 1969, p 74
- 42.- H. Kihara, H. Suzuki, and H. Tamura, Research on Weldable High-Strength Steel, 60th Anniversary Series, Vol 1, Society of Naval Architects of Japan, Tokyo, 1957.
- 43.- Heat Flow in Welding, Chapter 3, Welding Handbook, Vol 1, 7th ed., AWS 1976.
- 44.- Knenster, R, and H. Spaehn : " Es posible Reemplazar el Decapado de Cordones Soldados en Aceros Austeniticos al CrNi por otros procesos?," Zentrale Werkstofftechnik . Vol 10 (No 10), 1979, p 37 - 42.
- 45.- C.L.Tsai, Finite Source Theory, Modeling of Casting and Welding Proceses II, Engineering Foundation Meeting, New England College (Henniker, NH), 31 July to 5 Aug 1983, p 329.
- 46.- Th. Ecesel, El Decapado de Aceros Afinados, Jabones-Aceites-Ceras-Grasa, Vol 107 (1081), 1982, p 11 - 12.
- 47.- J.C.Villafuerte and H.W. Kerr, Electro-magnetic Stirring and Grain Refinement Stainless Steel GTA Weld, Weld.J., Vol 69 (No 1) 1990, p 50-53.
- 48.- D.Rosentthal and R. Schmerber, Thermal Study of Arc Welding, Weld.J. Vol 17 (No 4), 1983, p 2s.
- 49.- H.S. Carslaw and J.C. Jaerge, Conduction of Heat Solids, Oxford Press.
- 50.- S.A. David Welding of Stainless Steel, Encyclopedia of Materials Science and Engineering, Vol 7, M.B. Bever, Ed., the MIT press, p 5316 -5320.
- 51.- Norma USAZ. 49.1-68. Safety in Welding and Cutting.

- 52.- Norma USA.Z87,relativa a la proteccion a los ojos,Z88
Sobre la protección respiratoria y Z89 protección in-
dustrial, 1980.