



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

"APLICACION DE LA SOLDADURA EN ACEROS
INOXIDABLES (PROCESO DE SOLDADURA DE ARCO
ELECTRICO CON ELECTRODO REVESTIDO, PROCESO
TIG Y MIG)".

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
REYES BALTAZAR SILVA FLORES

ASESOR: ING. JESUS GARCIA LIRA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:
"Aplicación de la soldadura en Aceros Inoxidables (Proceso de soldadura de arco Eléctrico con Electrodo Revestido , proceso TIG y MIG)".

que presenta el pasante: Reyes Baltazar Silva Flores
con número de cuenta: 8306055-3 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista .

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 24 de Mayo de 1996

PRESIDENTE	Ing. Enrique Jiménez Ruiz	
VOCAL	Ing. Samuel Pérez Díaz	
SECRETARIO	Ing. Jesús García Lira	
PRIMER SUPLENTE	Ing. Enrique Cortés González	
SEGUNDO SUPLENTE	Ing. Humberto Neri Mondragón	

D E D I C A T O R I A

A LA UNAM

Por ser cuna del conocimiento y haberme permitido ser parte de ella.

A LA FES - CUATITLAN

Con respeto y agradecimiento por todo lo recibido, por ser la columna de mi formación profesional.

AL JURADO

Como símbolo de gratitud a todos sus integrantes, por su valiosa atención y observación para la presente tesis.

A LA MEMORIA DE MIS PADRES

+ AMADOR SILVA
+ ENEDINA FLORES

Quienes acudieron al llamado del Señor antes de haber compartido conmigo el conocimiento de mi formación, gracias por sus esfuerzos y confianza depositada en mí.

A MIS HERMANOS

Por que estamos siempre en constante unidad. Por el apoyo brindado a lo largo de mi formación profesional.

A MI HIJA

Por haberle robado parte de mi tiempo. --
Por la fuerza que me inspira para seguir adelante.

A todas y cada una de las personas - que confiarón en mí y que han estado conmigo compartiendo mis triunfos y fracasos.

I N D I C E

INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	3
I. QUE ES UN ACERO INOXIDABLE	4
I.a.- Elementos de Aleación en los aceros Inoxidables	5
I.b.- Efecto del Cromo	9
II. CLASIFICACION DE LOS ACEROS INOXIDABLES	10
II.a.- Aceros Inoxidables de Cromo Directo	12
II.b.- Crecimiento del grano en Aceros al Cromo	13
II.c.- Aceros Inoxidables Austeníticos	14
II.d.- Precipitación de Carburos	15
II.e.- Cual es el efecto de la ferrita	16
II.f.- Propiedades físicas de los Aceros Inoxidables	17
II.g.- Métodos para reducir los efectos del calor	17
II.h.- Soldabilidad de los Aceros Inoxidables	18
III. SOLDADURA DE ARCO ELECTRICO CON ELECTRODO REVESTIDO EN ACEROS INOXIDABLES	20
III.a.- Clasificación de los electrodos de inoxidable según la AWS	21
III.b.- Designación del Revestimiento	22
III.c.- Cual es la función del Revestimiento	23
III.d.- Elección del Electrodo	29
III.e.- Corriente de Soldadura	33
III.f.- Procedimiento de Soldadura	34
III.g.- Aplicación de Soldadura	35
III.h.- Algunos consejos sobre la Soldadura de Inoxidable	43
IV. LA SOLDADURA TIG EN ACEROS INOXIDABLES	45
IV.a.- Ventajas del Proceso	45
IV.b.- Instalación y Equipo	46
IV.c.- Gases a emplear	47
IV.d.- Acción de los gases	48
IV.e.- Electrodos y sus propiedades	51
IV.f.- Fuentes de corriente	53
IV.g.- Defectos que pueden surgir en el arco	56
IV.h.- Método Operatorio	58

V. LA SOLDADURA MIG EN ACEROS INOXIDABLES	61
V.a.- Ventajas específicas del proceso	62
V.b.- Procedimiento MIG (En fina lluvia)	62
V.c.- Procedimiento MIG con Arco Pulsado	69
V.d.- Realización de la soldadura	73
V.e.- Defectos típicos en la soldadura	75
CONCLUSIONES	77
BIBLIOGRAFIA	79

INTRODUCCION:

Una técnica no puede imponerse si no es fuente de progreso industrial reuniendo a la vez los factores de calidad , economía y productividad ; para permitir que la soldadura cumpla plenamente sus funciones es necesario comprender la particularidad de los aceros especiales que la industria de la transformación emplea cada vez más

En esta tesis , haciendo referencia a los aceros inoxidable y a la diversidad que de ellos existe , cabe mencionar que cada uno de ellos tiene un comportamiento ante la soldabilidad ; también existe una gran variedad de electrodos que pueden emplearse , dependiendo a las propiedades físicas , químicas y metalúrgicas particulares del metal .

Hablaremos inicialmente en los capítulos I y II de esta tesis , de los elementos de aleación que hacen que un material sea inoxidable y de las características que ha éste le proporciona en determinados porcentajes así como de los elementos que influyen en su soldabilidad ; con base a este se hace una clasificación de los aceros inoxidables en Martensíticos, Austeníticos y ferríticos , en donde cada una de estas clases responde a la soldabilidad de diferente manera , ya que cada una posee diferentes propiedades , por lo que requiere de un tratamiento especial para su soldabilidad .

En la actualidad , los procesos de soldadura existentes , tienen un amplio campo de aplicación , en los capítulos III , IV y V de esta tesis se enfatizaran los procesos de soldadura siguientes : Proceso SMAW (SHIELDED METAL ARC WELDING) - Soldadura por arco metálico con electrodo revestido ; Proceso TIG (TUNGSTEN INERT GAS • GTAW - Gas Tungsten arc Welding) , que es la soldadura por arco con electrodo infusible y protección gaseosa , y el Proceso MIG (Metal Inert Gas • GMAW - Gas Metal Arc Welding) que es la

soldadura por arco con electrodo metálico fusible y protección gaseosa . Los cuales el material se funde por medio del calor que se obtiene del arco eléctrico que se forma entre el metal-base y un electrodo .

La fusión del material depende de muchos factores . Como son el tipo de electrodo empleado , la corriente con la que se trabaja , la distancia del arco eléctrico y por supuesto de las propiedades térmicas del metal base .

Estos procesos se han separado para hablar de ellos , por ser métodos que se han orientado al desarrollo de la productividad y por el apoyo que brindan en las reparaciones de mantenimiento de la gran variedad de aceros que se utilizan en la industria . Podríamos decir en resumen que el empleo de la soldadura de aceros inoxidables se ha incrementado tanto ; así como sus múltiples y variados aspectos de soldabilidad , que hacen necesaria la existencia de personal especializado en su técnica de soldado y que sea capaz de resolver los problemas que en su aplicación se presentan .

OBJETIVOS:

Reconocer la clasificación de materiales de acero inoxidable según su porcentaje de cromo; así como aprender la interpretación de la nomenclatura de los electrodos en la soldadura de acero inoxidable.

Aprender la aplicación correcta de los diferentes tipos de soldadura en los diversos materiales de acero inoxidable que existan.

Conocer alternativas de los procesos a emplear según las ventajas que se deseen.

La realización de esta tesis tiene como tarea, enseñar y difundir los conocimientos básicos que se deben adquirir bajo el ejercicio de soldar - acero inoxidable, estas debe ser satisfactorias sobre todo si con su aportación se puede lograr una capacitación tecnológica, así como una aplicación práctica inmediata.

Por lo que el propósito primordial de esta tesis es dotar de un manual auxiliar, no solo de consulta, si no que también complete la formación práctica sobre conocimientos y aplicaciones de la soldadura en los aceros-inoxidables.

Es por está que para hacer más práctica esta tesis se han manejado - las aleaciones de inoxidables que comúnmente se emplean en la industria Mexicana, reconocidos por la norma ASTM (American Society for Testing and Materials; Sociedad Americana para pruebas y materiales), así como también los electrodos que son empleados y reconocidos por la AWS (American Welding Society - Sociedad Americana de Soldadura).

Se espera que el lector se familiarice con el tema y con lo que normalmente se trabaja en la práctica, ya que existe una gran variedad de clasificaciones de aceros inoxidables que no son muy reconocidos en México.

I. QUE ES UN ACERO INOXIDABLE

Originalmente los aceros inoxidables eran una simple aleación de hierro, cromo y carbón; sin embargo en la actualidad se le han agregado pequeñas cantidades de otros elementos tales como; níquel, molibdeno, manganeso, titanio, cobalto, niobio, tungsteno, selenio, azufre, fósforo, silicio y nitrógeno. Estos se agregan con el objeto de proporcionar ciertas propiedades a la aleación, -- aunque cabe mencionar que es el cromo el elemento clave que hace de la aleación un acero inoxidable.

Para que un acero sea realmente inoxidable debe contener por lo menos el 11.5% de la aleación por casi 9 veces más de hierro.

Cuando el cromo se agrega al hierro en 11.5% o más, se forma espontáneamente una película delgada de óxido de cromo sobre la superficie expuesta al aire. Esta película fina actúa como barrera para retener la oxidación o corrosión; que es básicamente lo que diferencia a los aceros inoxidables de los demás, es decir, su resistencia a los agentes corrosivos, como lo son el agua, -- el agua de mar, la atmósfera, la soluciones salinas, ácidas, etc.

I.a.- ELEMENTOS DE ALEACION EN LOS ACEROS INOXIDABLES

Como se ha mencionado, los diferentes elementos que se agregan en pequeñas cantidades proporcionan ciertas características a la aleación, por lo que a continuación se menciona algunas de ellas según el elemento aleante.

NIQUEL (Ni)

En el campo del acero aleado, el níquel es un elemento adecuado para usarse especialmente en aceros austeníticos, aceros resistentes a la corrosión y a la escamación.

Incrementa la resistencia del acero, pero menos que el Silicio y el Manganeso, con reducción muy ligera de la elasticidad.

En combinación con el cromo proporciona buenas propiedades de resistencia a la corrosión, mejora las propiedades de soldabilidad e incrementa notablemente la resistencia al impacto en aceros estructurales.

COBRE (Cu)

El cobre eleva la resistencia y el punto de cedencia del acero, pero reduce sus propiedades de elasticidad.

Un bajo contenido de cobre en el acero mejora las propiedades de resistencia a la corrosión, cuando se expone a la interperie. Es un agente robustecedor de la estructura metalúrgica.

MANGANESO (Mn)

Es un elemento importante para controlar la escoria en fundiciones. El manganeso se encuentra presente en todos los aceros en cantidades que alcanzan hasta el 2%.

Un alto contenido de Manganeso en presencia de carbón, incrementa sustancialmente la resistencia al desgaste, y el espesor de la capa endurecida.

MOLIBDENO (Mo)

- La función principal del Molibdeno, consiste en aumentar la dureza y tenacidad del acero.
- Mejora la resistencia a la tensión, especialmente la resistencia al calor e influye favorablemente sobre las propiedades de soldabilidad.
- Cuando se utiliza en combinación con el cromo y níquel pueden obtenerse valores altos del punto de cedencia y de resistencia a la tensión.
- Tiene fuerte tendencia a formar carburos.

NITROGENO (N)

- En cantidad hasta de 0.25% en aceros austeníticos estabiliza la estructura e incrementa la dureza, especialmente el punto de cedencia, así como las propiedades mecánicas a temperaturas altas.
- En cantidades excesivas produce porosidad en fundiciones, por lo que el nivel de nitrógeno en aleaciones con alto contenido de cromo y níquel fundidas en arena no debe exceder el 1.0% del contenido de cromo.

NIOBIO, COLOMBIO, TANTALIO (Nb, Cb, Ta)

- Estos elementos aparecen casi siempre juntos y son muy difíciles de separarse, por lo general son aleados juntos y se usan principalmente como estabilizadores.
- Evitan la precipitación de carburos entre 500-800 °C, siendo unos estabilizadores efectivos contra el ataque corrosivo en zonas desprovistas de cromo, factor muy importante para los aceros al Cromo-Níquel con bajo contenido de carbón (Menos de 0.10%), que pudieran ser susceptibles en la zona de soldadura y para determinadas condiciones de trabajo.
- Mejora la resistencia y la dureza a temperaturas elevadas.
- Difiere con el titanio como estabilizador por no presentar problemas en la fundición (fundiciones defectuosas).

- En cantidades mayores al 1%, origina problemas en la soldadura de aceros inoxidables tipo 18% Cr-8% Ni con bajo contenido de carbón en espesores de 25 mm (1") y mayores, por fracturación del material base.

TITANIO (Ti)

- El titanio es un elemento aleante utilizado principalmente en aceros inoxidables, para la estabilización contra corrosión intergranular. Es fuerte formador de carburos, además de tener propiedades de refinamiento de grano.

FOSFORO (P)

- Generalmente el fósforo se ha considerado perjudicial al acero, por lo que se ha procurado conservar su contenido en aceros (con alto grado) a un nivel máximo de 0.03 a 0.05%

AZUFRE (S)

- El azufre produce fragilidad, haciendo quebradizo el acero cuando se encuentra en cantidades mayores que 0.04%
- Para proporcionar mejores condiciones de maquinado en algunos aceros se agrega hasta 0.30% para que las pequeñas inclusiones de sulfuro distribuidas alteren la cohesión metálica y contribuyan a la formación de virutas cortas.

SELENIO (Se)

- Al igual que el azufre, el selenio se utiliza para mejorar las condiciones de maquinado.
- En aceros inoxidables reduce la resistencia a la corrosión en menor grado que el azufre.

SILICIO (Si)

- Al igual que el manganeso se encuentra presente en todos los aceros.
- En cantidades que alcanzan hasta el 2%, mejora significativamente la resistencia a la escamación (oxidación) a altas temperaturas.
- Proporciona buena resistencia a la Carburización y aumenta la temperatura crítica en tratamientos térmicos.

- Los aceros con alto contenido de silicio tienen una estructura granular áspera, pueden resistir el ataque químico. Pero no pueden forjarse.
- El alto contenido de silicio afecta seriamente las propiedades de soldabilidad en aceros resistentes al calor con porcentajes altos de cromo y níquel. Par evitar esto, la relación de silicio - carbón no deberá ser mayor que dos.

I. b.- EFECTO DEL CROMO

El cromo en grandes cantidades (11.5% o más) hace completamente inoxidable al acero. La adición de cromo incrementa la dureza hasta cierto límite.

Demasiado cromo entorpece completamente el endurecimiento del acero por ser un fuerte formador de ferrita. Los aceros que contienen 18 - 20% de cromo o más con la ausencia de otros elementos aleantes no pueden endurecerse a pesar de su contenido de carbón.

El acero martensítico puede endurecerse con un enfriamiento adecuado; pero el acero ferrítico no. El enfriamiento que endurece al acero - martensítico normalmente recocce al ferrítico.

Los aceros inoxidables con el 12% de cromo en condición de recocidos pueden endurecerse por tratamiento térmico y obtener un rango amplio de propiedades mecánicas; poseen buena resistencia a la corrosión para diversas condiciones atmosféricas y procesos industriales.

Su excelente resistencia a la erosión los hace idealmente adecuados para álabes de turbinas, válvulas y otras aplicaciones.

Los aceros inoxidables con aproximadamente 16% de cromo, generalmente no son endurecibles, pero son más fácilmente soldables que aquellos con 12% de cromo endurecibles.

El contenido hasta de 26% de cromo aumenta la resistencia de los aceros a la oxidación en aplicaciones a temperaturas elevadas. No son endurecibles, pero su trabajo manual está limitado debido a su relativa baja tenacidad y ductilidad.

II.- CLASIFICACION DE LOS ACEROS INOXIDABLES.

Metalúrgicamente los aceros inoxidable están agrupados en tres clases básicas de acuerdo a su microestructura: Martensíficos, Ferríticos y Austeníticos.

Los aceros al cromo, son altamente magnéticos, no recomendables para trabajar a bajas temperaturas y en servicio criogénico.

Los aceros inoxidable Austeníticos, conocidos como aceros al Cromo - Níquel no son magnéticos.

Por las características de cada uno de ellos y por requerir procedimientos diferentes para soldar, serán tratados en forma diferente.

Según AISI (American Iron and Steel Institute), los aceros inoxidable se clasifican en dos grupos los de la serie 200 - 300 y los de la serie 400. Cada serie comprende distintos tipos de aceros, ver tabla No. 1.

A veces las cifras de designación pueden ser acompañadas por un sufijo, que presentamos, con el objeto de indicar una eventual característica.

SUFIJO USADO EN LA DESIGNACION DEL ACERO INOXIDABLE

S U F I J O	S I G N I F I C A D O
B	Contenido de alto silicio (1.50 a 3.0%)
Se	Alto contenido de selenio (de fácil fresado)
L	Contenido de muy bajo carbono (0.03% máx.)
N	Adición de Nitrógeno (acero para cojinete)
S	Contenido de bajo carbono (0.08% máx.)
F	Alto contenido de azufre (de fácil fresado)

TABLA No. 1 CLASIFICACION DE ACEROS INOXIDABLES
Y CARACTERISTICAS DE SOLDADURA.

ACEROS AL CROMO-NIQUEL -- NO TEMPLABLES		
AISI	ESTRUCTURA	PROPIEDADES DE LA SOLDADURA
201	Austenítica	Muy buenas. Soldaduras tenaces
202	Austenítica	Muy buenas. Soldaduras tenaces
301	Austenítica	Muy buenas. Soldaduras tenaces
302	Austenítica	Muy buenas. Soldaduras tenaces
303	Austenítica	No es recomendable la soldadura por fusión
304	Austenítica	Muy buenas. Soldaduras tenaces
305	Austenítica	Muy buenas. Soldaduras tenaces
308	Austenítica	Buenas. Soldaduras tenaces
309	Austenítica	Buenas. Soldaduras tenaces
310	Austenítica	Buenas. Soldaduras tenaces
316	Austenítica	Muy buenas. Soldaduras tenaces
321	Austenítica	Muy buenas. Soldaduras tenaces
347	Austenítica	Buenas. Soldaduras tenaces
ACEROS AL CROMO -- NO TEMPLABLES		
405	Ferrítica	Buenas. Soldaduras razonablemente resistentes
409	Ferrítica	Buenas
430	Ferrítica	Regulares. Soldaduras no dúctiles
430T1	Ferrítica	Buenas
434	Ferrítica	Regulares. Soldaduras no dúctiles
436	Ferrítica	Regulares. Soldaduras no dúctiles
442	Ferrítica	Regulares. Soldaduras no dúctiles
446	Ferrítica	Regulares. Soldaduras no dúctiles
ACEROS AL CROMO -- TEMPLABLES		
410	Martensítica	Regulares. Precaentar a 200-260°C. Recocido posterior a 675°C
414	Martensítica	Regulares. Precaentar a 200-260°C. Recocido posterior a 675°C
416	Martensítica	Males. Precaentar a 200-260°C. Recocido posterior a 675°C
420	Martensítica	Regulares. Precaentar a 200-260°C. Recocido posterior a 675°C
431	Martensít	Regulares. Precaentar a 200-260°C. Recocido posterior a 675°C

II.a. ACEROS INOXIDABLES DE CROMO DIRECTO

Existen aproximadamente 15 tipos de aceros inoxidable clasificados por el Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI), compuesto exclusivamente de cromo y hierro en cantidades de carbón controladas. Comercialmente son conocidos como aceros inoxidable de la serie 400. Comúnmente referidos como aceros al cromo, con pequeñas cantidades de otros elementos para proveer dureza, tenacidad, maquinabilidad, etc.

Son altamente magnético y la diferencia significativa que existe entre estas aleaciones es la cantidad de cromo agregada al hierro en los límites de 11.5 - 29%; los aceros inoxidable al cromo están comprendidos en las clases martensítica y ferrítica.

LOS ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS.

Contienen de 11.5 - 17.0% de cromo como elemento principal; se endurecen al aire. Son duros, frágiles y requieren de precalentamiento y postcalentamiento para soldar.

Algunos de los aceros inoxidable de la serie 400 que son martensíticos incluyen los AISI tipos 403, 410, 414, 416 y 420.

Los aceros con contenido de cromo del 17%, como los AISI 430 y 431 pueden ser martensíticos ó ferríticos por lo que deben ser precalentados para mayor seguridad.

LOS ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS.

Contienen 17 - 27% de cromo, no se endurecen, y generalmente son blandos y dúctiles, llegando a ser frágiles al soldarse. Toman el nombre de ferrítico por tener la misma estructura atómica que el hierro a la temperatura ambiente.

Algunos aceros de la serie 400 caen en esta categoría y también requieren de precalentamiento y poscalentamiento para ser soldados. Incluyen los AISI tipo 430 y 431 parcialmente endurecibles y los tipos 405, 442, 446 no endurecibles.

II. b. CRECIMIENTO DEL GRANO EN ACEROS AL CROMO

A diferencia de los inoxidables Austeníticos, los aceros al cromo no es tán sujetos a la precipitación de carburos. Sin embargo presentan un creci miento de grano que se produce rápidamente cuando se alcanzan temperaturas de 899° C ó mayores.

La fragilidad del metal se incrementa con el crecimiento del grano y - daña más seriamente los tipos ferríticos.

El crecimiento del grano que se produce en los aceros al cromo martensí ticos cuando se exponen a temperaturas elevadas puede ser refinado por tra tamiento térmico. Este tratamiento térmico consiste en uno ó varios pasos a través de una temperatura de transformación aproximada de 871° C.

El crecimiento del grano que daña a los aceros al cromo ferríticos no - puede ser corregido. Para minimizar el crecimiento y la fragilización re- sultante, debe evitarse calor innecesario, lo cual puede lograrse utilizan do electrodos de pequeño diámetro y baja corriente para soldar, permitien do a la zona de soldadura enfriarse a la temperatura de precalentamiento - después de la aplicación de cada cordón.

Los aceros inoxidables martensíticos y ferríticos de la serie 400 re- - quieren de precalentamiento y postcalentamiento para ser soldados.

El precalentamiento debe ser de 204° C y mantener una temperatura de in terpaso de 160° C durante el trabajo de soldeo.

Al terminar la soldadura se debe aplicar un postcalentamiento ó recoci- do seguido de un enfriamiento lento.

II.c. ACEROS INOXIDABLES AUSTENICOS

Con la adición de níquel (5% ó más) a la aleación hierro-cromo se dio origen a los aceros inoxidables de la serie 300. Comúnmente referidos como aceros al cromo - níquel, son considerados muy soldables mucho más que los aceros al cromo de la serie 400.

La unión soldada es altamente resistente y dúctil en su condición soldada y materialmente no puede ser modificada por tratamiento térmico.

Las soldaduras de acero inoxidable austenítico se endurecen más comúnmente por trabajo en frío.

La conductividad térmica de los aceros inoxidables austeníticos es aproximadamente 50% menor que el acero al carbón. Al ser soldados los aceros concentran el calor en la zona de soldadura antes que se disipe rápidamente a través de la placa (metal base). Por este motivo se requiere - menos calor para una penetración de cordón determinada; así también se debe utilizar menos calor (corriente) para prevenir quemaduras en espesores delgados.

II.d.- PRECIPITACION DE CARBUROS

Un efecto dañino del calentamiento en los aceros cromo - níquel es la causa de precipitación de carburos en los alrededores del grano, dando como resultado una reducción de la resistencia a la corrosión, las zonas afectadas por el calor pueden corroerse rápidamente, observándose que los granos del metal base en esas zonas no parecen estar firmemente ligados. Esta condición se conoce como corrosión intergranular.

Cuando se calientan en el rango entre 426° C - 871° C (que es el rango de sensibilización); se tiene un cambio estructural que perjudica las propiedades de resistencia a la corrosión, aunque en la mayoría de los casos - las propiedades mecánicas no son afectadas significativamente.

La causa de este defecto se cree es debido a la precipitación en los alrededores del grano de una película muy fina de cromo, rica en carburos, que contienen aproximadamente 90% de cromo tomado de la capa del metal adyacente al grano. El carbón se separa de la solución sólida y se une con el cromo del metal formando los carburos de cromo. En estas condiciones el contenido de cromo del metal en los alrededores del grano puede verse tan reducido, que su resistencia a la corrosión es muy pobre.

Este fenómeno generalmente se conoce como precipitación de carburos y el tipo de corrosión que es muy probable se presente se le conoce como corrosión intergranular.

COMO PREVENIR LA PRECIPITACION DE CARBUROS

Este fenómeno puede evitarse calentando las partes soldadas a 1010 - - 1093° C y enfriando rápidamente en el rango de 871 - 426° C, con esto se produce la solución de los carburos precipitados eliminándolos.

Otra solución consiste en reducir el contenido de carbón de la aleación y mantenerlo tan bajo como sea posible (0.03% ó menos) con lo cual ningún carburo puede ser precipitado.

Se ha encontrado que el acero inoxidable tipo 19 Cr - 9 Ni con un contenido de carbón de 0.02% está libre de ser susceptible a la corrosión intergranular.

II.e. CUAL ES EL EFECTO DE LA FERRITA

La mayoría de los depósitos de soldadura completamente austeníticos son susceptibles de fracturarse en caliente. La presencia de ferrita impide esta tendencia, siendo recomendable usar electrodos que tengan una pequeña cantidad de ferrita donde las condiciones de servicio lo permitan.

Siendo la ferrita magnética, su presencia en un material austenítico posterior a la soldadura puede disminuir o eliminar la ferrita.

II.f.- PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES.

El coeficiente de dilatación de los aceros al cromo de la serie 400 es, aproximadamente, el mismo que el de los aceros al carbono. En consecuencia, las medidas a tomar para el control de las deformaciones, son prácticamente las mismas que en los aceros ordinarios. Los aceros al cromo - níquel, de la serie 200 - 300, tienen un coeficiente de dilatación de un 50 a un 60% mayor que el de los aceros de carbono. Por consiguiente, requieren una mayor consideración en el control de las dilataciones.

La conductividad térmica de los aceros de la serie 400 es aproximadamente, del 50 al 65% de la de los aceros al carbono. En los aceros de la serie 200 - 300, esta conductividad es aún menor (del 40 al 50% de los aceros al carbono), consecuentemente, los aceros inoxidable disipan el calor más lentamente que los aceros ordinarios y, por lo tanto tardan más en enfriar. Este fenómeno debe tenerse muy en cuenta cuando se soldan espesores finos de acero inoxidable, pues al ser menor la conductividad aumenta el peligro de perforar las chapas.

II.g.- METODOS PARA REDUCIR LOS EFECTOS DEL CALOR

Los efectos desfavorables del calor pueden reducirse considerablemente mediante el empleo de placas de refrigeración. Estas placas que suelen ser de cobre, ayudan a la evacuación del calor.

Siempre que sea posible, es recomendable disponer las piezas sobre soportes o montajes rígidos, especialmente cuando se trate de soldar aceros de la serie 200 - 300.

Cuando los aceros inoxidable se sueldan y se dejan enfriar sobre estos dispositivos, se elimina prácticamente la deformación y el alabeo de las piezas.

II.h.- SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS INOXIDABLES

En general se admite que los aceros inoxidables de la serie 200 - 300 presentan mejores cualidades de soldadura que los de la serie 400.

Esto no quiere decir que los aceros de la serie 400 no son soldables, sino que exigen mayores precauciones, especialmente en la aplicación del tratamiento térmico adecuado una vez finalizada la soldadura.

Todos los procedimientos de soldadura pueden aplicarse para el soldeo de aceros inoxidables. La soldadura oxiacetilénica se emplea en algunos casos para la unión de espesores finos y la soldadura de arco con electrodos revestido, para el trabajo sobre espesores más gruesos.

En la actualidad, la soldadura por arco con protección gaseosa se emplea ampliamente para el soldeo de todo tipo de aceros inoxidables, esto se debe a la gran facilidad de aplicación de estos procedimientos ya que con ellos hay menos peligro de alterar la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables.

La soldadura de los aceros inoxidables no presentan dificultades extraordinarias, pero exige un cuidado especial por tratarse casi siempre de soldar recipientes estancos, con frecuencia sometidos a presión o para líquidos corrosivos.

Dada la vasta gama de tipos existentes en el grupo de los aceros inoxidables, es necesario conocer con exactitud la calidad y composición química del acero que se ha de soldar.

Por tal objeto damos una breve descripción sólo de los de uso más frecuente, clasificados según la AISI.

AISI 410: Se emplea en todos los casos en que se precisa una gran dureza ; por ejemplo, como apertura para asientos de válvulas.

AISI 430: Está indicado para los casos en los que se exige resistencia a la corrosión y a la oxidación a altas temperaturas, vapor sobre calentado, etc.

AISI 304: Es el acero inoxidable clásico de uso universal, empleado en todos los casos en que es necesaria la resistencia a la corrosión producida por ácidos.

AISI 347: En comparación con el AISI 304, se tienen mejores características metalúrgicas en la soldadura: por efecto del columbio con que está aleado, evita la precipitación de carburos y ejerce una influencia favorable en la refinación del grano. Es, pues, el más indicado para construcciones sometidas a temperaturas entre 400 y 800° C y expuestas a una acción corrosiva muy intensa.

Hacemos notar que el columbio es el nombre con que se distingue al niobio (Nb) en los países de habla inglesa.

AISI 316: Por su contenido de molibdeno está especialmente indicado como anticorrosivo contra determinados ácidos.

AISI 310: Es el más resistente a las altas temperaturas a la corrosión y tiene características mecánicas más elevadas. Encuentra aplicación en numerosos casos, entre los que destacan instalaciones petrolíferas, reguladores térmicos, maquinaria para la industria papelera (celulosas), hornos para tratamientos térmicos, maquinaria para tintes, etc.

AISI 321: Al estar estabilizado al titanio, se caracteriza, respecto al AISI 304, por su mayor resistencia a las altas temperaturas.

III. SOLDADURA DE ARCO ELECTRICO CON ELECTRODO REVESTIDO EN ACEROS INOXIDABLES.

El arco eléctrico llamado también arco voltaico, desarrolla una elevada energía en forma de luz y calor, alcanzando una temperatura de 4000°C aproximadamente. Se forma por contacto eléctrico y una posterior separación, a una determinada distancia de los polos positivo y negativo.

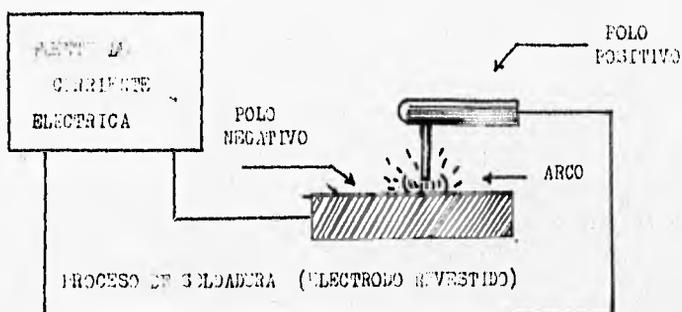


FIGURA No. 1

La soldadura manual con arco eléctrico, es un sistema que utiliza una fuente de calor (arco eléctrico) y un medio gaseoso generado por la combustión del revestimiento del electrodo, mediante el cual es posible la fusión del metal de aportación y la pieza. Este proceso se realiza por intermedio del circuito eléctrico de la figura (1).

La fuente de energía para soldar proviene de una máquina de corriente continua (cc.) ó corriente alterna (C.A.) la cual funciona un circuito eléctrico, através de los cables conductores, del electrodo a la pieza. Este circuito se cierra al hacer contacto la pieza con el electrodo.

La alta temperatura generada en el arco permite la fusión del metal base y la varilla de aporte. Esta temperatura permite combustionar los elementos componentes del revestimiento, los que al gasificarse, cumplen diversas funciones.

III.a.- CLASIFICACION DE LOS ELECTRODOS DE INOXIDABLES SEGUN LA AWS.

La American Welding Society y la American Society for Testing Materials (AWS - ASTM) han establecido un número de sistemas que incorporan la designación de series inoxidables que se usan como un método normal para identificar a los electrodos inoxidables.

La designación del material de aporte para la soldadura del acero inoxidable se basa de acuerdo al análisis químico del metal de soldadura, y al tipo de corriente de soldadura a usar. Veamos a continuación cuáles son los elementos principales de esta designación. La designación de los electrodos inicia con la letra "E", esto significa, como ya sabemos, que el material de aporte es electrodo para soldadura por arco.

Los números que siguen a la letra "E", indican la composición química del metal de soldadura (ejemplo - E-308). En algunas designaciones se puede ver que la composición química del electrodo, es seguida por una o dos letras, y a veces también con números, por tanto cuando nos encontremos en estos casos, los interpretaremos.

E-XXXL = La letra "L" (Low, en inglés), nos indica que el electrodo es de un porcentaje de muy bajo carbono.

Para el soldeo de aceros estabilizados con columbio (tipo 347), o con titanio (tipo 321), deben emplearse electrodos con un cierto contenido en columbio. Los aceros al cromo suelen soldarse normalmente con electrodos de acero al cromo - níquel, debido a la ductilidad del metal que depositan.

E-XXXCb= Indica que el electrodo tienen un contenido de columbio (Niobio), el cual actúa como elemento estabilizador para impedir la corrosión intergranular.

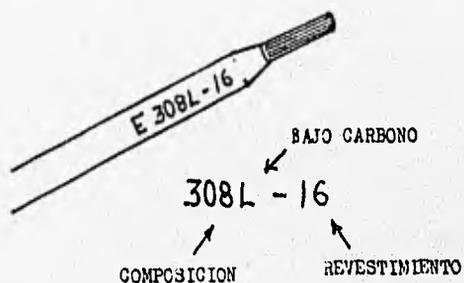
E-XXX Mo= En este caso el contenido del electrodo es molibdeno, lo cual aumenta la resistencia a la corrosión, y favorece la resistencia mecánica en caliente.

III.b.- DESIGNACION DEL REVESTIMIENTO.

Cuando una designación se presenta con los dos números 15 y 16 al final, como podemos ver en los siguientes ejemplos: E-31615, E-316L-15, E-316-16, -- E-308L-16 etc, indican que:

E-XXX15= El tipo de electrodo que viene representando con estos dos números - finales, se usará exclusivamente con corriente continua o directa, - con el porta electrodo conectado al polo positivo, o sea, con la polaridad invertida. El 1 significa soldadura en todas posiciones, el 5 indica el tipo de revestimiento que corresponden a un electrodo básico.

E-XXX16= En este caso el electrodo se puede usar con corriente continua o directa usando la polaridad invertida, o con corriente alterna, así como cabe mencionar que el número 6 corresponda a un electrodo de rutio.



III. c. CUAL ES LA FUNCION DEL REVESTIMIENTO.

Los electrodos para el soldado por arco de los aceros inoxidables son siempre revestidos. El revestimiento protege el baño de fusión de la contaminación por el aire, evitando la oxidación del cromo y produciendo soldaduras sanas y resistentes a la corrosión. Además, actúa como agente estabilizador, ayudando a mantener el arco y permitiendo un transporte uniforme del metal de aportación hacia el baño de fusión. Ver figura No. 2.

La escoria procedente de la fusión del revestimiento del electrodo se deposita sobre la superficie del cordón y debe limpiarse posteriormente, antes del depósito de nuevas, pasadas. Para obtener soldaduras de buena resistencia, el alma del electrodo debe ser de un contenido de carbono lo más bajo posible. También es conveniente el carbono. A continuación se hacen algunas funciones principales del revestimiento.

- 1.- Escuda al arco. Al fundirse el revestimiento, forma un gas (CO_2) que rodea y aísla el oharco de soldadura del aire que impide la formación de óxidos y la dañina intrusión del hidrógeno y del nitrógeno.
- 2.- Forma una capa de escoria que protege la superficie del cordón de la formación de óxidos durante el enfriamiento.
- 3.- Mejora el encendido del arco y mantiene su estabilidad. Los revestimientos adecuadamente diseñados, se funden un poco más lentamente que el propio electrodo, formado un pequeño crisol para facilitar el control del arco y de la dirección
- 4.- Controla la forma de ondas, la forma de cordón y la longitud del arco.

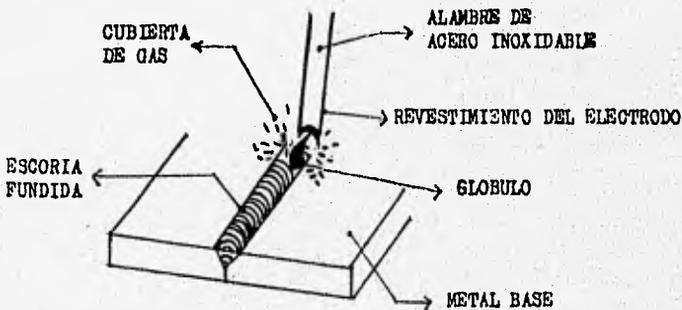


FIGURA No. 2

Hay dos tipos principales de revestimiento: tipo básico y tipo rutilo.

Para que exista una buena penetración deben influir de manera esencial los siguientes valores: tipo de electrodo, intensidad, diámetro del electrodo, longitud del arco, inclinación del electrodo, velocidad de avance, separación entre los bordes de la pieza a soldar.

Es de sobra sabido por el soldador que el electrodo de rutilo tiene menos influencia de penetración que el básico, como consecuencia de las características del arco y de la forma de transporte del metal aportado.

El electrodo básico proyecta gotas gruesas, mientras que el rutilo las proyecta más finas; por este motivo, cuando se realiza una soldadura con -electrodos de rutilo debemos dejar más separados los bordes que con los básicos.

Los electrodos básicos sólo pueden utilizarse con corriente continua - y generalmente en polaridad inversa, es decir, con la varilla en el polo positivo.

Los electrodos de rutilo son más fluidos, lo que a veces dificultan su empleo para soldar en otras posiciones que no sea la horizontal, además pueden utilizarse tanto en corriente alterna, como en corriente continua (varilla en el polo positivo).

En las tablas siguientes(2, 3, 4 y 5) se presenta la composición química de algunos electrodos revestidos de acero inoxidable, así como también la presentación del material base, con la selección del electrodo adecuado para la soldadura, y que seguramente le será de mucha ayuda en sus trabajos prácticos.

TABLA No. 2 COMPOSICION QUIMICA DE LOS ELECTRODOS DE ACEROS INOXIDABLE.

Electrodos	Composicion Quimica en %									
	Clas. AWS.	C	Cr	Ni	Mn	Si	P	S	Mo	Cb + Ta
E-308	.08	18.0-21.0	9.0-11.0	2.5	.90	.04	.03	--	--	
E-308 L	.04	18.0-21.0	9.0-11.0	2.5	.90	.04	.03	--	--	
E-309	.15	22.0-25.0	12.0-14.0	2.5	.90	.04	.03	--	--	
E-309 Cb	.12	22.0-25.0	12.0-14.0	2.5	.90	.04	.03	--	.70-1.0	
E-309 Mo	.12	22.0-25.0	12.0-14.0	2.5	.90	.04	.03	2.0-3.0	--	
E-310	.20	25.0-28.0	20.0-22.5	2.5	.75	.03	.03	--	--	
E-310-Cb	.12	25.0-28.0	20.0-22.5	2.5	.75	.03	.03	--	.070-1.0	
E-310 Mo	.12	25.0-28.0	20.0-22.5	2.5	.75	.03	.03	2.0-3.0	--	
E-312	.15	28.0-32.0	8.0-10.5	2.5	.90	.04	.03	--	--	
E-316	.08	17.0-20.0	11.0-14.0	2.5	.90	.04	.03	2.0-2.5	--	
E-316 L	.04	17.0-20.0	11.0-14.0	2.5	.90	.04	.03	2.0-2.5	--	
E-317	.08	18.0-21.0	12.0-14.0	2.5	.90	.04	.03	3.0-4.0	--	
E-318	.08	17.0-20.0	11.0-14.0	2.5	.90	.04	.03	2.0-2.5	1.0 máx.	
E-320	.07	19.0-21.0	32.0-36.0	2.5	.60	.04	.03	2.0-3.0	1.0 máx.	
E-330	.25	14.0-17.0	33.0-37.0	2.5	.90	.04	.03	--	--	
E-347	.08	18.0-21.0	9.0-11.0	2.5	.90	.04	.03	--	1.0 máx.	
E-349	.13	18.0-21.0	8.0-10.0	2.5	.90	.04	.03	.35-.65	.75-1.2	
E-410	.12	11.0-13.5	--.60	1.0	.90	.04	.03	--	--	
E-430	.10	15.0-18.0	--.60	1.0	.90	.04	.03	--	--	
E-502	.10	4.0-6.0	--.40	1.0	.90	.04	.03	.45-.65	--	
E-505	.10	8.0-10.5	--.40	1.0	.90	.04	.03	.85-1.20	--	

TABLA No. 3 SELECCION DE ELECTRODOS PARA ACEROS INOXIDABLES.

Material base y selección del material de aporte adecuado para la soldadura de aceros inoxidables y resistentes al calor

Mat. base	Composición química del material base en %										Mat. de aporte recomendada
	C	Mn	P	S	Ni	Cr	Ni	Mo	Otros		
201	0.15	5.50-7.50	0.060	0.030	1.0	16.0-18.0	3.50-3.50	-	0.25 N	E-308	
202	0.15	7.50-10.0	0.060	0.030	1.0	17.0-19.0	4.0-6.0	-	0.075 N	E-308	
205	0.12-0.15	14.0-15.50	0.060	0.030	1.0	16.5-18.0	1.0-1.75	-	0.032-0.040 N	E-308	
301	0.15	2.0	0.045	0.030	1.0	16.0-18.0	6.0-8.0	-	-	E-308	
302	0.15	2.0	0.045	0.030	1.0	17.0-19.0	8.0-10.0	-	-	E-308	
302 B	0.15	2.0	0.045	0.030	2.0-3.0	17.0-19.0	8.0-10.0	-	-	E-308	
303	0.15	2.0	0.20	0.15 mín.	1.0	17.0-19.0	8.0-10.0	0.60	-	(1)	
303 Se	0.15	2.0	0.20	0.060	1.0	17.0-19.0	8.0-10.0	-	0.155* mín.	(1)	
304	0.08	2.0	0.045	0.030	1.0	19.0-20.0	8.0-10.50	-	-	E-308	
304 L	0.030	2.0	0.045	0.030	1.0	19.0-20.0	8.0-12.0	-	-	E-308 L	
304 H	0.03	2.0	0.015	0.030	1.0	18.0-20.0	8.0-10.50	-	0.10-0.16 N	E-308	
305	0.12	2.0	0.045	0.030	1.0	17.0-19.0	0.50-1.0	-	-	E-308, 310	
308	0.08	2.0	0.045	0.030	1.0	19.0-21.0	10.0-12.0	-	-	E-308	
309	0.20	2.0	0.045	0.030	1.0	22.0-24.0	12.0-15.0	-	-	E-309	
309 S	0.08	2.0	0.045	0.030	1.0	22.0-24.0	12.0-14.0	-	-	E-309	
310	0.25	2.0	0.045	0.030	1.50	24.0-26.0	19.0-22.0	-	-	E-310	
310 S	0.08	2.0	0.045	0.030	1.50	24.0-26.0	19.0-22.0	-	-	E-310	
314	0.25	2.0	0.045	0.030	1.50-3.0	23.0-26.0	19.0-22.0	-	-	E-310, 312	
316	0.08	2.0	0.045	0.030 mín	1.0	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0-3.0	-	E-316	
316 F	0.08	2.0	0.20	0.10	1.0	16.0-18.0	10.0-14.0	1.75-2.50	-	(1)	

TABLA No. 4 (CONTINUACION)

Material base y selección del material de aporte adecuado para la soldadura de aceros inoxidables y resistentes al calor (Continuación)

Mat. Base	Composición química del material base en %										Mat. de aporte recomendada
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Otros		
316 L	0.030	2.0	0.045	0.030	1.0	16.0 - 18.0	10.0 - 14.0	2.0 - 3.0			E-316 L
316 N	0.08	2.0	0.045	0.030	1.0	16.0 - 18.0	10.0 - 14.0	2.0	0.10-0.16 N		E-316
317	0.08	2.0	0.045	0.030	1.0	18.0 - 20.0	11.0 - 15.0	3.0 - 4.0			E-317
317 L	0.030	2.0	0.045	0.030	1.0	18.0 - 20.0	11.0 - 15.0	3.0 - 4.0			E-317 L
321	0.08	2.0	0.045	0.030	1.0	17.0 - 19.0	9.0 - 12.0		Ti, Se C mín.		E-321, E-347
330	0.08	2.0	0.040	0.030	0.75 - 1.50	17.0 - 20.0	14.0 - 17.0				E-330
347	0.08	2.0	0.045	0.030	1.0	17.0 - 19.0	9.0 - 11.0		Cb + Ta 10 + C mín.		E-347
348	0.08	2.0	0.045	0.030	1.0	17.0 - 19.0	9.0 - 13.0		Cb + Ta 10 + C mín.		E-348
403	0.15	1.0	0.040	0.030	0.50	11.50 - 13.0	-				E-410, E-309 ó el E-310
410	0.15	1.0	0.040	0.030	1.0	11.50 - 13.50	-				E-410, E-309 ó el E-310
414	0.15	1.05	0.040	0.030	1.0	11.50 - 12.50	1.25 - 2.50	-			ó el E-310
416	0.15	1.25	0.060	0.15 mín.	1.0	12.0 - 14.0	-	0.60			E-410, E-309
416 Se	0.15	1.25	0.060	0.060	1.0	12.0 - 14.0	-	-	0.15 Se mín.		(1)
420	0.15	1.0	0.040	0.030	1.0	12.0 - 14.0	-	-			E-420
420 F	0.15 mín	1.25	0.060	0.15 mín.	1.0	12.0 - 14.0	-	0.60			(1)
422	0.20-0.25	1.0	0.025	0.025	0.75	11.0 - 13.0	0.50-1.0	0.75-1.25	0.15-0.30V 0.75-1.25W		E-309
431	0.20	1.0	0.040	0.030	1.0	15.0 - 17.0	1.25-2.50	-			E-309
440 A	0.60-0.75	1.0	0.040	0.030	1.0	16.0 - 18.0	-	0.75			(2)

TABLA No. 5 (CONTINUACION)

Material base y selección del material de aporte adecuado para la soldadura de aceros inoxidables y resistencia al calor (Continuación)

Mat. base AISI	Composición química del material base en %									Mat. de aporte recomendado
	C	Mn.	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Otros	
440 B	0.75-0.90	1.0	0.040	0.030	1.0	16.0-18.0	--	0.75	--	(2)
440 C	0.95-1.20	1.0	0.040	0.030	1.0	16.0-18.0	--	0.75	--	(2)
" "	0.08	1.0	0.040	0.030	1.0	11.50-14.50	--	--	0.10-0.30 Al	E-410, E-309 o el E-310
409	0.08	1.0	0.015	0.045	1.0	10.50-11.75	--	--	Ti, 6X, C. mín. 0.75	E-410, E-309 o el E-310
429	0.12	1.0	0.040	0.030	1.0	14.0-16.0	--	--	--	E-430
430	0.12	1.0	0.040	0.030	1.0	16.0-18.0	--	--	--	E-430
430 F	0.12	1.25	0.060	0.15 m/m	1.0	16.0-18.0	--	0.60	--	(1)
434	0.12	1.0	0.040	0.030	1.0	16.0-18.0	--	0.75-1.25	--	E-430
436	0.12	1.0	0.040	0.030	1.0	16.0-18.0	--	0.75-1.25	Cb-Ta 5+C mín. 0.70 máx.	E-430
442	0.20	1.0	0.040	0.030	1.0	18.0-23.0	--	--	--	E-310
446	0.20	1.50	0.040	0.030	1.0	23.0-27.0	--	--	0.25 N	E-310
501	0.10 m/m.	1.0	0.040	0.030	1.0	4.0-6.0	--	0.40-0.65	--	E-502
	0.10	1.0	0.040	0.030	1.0	4.0-6.0	--	0.40-0.65	--	E-502

Nota (1): Generalmente estos tipos de aceros no son recomendados para soldar, sin embargo cuando hay necesidad de efectuar soldaduras de este tipo, para obtener resultados satisfactorios se deben adoptar especiales procedimientos de soldadura.

Nota (2): No recomendados para soldadura.

III.d. ELECCION DEL ELECTRODO.

En la mayoría de los casos, la elección del electrodo adecuado para el soldeo de aceros inoxidables resulta más compleja que en el caso de los aceros al carbono.

Esto se debe a la gran variedad de tipos existentes y a los grados de exigencias a que debe responder la soldadura, en cuanto a temperatura de trabajo, actividad del medio corrosivo, etc, según la aplicación de la pieza.

Para determinar el tipo y diámetro de electrodo que mejor se adaptan a unas determinadas condiciones de trabajo, deben considerarse los siguientes factores.

- 1.- Análisis del metal a soldar.
- 2.- Tamaño de las piezas.
- 3.- Tipo de corriente de que se dispone.
- 4.- Posición o posiciones, de soldadura.
- 5.- Preparación de las piezas.
- 6.- Propiedades específicas del metal depositado.
- 7.- Requerimientos de códigos, normas o especificaciones sobre el trabajo concreto a realizar.
- 8.- No basta con que la resistencia a la tracción y la ductilidad del metal depositado sean suficientes, sino que además su resistencia a la corrosión debe ser equivalente a la del metal base.

A continuación la siguiente tabla da un panorama de las aplicaciones más comunes de los electrodos. Tabla No. (6 y 7).

III.d. ELECCION DEL ELECTRODO.

En la mayoría de los casos, la elección del electrodo adecuado para el soldeo de aceros inoxidable resulta más compleja que en el caso de los aceros al carbono.

Esto se debe a la gran variedad de tipos existentes y a los grados de exigencias a que debe responder la soldadura, en cuanto a temperatura de trabajo, actividad del medio corrosivo, etc, según la aplicación de la pieza.

Para determinar el tipo y diámetro de electrodo que mejor se adaptan a unas determinadas condiciones de trabajo, deben considerarse los siguientes factores.

- 1.- Análisis del metal a soldar.
- 2.- Tamaño de las piezas.
- 3.- Tipo de corriente de que se dispone.
- 4.- Posición o posiciones, de soldadura.
- 5.- Preparación de las piezas.
- 6.- Propiedades específicas del metal depositado.
- 7.- Requerimientos de códigos, normas o especificaciones sobre el trabajo concreto a realizar.
- 8.- No basta con que la resistencia a la tracción y la ductilidad del metal depositado sean suficientes, sino que además su resistencia a la corrosión debe ser equivalente a la del metal base.

A continuación la siguiente tabla da un panorama de las aplicaciones más comunes de los electrodos. Tabla No. (6 y 7).

DONDE USAR LOS ELECTRODOS
ALAMBRES DE ACERO INOXIDABLE AW

TIPO	APLICACION
309	Para soldar todos los inoxidable de las series 200 y 300, hasta incluyendo el 308. También para fabricar y reparar acero al manganeso auténtico.
308L	Para unir 304L, 308L. También se usan para unir los tipos estabilizados 321 y 347.
309	Para soldar aceros inoxidable 309 y para unir metales no similares. También para unir todos los aceros de la serie 400.
309L	Para capas superpuestas inoxidable. También para los cordones en aceros en el lado inoxidable de uniones de placas recubiertas con 304.
309CbL	Para unir tipos 321 y 347 con aleaciones bajas y para capas superpuestas estabilizadas. También para el cordón básico en placas recubiertas con inoxidable estabilizado.
310	Para soldar aceros inoxidable 310; puede usarse para soldar moldes no similares.
312	Para soldar fundiciones de tipo 312 y para soldaduras de alta resistencia en metales no similares.
316	Para soldar tipo 316.
316L	Para soldar 316L y para el segundo cordón sobre el 309Mel, en revestimientos o recubrimientos.

T A B L A N O . 6 A P L I C A C I O N D E L O S E L E C T R O D O S

TABLA No. 7 APLICACION DE LOS ELECTRODOS

T I P O	PROPIEDADES MECANICAS TIPICAS DE LA SOLDADURA DEPOSITADA	ANALISIS TIPICO DEL ALAMBRE %	APLICACIONES COMUNES DE SOLDADURA	DIAMETRO
308L-16	Resistencia a la tracción 5600 - 6300 Kg/cm ² 80 000 - 290 000 Lbs/pulg ² Elongación en 5.08cm ² (2") 38-48%	C. 0.035 Mn 1.50 Si 0.44 Cr 19.95 Ni 9.80	Para soldar materiales 304 y 304L, puede utilizarse también para soldar los tipos 321 y 347. Mayor resistencia a la corrosión intergranular que el 308 en la soldadura depositada. El máximo de carbono que depósito es 0.04%, lo que reduce el mínimo la formación de carburos de cromo.	3/32 (=2.50 mm) 1/8 (=3.25 mm) 5/32 (=4.00 mm)
309L-16	Resistencia a la tracción 5915 Kg/cm ² 84 500 Lbs/pulg ² Elongación en 5.08 cm ² (2") 35%	C. 0.035 Mn 1.80 Si 0.46 Cr 23.83 Ni 12.68	Produce depósito de alta aleación que incluye la modificación química que indica su designación. Puede utilizarse donde sea conveniente la pobreza de carbono. Entre sus aplicaciones figuran las pasadas de empaste, el depósito inicial de las capas de revestimiento y la unión de acero dulce revestido de inoxidable por su lado inoxidable.	1/8 (=3.25 mm) 5/32 (=4.00 mm)
309CbL-16	Resistencia a la tracción 6160 Kg/cm ² 88 000 Lbs/pulg ² Elongación en 5.03 cm ² (2") 35%	C. 0.035 Mn 1.82 Si 0.60 Cr 23.35 Ni 12.98	Ideal para que produzca un depósito de aleación rica que incluye las modificaciones químicas que indica su designación. Puede utilizarse donde sea conveniente la presencia de Cb; entre las aplicaciones figuran las pasadas de empaste, capas de revestimiento y la unión de acero dulce revestido de inoxidable 347 y 321.	3/32 (=2.50 mm) 1/8 (=3.25 mm) 5/32 (=4.00 mm)

TIPO	PROPIEDADES MECANICAS TIPICAS DE LA SOLDADURA DEPOSITADA	ANALISIS TIPICO DEL ALAMBRE %	APLICACIONES COMUNES DE SOLDADURA	DIAMETRO
310-16	Resistencia a la tracción 5950 - 6650 Kg/cm ² 85 000 - 295 000 Lbs/pulg ² Elongación en 5.08cm ² (2") 30 - 40%	C 0.11 Mn 1.90 Si 0.50 Cr 26.68 Ni 21.14	Los electrodos tipo 310 fueron ideados inicialmente para soldar aleaciones de composición similar. Se utilizan también bastante en la soldadura de metales disimiles en que intervienen aceros de alta temprabilidad así como en la soldadura de acero con revestimiento inoxidable; utilizándose asimismo para unir tubería de cromomolindeno en lugar de la instalación, sometida a servicio térmico no cíclico de más de 800°F, donde resulta impráctico el tratamiento posterior a la soldadura.	3/32 (=2.50 mm) 1/8 (=3.25 mm) 5/32 (=4.00 mm) 3/16 (=5.00 mm)
312-16	Resistencia a la tracción 7000-7700 Kg/cm ² 100 000-110 000 Lbs/pulg ² Elongación en 5.08cm ² (2") 22-25%	C 0.12 Mn 1.50 Si 0.27 Cr 29.50 Ni 9.80	Los electrodos tipo 312 fueron ideados inicialmente para soldar aleaciones fundidas de composición similar. Más recientemente se ha descubierto lo valioso que son para soldar metales de composición disimil. Tiene gran resistencia a la formación de grietas y figuras en el metal aportado. Debido a su alta resistencia, se utilizan para metales disimiles con resistencia a la tracción de 80.000 Psi y mas.	3/32 (=2.50 mm) 1/8 (=3.25 mm) 5/32 (=4.00 mm) 3/16 (=5.00 mm)
316L-16	Resistencia la tracción 5800 -6300 Kg/cm ² 80000-90000 Lbs/pulg ² Elongación en 6.08cm ² (2") 35-45%	C 0.035 Mn 1.84 Si 0.41 Cr 18.00 Ni 13.38 Mo 2.25	Estos electrodos son de composición idéntica a la del tipo 316, excepto en el contenido de carbono que es más bajo, lo que aumenta la resistencia a la corrosión intergranular. Se utilizan principalmente para soldar aceros inoxidables tipos 316 y 316L y para la segunda capa y capas sucesivas de revestimiento de soldadura tipo 316L.	3/32 (=2.50 mm) 1/8 (=3.25 mm) 5/32 (=4.00 mm) 3/16 (=5.00 mm)

(CONTINUACION)

ESTADO DE LOS BORDES

La separación de los bordes a que deben soldarse y la forma de éstos de pende del espesor de los elementos, como se indica en el siguiente cuadro a título de ejemplo.

ESPESOR mm	SEPARACION de la Base (mm)	C H A F L A N E S		
		FORMA	ANGULO(GRADOS)	PARTE RECTA (mm)
1.5	-	-	-	-
2	0.8	-	-	-
3	1.5	-	-	-
5 a 10	1.5 a 2	V	60	1 a 1.5
11 a 20	"	U	15	1.5 a 3
"	"	X	60	1.5
21 y más	1.5 a 3	doble U	15	1.5 a 3

Para evitar la contaminación de la soldadura, es necesario limpiar cuidadosamente los bordes de las piezas a soldar.

III. e.- CORRIENTE DE SOLDADURA.

Según el tipo de electrodo la soldadura puede realizarse con corriente-continua, electrodo positivo, pieza negativa, aseguran una mayor penetración y una fusión más completa.

Como los aceros inoxidables tienen una temperatura de fusión más baja - que la de los aceros dulces y pequeña conductividad térmica (lo que reduce - la transferencia de calorías entre el arco y la zona de soldadura) se elegiría, como norma general, una intensidad de corriente aproximadamente un 20% más baja que para la soldadura de elementos de acero dulce de igual espesor.

CORRIENTE EMPLEADA EN SOLDADURA DE ARCO.

ESPEJOR DE LA CHAPA (mm)	PASADAS	DIAMETRO DEL ELECTRODO (mm)	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)
1.5	1	2	45
2	1	2.5	60
3	1	3.2	90
5	1	4	125
6.5	1	4	125
7.5	2	5	160
10	1	4	125
	2	5	160
	1	5	160

III.f.- PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Al iniciar la soldadura hay que cebar el arco tocando con el extremo del electrodo sobre la pieza y levantandolo, rápidamente a una distancia suficiente para mantener un arco adecuado.

También puede realizarse el cebado sobre un trozo de chapa de inoxidable, colocando cerca de los bordes que va a soldarse.

Durante toda la operación conservar un arco tan corto como sea posible, con el fin de disminuir los riesgos de oxidación y evitar los poros (por otra parte, un arco largo tiene un mal rendimiento y da lugar a proyecciones).

Para finalizar la soldadura o para extinguir el arco, debe aproximarse momentáneamente el electrodo a la pieza (acortar el arco) y a continuación levantarlo rápidamente sobre el cordón depositado.

Las soldaduras en vertical y en techo requieren arcos más cortos y electrodos de menor diámetro que los utilizados en la soldadura en horizontal.

III.B.- APLICACION DE SOLDADURA.

Aceros al cromo martensíticos.

Esta clase acero es muy endurecible, aún al aire tiene la característica de endurecer rápidamente. En el enfriamiento, a partir de las temperaturas de soldar, el metal depositado y la zona de fusión pueden llegar a ser excesivamente duros y frágiles, a menos que se aplique un precalentamiento y un postcalentamiento. Se recomienda precalentamiento para prevenir la fracturación y recocido total después de soldar; pero cuando son impracticables, la zona soldada debe ser relevada de esfuerzos.

Antes de efectuar el relevado de esfuerzos es importante asegurarse que el metal de soldadura ha llegado a ser martensítico, de no ser así, se perderá el efecto benéfico del relevado de esfuerzos.

Un método sencillo para determinar si el metal depositado se ha transformado o no en martensita consisten en probar con un imán. Si es magnético, la transformación se ha consumado; si no es magnético no se ha presentado y se debe permitir que el metal se enfríe hasta que se vuelva magnético. Esta prueba no tendrá efecto si para soldar se utilizan electrodos inoxidables al cromo-níquel.

Aceros 12% cromo, martensíticos, tipo 403 y 410.

Usos:

El tipo 410 con su contenido básico de 12% de cromo es utilizado en aplicaciones generales de corrosión y de resistencia al calor.

Se utiliza para partes de bombas, asientos de válvulas, lavadoras de carbón cuchillería, equipo de refinería y petroquímica.

El tipo 403 es similar, pero con procesamiento especial se usa en turbinas.

Soldadura:

En aplicaciones donde es necesario que el metal de soldar y el metal base sean semejantes (condiciones de temperatura elevada y máxima corrosión).

Se deben utilizar electrodos especificación AWS - E410-15. Donde se requiere máxima ductilidad se recomiendan electrodos inoxidables AWS-E309-15 o AWS-E310-15.

Los electrodos de acero inoxidable austenítico producirán depósitos de metal muy dúctil, pero la zona afectada por el calor puede estar completa-

mente dura, excepto en los tipos con muy bajo contenido de carbón. Si el carbón es suficientemente alto para producir endurecimiento al aire, puede resultar fracturación, por lo que es recomendable precalentamiento y postcalentamiento.

Se debe precalentar entre 149-315°C y relevar esfuerzos después de soldar a 734 - 797°C, sostener esta temperatura el tiempo necesario y enfriar con una velocidad de 10°C por hora hasta alcanzar 593°C; onseguida, remover la pieza del horno y dejar enfriar al aire.

Acero 12% cromo, martensítico, tipo 420.

U303:

El tipo 420 es el grado de acero fuertemente endurecible, utilizado en servicios donde se requiere alta dureza y resistencia a la corrosión, durezas mayores que 50 Rockwell C pueden obtenerse cuando el contenido de carbón es aproximadamente de 0.35%. También es utilizado en cuchillería.

Soldadura.

Por existir límites muy amplios en el contenido de carbón, la soldabilidad del tipo 420 puede variar grandemente.

Con 0.15% de carbón, la soldabilidad corresponderá a la del tipo 410 y puede ser posible utilizar únicamente un ligero precalentamiento.

Se recomienda precalentamiento y postcalentamiento cuando se tenga un contenido de 0.20% de carbón o más.

Conforme la cantidad de carbón se incrementa la temperatura de precalentamiento también debe aumentarse. Para un contenido de 0.20% de carbón o mayor, la temperatura debe aumentarse aproximadamente a 260°C.

El postcalentamiento usual consiste en calentar a 704°C, mantenerlo de 4 a 8 horas y onseguida enfriar al aire.

Cuando se requieren propiedades mecánicas máximas, se recomiendan utilizar electrodos especiales clasificación AWS-E410-15 y AWS-E420-15. La soldadura más dúctil generalmente se obtiene con electrodos de acero inoxidable tipo AWS-E309-15 y AWS-310-15; pero aún así el área afectada por el calor será frágil.

Aceros al cromo ferríticos (Parcialmente Endurecibles)

Las aleaciones con contenido de cromo de 15 a 19% con un balance de carbón, son parcialmente endurecibles. Estos aceros son más soldables - que aquellos con ligeramente más bajo o más alto contenido de cromo.

Los aceros con un contenido de cromo ligeramente más bajo son extremadamente endurecibles al aire y difíciles de soldar.

Los aceros con contenido de cromo ligeramente más alto no son endurecibles, pero están sujetos a un crecimiento muy rápido del grano, resultando una estructura muy frágil en la zona afectada por el calor y también de la soldadura cuando la composición del metal depositado es similar a la del metal base.

El hecho de que estos aceros sean parcialmente endurecibles se debe a una soldadura y una zona afectada por el calor menos duras y frágiles en comparación con los aceros totalmente endurecibles.

Por ser estas aleaciones parcialmente endurecibles, es recomendable dar precalentamiento y postcalentamiento.

Aceros 14-18% cromo, ferríticos, parcialmente endurecibles tipo 430.

Usos:

El contenido de cromo en el tipo 430 se incrementa sobre los tipos 12% cromo para mayor resistencia a la corrosión y al calor.

En el límite máximo de 0.12% de carbón, común es este tipo, la aleación prácticamente no es endurecible con tratamiento térmico, pero puede ser ligeramente endurecible por trabajo en frío.

Es utilizado en equipo para manejar ácido nítrico por sus propiedades de resistencia a la corrosión, para partes de quemaduras y otras aplicaciones a temperatura elevada por su resistencia a la oxidación.

Soldadura:

Como el contenido de cromo se ha incrementado arriba de 14%, el material se vuelve parcialmente endurecible, pero da tendencia a fracturación no existe virtualmente por este motivo: Sin embargo, aunque la zona de soldadura no es dura es muy frágil debido al crecimiento de grano producido por las altas temperaturas alcanzadas al soldar.

Después de soldados, se puede hacer muy poco para obtener la tenacidad del metal depositado o de la zona de fusión, en virtud de que la estructura áspera del grano no se refina apreciablemente por tratamiento térmico, por este motivo no se recomienda soldar donde se van a tener cargas por impacto, choque o vibración.

Si el material va a ser utilizado a temperaturas arriba de 93°C, la tenacidad se vuelve considerablemente mayor y podrán practicarse uniones soldadas.

Como la ductilidad se mejora a temperaturas elevadas, es aconsejable precalentar a 149°C antes de soldar y mantener esta temperatura hasta terminar para reducir fallas por fragilización.

A menos que por necesidades del servicio se requiera utilizar electrodos especiales AWS-E430-15 de la misma composición del metal base, se recomiendan electrodos inoxidables austeníticos 25Cr-20Ni ó 25Cr-12Ni, clasificación AWS-E310-15 ó AWS-E309-15 por asegurar buena ductilidad del metal de aportación.

Acero 15-17% cromo, ferrítico, parcialmente endurecible tipo 431.

Usos:

Este grado es utilizado donde se requiere un acero más soldable en comparación con los tipos con bajo contenido de cromo (altamente endurecibles al aire), o con los de más alto contenido de cromo (frágiles pero no duros, debido al crecimiento del grano).

Soldadura:

No se recomienda soldar estos aceros donde se pueden presentar cargas de impacto o de choque.

Con el contenido de carbón relativamente bajo no se produce endurecimiento al aire exagerado, pero si puede presentarse endurecimiento aun con alto contenido de cromo. Esto favorece el refinamiento del grano que previene el desarrollo de granos más grandes y frágiles, encontrados cuando se sueldan los grados con más alto contenido de cromo no endurecibles.

Debido al endurecimiento parcial de estos aceros se recomienda un precalentamiento de 93°C y mantener esta temperatura hasta terminar el trabajo.

Aceros al cromo, ferríticos, no endurecibles.

Los aceros al cromo con un contenido superior al 12% son completamente ferríticos y no endurecibles por tratamiento térmico.

Debido a las altas temperaturas que se alcanzan durante la soldadura - se produce crecimiento de grano notable resultando una unión muy frágil pero no dura.

La fragilización no puede ser removida por un recocido o un relevado - de esfuerzos. De ahí que la junta soldada o la zona afectada por el calor sean muy frágiles, pero no por falta de tenacidad.

La soldadura no debe practicarse si la junta va a estar sometida a cargas de impacto o de flexión. Es recomendable que para el primer paso de soldadura se aplique un electrodo de la misma composición del metal base y utilizándolo como respaldo, terminar la unión de un electrodo de acero inoxidable austenítico.

Acero 12% cromo, ferrítico, no endurecible, tipo 405.

Usos:

La adición de aluminio y el bajo contenido de carbón da por resultado una aleación que se enfriará desde las temperaturas alcanzadas en la soldadura sin endurecimiento apreciable.

El tipo 405 puede ser utilizado cuando se requiere un acero relativamente blando y el tratamiento térmico no es práctico.

La zona de soldadura no es dura, en cambio, carece de tenacidad por el crecimiento de grano debido a las altas temperaturas de la soldadura.

Soldadura:

Los electrodos inoxidables austeníticos especificación AWS-E309-15 tipo 25Cr-12Ni; y AWS-E310-15 tipo 25Cr-10Ni, normalmente dan resultados satisfactorios proporcionando depósitos de máxima tenacidad; pero si por necesidades del servicio se requiere utilizar un electrodo de la misma composición del metal base, entonces se recomienda aplicar el electrodo AWS-E410-15.

Aceros inoxidables austeníticos.

Los aceros inoxidables austeníticos además de los requerimientos mencionados para los aceros inoxidables al cromo, no son magnéticos y tienen suficientes elementos austenizantes principalmente níquel, para proveer una matriz en esencia austenítica en todas las temperaturas.

La adición de níquel al acero inoxidable incrementa la resistencia a la corrosión y al impacto, mejora las propiedades de soldabilidad y de resistencia a la fatiga.

Aceros sin estabilizar.

Los aceros en los que se forman carburos de cromo por calentamiento entre 426-871°C (800-1600°F), se llaman aceros no estabilizados como los tipos 301, 302, 303, 304 y 308.

Debido al incremento de la precipitación de carburos con el contenido de carbón los aceros inoxidables cromo-níquel tipos 304 y 308 son los más adecuados para soldarse. Estos dos tipos tienen un contenido de carbón limitado a 0.08% máximo mientras que otros tienen un límite máximo de 0.15%.

Si los tipos 304 y 308 son soldados en un solo paso, el tiempo que permanece el acero en el rango 426-871°C, es tan corto que la precipitación de carburos será muy pequeña. Por lo tanto, no es probable que la corrosión intergranular se presente en estos dos tipos, siempre que se ha previsto que las soldaduras sean hechas en un solo paso y que las partes terminadas no vayan a operar entre 426-871°C.

Si el material es muy grueso y requiere de pasos múltiples de soldadura, o si las partes terminadas van a operar entre 426-871°C, la precipitación de carburos es muy probable que ocurra aun en los tipos 304 y 308 y la corrosión intergranular se presentará si las partes se someten a un medio corrosivo.

Aceros estabilizados.

Aun cuando los métodos antes mencionados son muy utilizados, la forma más común de controlar la corrosión intergranular especialmente donde se alcanzan las temperaturas críticas de operación o las condiciones de corrosión son severas, es previniendo la formación de carburos de cromo -

con la adición de columbio o titanio a la aleación de cromo-níquel.

Con la adición de columbio o titanio al acero, se puede prevenir la precipitación de carburos de cromo, que tanto el columbio como el titanio tiene mayor afinidad por el carbón que por el cromo. Por lo tanto, se formarán carburos de columbio o carburos de titanio si se agrega uno u otro de estos elementos a la aleación. Ni los carburos de columbio ni los de titanio hacen susceptible al acero a la corrosión intergranular. El columbio es muy utilizado en la estabilización de electrodos ya que una cantidad excesiva de titanio se pierde en la transferencia a través del arco.-

Como los aceros inoxidables austeníticos que contienen columbio o titanio no son susceptibles a la corrosión intergranular por calentamiento generalmente se denominan aceros inoxidables estabilizados. Estos aceros pueden trabajar en el rango de 426-871°C, sin que se afecten sus propiedades de resistencia a la corrosión y no requieren tratamiento térmico.

De los aceros inoxidables 18 Cr-8 Ni los tipos 321 y 347 son considerados aceros estabilizados.

El tipo 321 se estabiliza con titanio agregando una cantidad mínima igual a cinco veces el contenido de carbón.

El tipo 347 se estabiliza con columbio agregado una cantidad mínima de diez veces el contenido de carbón.

Las aleaciones con un contenido de cromo superior al 18% son menos susceptibles a la corrosión intergranular, en consecuencia, los aceros cromo-níquel con un contenido de cromo mayor al 18% normalmente no contienen columbio o titanio.

Acero 18 cromo - 8 níquel, tipo 304.

Aplicaciones:

Los aceros del tipo 304 son los más comunes de los inoxidables austeníticos al cromo-níquel. Se utilizan para manejar la mayoría de materiales corrosión o para resistir una oxidación muy severa, tienen muy buena resistencia a la deformación plástica y frecuentemente trabajan a temperaturas hasta de 815°C.

Operando dentro del rango de 426-815°C se precipitan carburos intergranulares y el material se vuelve susceptible a la corrosión intergranular.

lar a determinados líquidos corrosivos. Sin embargo, esto no impide su uso en este rango de temperatura.

El tipo 304 está siendo utilizado satisfactoriamente y económicamente en servicios de alta presión en tuberías para calderas, sobrecalentadores, envolventes y carcazas, para recipientes e intercambiadores de calor.

Soldadura:

Para soldar estos aceros se deben usar electrodos clasificación AWS-E308-15, 16, normalmente no se requiere tratamiento térmico.

Acero 18 cromo- 8 níquel, tipo 321.

Aplicaciones:

Son las mismas que para el tipo 304, únicamente que con la adición de titanio se imparte inmunidad sustancial a la corrosión intergranular por lo que se utiliza ampliamente donde se requiere buena resistencia a esta clase de corrosión.

Soldadura:

Por presentar menos tendencia a la formación de componentes, intergranulares de baja fusión, y en consecuencia, para disminuir la fracturación intergranular del metal base en la línea de fusión estos aceros tienen preferencia sobre los inoxidables tipo 347 en espesores de pared desde 1" (25mm) y mayores.

En la soldadura de estos aceros deben utilizarse electrodos clasificación AWS-E347-15, 16.

III.h.- ALGUNOS CONSEJOS SOBRE LA SOLDADURA DE ACEROS INOXIDABLES.

La limpieza superficial del trabajo es necesaria para obtener una soldada dura sana y sin poros. Se debe quitar toda la suciedad, grasa y materias extrañas por medio de limpiadores, desengrasantes, maquinado o esmerilado. Se deben usar sólo cepillos de acero inoxidable, para evitar la contaminación. El biselado a plasma o el corte con electrodo dejan por lo general una capa de óxido que debe ser retirado antes de soldar.

PARA SOLDADURAS PLANAS.

El electrodo debe sostenerse a un ángulo de 15° , con la punta superior inclinada en el sentido del avance. Se debe mantener un arco tan corto como sea posible.

PARA SOLDADURAS VERTICALES

El electrodo se mantendrá perpendicular a la placa, usando una ligera - oscilación en el cordón de base.

PARA SOLDADURA SOBRE CAJEZA.

El depósito debe hacerse en cordones corridos, con arco corto, se debe evi--tar la oscilación.

PARA MAYOR RESISTENCIA A LA CORROSION.

Los depósitos de soldadura inoxidable se deben hacer con el mínimo amperaje que sea práctico y en cordones seriados en vez de cordones oscilados. - Los cordones seriados minimizan la producción de calor y reducen la tenden--cia a agrietarse de las juntas soldadas. Si es necesario usar cordones oscilados, deben limitarse a $2\frac{1}{2}$ veces el diámetro del electrodo. Llenar siempre los cráteres en las soldaduras inoxidables, antes de romper el arco.

UN AMPERAJE DEMASIADO ALTO.

Y/o un arco demasiado largo, pueden producir graves salpicaduras, gie--tas en la soldadura, socavación, mal control del cordón, difícil remoción de la escoria y pérdida en la resistencia a la corrosión.

UN AMPERAJE DEMASIADO BAJO.

Puede dar como resultado un arco inestable, al mismo tiempo se pega el electrodo, interferencia por escoria en el arco, demasiadas salpicaduras y - mala forma del cordón.

DIFICULTAD PARA REMOVER LA ESCORIA.

Puede ser ocasionada también por contaminantes en la placa, soldaduras disperejas y mal formadas, humedad recogida por el revestimiento y por juntas demasiado apretadas que no permite que la escoria se expanda cuando se le golpea. A todas las soldaduras se les debe permitir que se enfríen algo antes de tratar de quitar la escoria.

GRIETAS EN SOLDADURAS INOXIDABLES.

Pueden ser causadas por muchos factores, incluyendo cráteres sin rellenar, un arco demasiado largo al principio y al final de un cordón de soldadura, sobrecoqueamiento de la pieza, excesiva velocidades de viaje del electrodo, mal diseño de la junta y uso del electrodo incorrecto. El excesivo coqueamiento y los cráteres sin rellenar, causan la mayoría de los problemas por grietas.

PENETRACION PROFUNDA.

No es necesaria para la adecuada unión del metal de relleno con el metal de base, al soldar acero inoxidable. Si el acero está limpio y pulido antes de soldar, no se requiere más. Más que esto causa problemas sin ofrecer ventajas.

FALLAS EN LA SOLDADURA.

Descubiertas por inspección con rayos-X, deben ser evaluadas individualmente. Apegándose a las adecuadas técnicas de soldadura, normalmente se obtendrán cordones lisos y densos de los cuales se pueden quitar fácil y totalmente todas las escorias, dejando una base limpia para el próximo cordón. Para asegurar soldaduras de calidad rayos-X, se deben mover todas las escorias y las escavaduras (si es necesario, con esmeril) antes de reiniciar la soldadura.

SIGA ESTOS PROCEDIMIENTOS PARA SOLDAR.

Como todas las soldaduras, los depósitos de acero inoxidable varían en calidad de acuerdo con la experiencia y la habilidad del soldador. Sin embargo, aunque en algunas aplicaciones se pueden tolerar soldaduras de segunda calidad, no es posible tolerarlas al tratarse de acero inoxidable. No sólo es costoso el uso de estas aleaciones sino que la mayoría de las aplicaciones de los inoxidables son tan críticas que buenas soldaduras son absolutamente esenciales.

IV. LA SOLDADURA TIG EN ACEROS INOXIDABLES.

Este procedimiento de soldadura, que designamos comúnmente por las iniciales de su denominación americana (Tungsten Inert Gas Welding) se utilizan ampliamente para la soldadura de los aceros inoxidable con excelentes resultados.

El arco salta entre un electrodo no consumible de tungsteno y la pieza que debe soldarse dentro de una corriente de gas inerte que protege el baño de la atmósfera circundante.

Si el baño de fusión está completamente aislado de la atmósfera durante toda la operación de soldeo, permitira que no sean absorbidos, tanto el oxígeno como el nitrógeno del aire, que se mezclan en el metal en estado de fusión, que hacen la soldadura porosa y frágil.

IV.a. VENTAJAS DEL PROCESO TIG.

Puesto que el gas protector impide el contacto entre la atmósfera y el baño de fusión, las uniones obtenidas son más resistentes, más dúctiles y menos sensibles a la corrosión.

Otra ventaja de la soldadura TIG, es que permite obtener soldaduras más limpias, sanas y uniformes, debido a la escasez de humos y proyecciones. Por otra parte, dado que la protección gaseosa que rodea el arco es transparente, el soldador puede ver claramente lo que está haciendo en todo momento, lo que repercute favorablemente en la calidad de la soldadura.

La soldadura puede realizarse en todas las posiciones con un mínimo de proyecciones.

Puesto que la superficie del cordón presenta una gran limpieza, pueden suprimirse, o reducirse, las operaciones de acabado, lo que incide favorablemente en los costos de producción.

Por último, también es menor la deformación de las piezas en las inmediaciones del cordón de soldadura.

IV.b. INSTALACION Y EQUIPO.

El porta electrodos tiene la misión de conducir la corriente y el gas de protección hasta la zona de soldeo. Pueden ser de refrigeración natural (por aire) o de refrigeración forzada (mediante circulación de agua) ver figura (3).

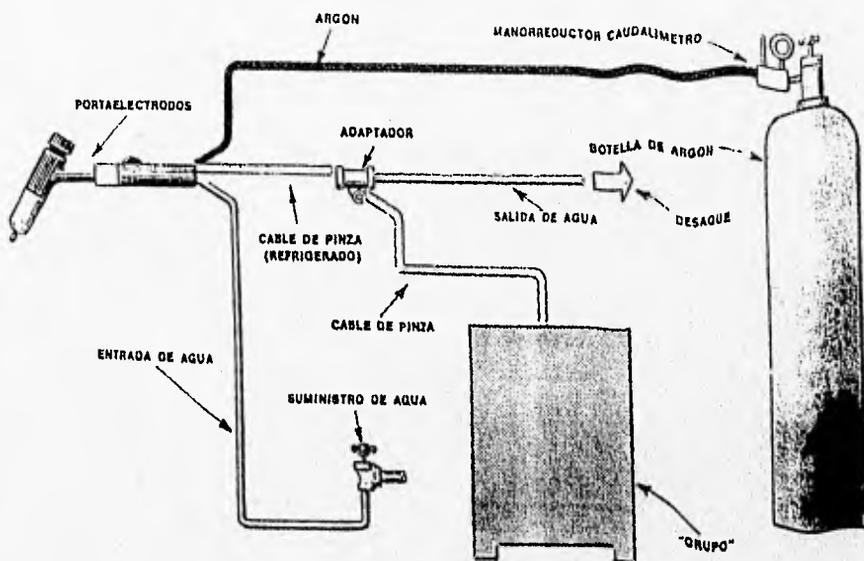


FIGURA (3).

INSTALACION DE SOLDADURA TIG, CON PORTA ELECTRODOS REFRIGERANDO POR AGUA.

Los primeros se emplean en la soldadura de espesores finos, que no requieren grandes intensidades, y los de refrigeración forzada se recomiendan para trabajos que exijan intensidades superiores a 200 amperios. En estos casos, la circulación de agua por el interior del portaelectrodos evita el sobrecalentamiento del mismo.

El electrodo de Tungsteno, que transporta la corriente hasta la zona de soldeo, se sujeta rígidamente mediante una pinza alojada en el cuerpo del porta-electrodo. Cada porta-electrodo dispone de un juego de pinzas, de distintos tamaños, que permiten la sujeción de electrodos de diferentes diámetros.

El gas de protección llega hasta la zona de soldadura a través de una boquilla de material cerámico, sujeta en la cabeza del porta-electrodos. La boquilla tiene la misión de dirigir y distribuir el gas protector sobre la zona de soldadura.

IV.c. GASES A EMPLEAR.

A continuación se indicarán los tipos de gases más comunes empleados para la soldadura bajo protección gaseosa, sistema T.I.G: Argón, helio, mezcla de argón con hidrógeno, nitrógeno.

El argón: Es un gas noble, monoatómico, cuyo punto de fusión es de -189.3°C ; se extrae del aire por destilación fraccionada de este líquido; su peso atómico es de 39,944, o sea, aproximadamente 10 veces superior al del helio. El Argón más puro que se puede utilizar para la soldadura es el que tiene un 99.99% de argón y el resto oxígeno.

El porcentaje de oxígeno que debe tener el gas argón para la soldadura del acero inoxidable y del cobre y sus aleaciones es del 0.1%, y de nitrógeno de 0.5 a 1.5% como máximo.

Mientras que durante la operación de soldeo el caudal del gas argón debe ser de 6 a 10 litros/minuto, utilizando gas helio se debe trabajar con un caudal de 20 l/min. A título indicativo, para aceros inoxidables, el gasto de gas protector, en la soldadura TIG manual, es del orden de 5 a 6 l/min., como valor medio, ya sea Argón o Helio.

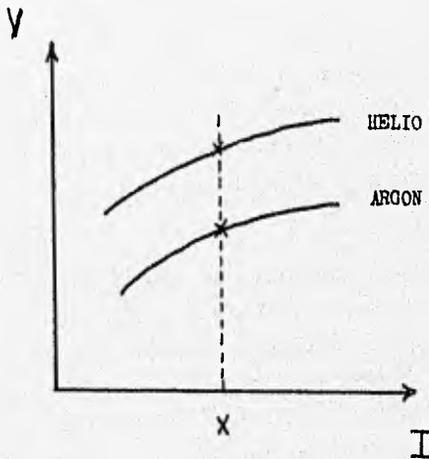
El helio: Es un gas noble; en su estado natural, en el aire se encuentra muy poco. Se obtiene principalmente en los manantiales de gas de petróleo, en los Estados Unidos. Su peso atómico es 4.003

IV.d. ACCION DE LOS GASES.

Tiene la misión de proteger al tungsteno y al metal aportado o no -- aportado. A este último lo protege especialmente contra la acción del -- oxígeno y nitrógeno del aire de la atmósfera.

Argón con gas hidrógeno, con un 20% de hidrógeno suelda níquel y -- plata, y para la soldadura de los aceros inoxidable el argón debe tener una mezcla de hidrógeno de un 10%, con esta mezcla de ambos gases se pro-- duce menos porosidad en la soldadura.

El Helio tiene las siguientes ventajas sobre el argón: Soldando una misma pieza, con un diámetro de tungsteno igual y también con una misma longitud de arco, siendo posible medir las tensiones en voltios y las -- intensidades en amperios, podemos observar que con una misma intensidad de soldeo la tensión con el helio se mantiene más elevada que la conse-- guida con el argón, como lo indica el siguiente diagrama.



Por consiguiente, con el helio conseguimos más potencia de arco, -- lo que hace que se caliente más el metal de base, y como es lógico con-- seguimos mayor penetración del metal aportado, como se aprecia en la fi-- gura (4).

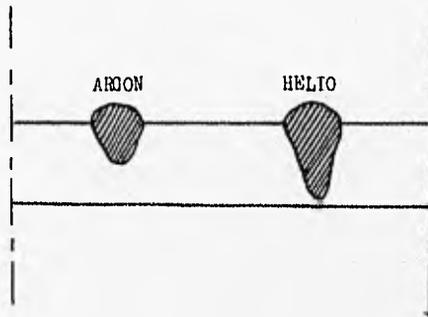


FIGURA (4)

Ventajas del argón sobre el helio; Es más económico el argón que el helio; nos proporciona un arco más estable y obtenemos un mejor cebado de arco. En la soldadura en posición horizontal se consume mucho menos argón que helio, al mismo tiempo que el argón elimina más fácilmente los óxidos que el helio.

El gas más apropiado según sea la posición de soldeo: Al ser el aire más pesado que el helio, cuando se deba realizar una soldadura en posición horizontal, se le aplicara al caudalímetro más presión de gas que si soldáramos con argón, llegando a ser 4 veces superior el gasto de helio en esta posición de soldeo que con gas argón; por consiguiente, siempre que nos sea posible debemos emplear para el soldeo en posición horizontal gas argón. Figura (5).

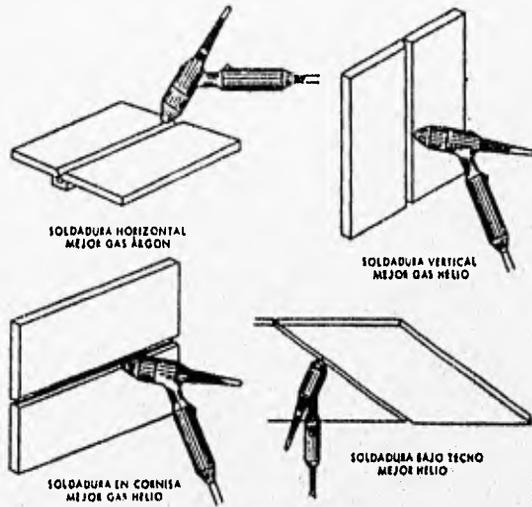


FIGURA (5)

En la siguiente tabla se hace un breve resumen de la selección de los gases.

METAL A SOLDAR	TIPO DE SOLDADURA	G A S	RESULTADOS
ACEROS INOXIDABLES	SOLDADURA AUTOMATICA	Argón	Permite el control de la penetración en los espesores finos
		Argón-Helio	Mayor aportación de calor. Permits mayores velocidades de soldeo en espesores más gruesos.
		Argón-hidrógeno (65% - 35%)	Disminuye el riesgo de mordeduras. Cordones de buen aspecto a bajas intensidades. Menor consumo de gas.
		Helio	Es el que consigue la mayor aportación de calor y la penetración más profunda.

IV. e. ELECTRODOS Y SUS PROPIEDADES.

Para las soldaduras de los aceros inoxidable, elegir un electrodo de tungsteno al torio o adicionado con óxido de zirconio. Este tipo de electrodo posee una mejor emisividad electrónica, lo que facilita el buen cebado del arco y mejora su estabilidad, sobre todo a pequeñas intensidades. Por otra parte, existe la ventaja de desgastarse menos rápidamente que un electrodo de tungsteno puro (esto da lugar a una mejor forma del extremo del electrodo) y poseer una tendencia mucho menor al desprendimiento de partículas de tungsteno susceptibles de contaminar el metal de la soldadura.

Los electrodos suelen tener de 1 a 2% de torio, o de circonio; trabajando a la misma intensidad, los electrodos con el 2% de torio conservan la forma puntiaguda del extremo durante más tiempo que los de 1% de torio.

Afilado del electrodo: Para obtener buenos resultados en la soldadura debe utilizarse un electrodo afilado correctamente. En general, suelen afilarse en punta, para el soldeo con corriente continua; y en forma semiesférica, para soldar con corriente alterna como lo indica la figura. No. 6

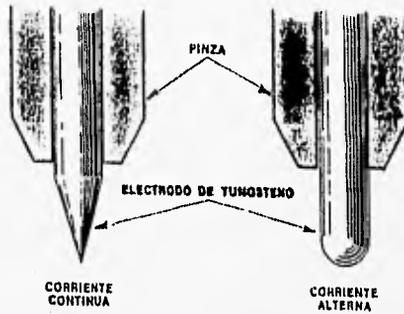


FIGURA (6)

La selección del diámetro del electrodo se realiza en función la intensidad necesaria y del tipo de corriente a utilizar. Cuando se trabaja en polaridad inversa, se necesitan diámetros mayores que en polaridad directa.

Recomendaciones para el mejor uso del Tungsteno.

Habrà un arco estable cuando el tungsteno este completamente limpio: deberá conservar su aspecto brillante después de haber terminado la soldadura en to se consigue cuando la corriente del gas argón que protege al tungsteno va ya saliendo durante un determinado tiempo aún después de haber cortado el dol deo, para que el Tungsteno quede completamente frío. El mando incorporado en el grupo para graduar el tiempo de salida del gas recibe el nombre de retardo o temporizados.

IV.f.- FUENTES DE CORRIENTE

Corriente continua y polaridad inversa

Cuando se trabaja con corriente continua, el circuito de soldadura puede alimentarse con polaridad directa, o con polaridad inversa.

En polaridad directa, los electrones circulan del electrodo hacia la pieza, lo que genera en ésta una gran cantidad de calor.

En polaridad inversa, la circulación de electrones se produce desde la pieza hacia el electrodo, originando un fuerte calentamiento de este último. Intenso calor generado en el electrodo tiende a fundir el extremo del mismo y puede producir la contaminación del cordón de soldadura. Para evitar este fenómeno, la corriente continua con polaridad inversa requiere el empleo de electrodos de mayor diámetro que los utilizados con polaridad directa a la misma intensidad. Por ejemplo, un electrodo de tungsteno de 1.5 mm de diámetro, puede soportar normalmente una corriente de unos 125 Amp. cuando trabaja en polaridad directa. Con el mismo electrodo y la misma intensidad de corriente, pero con polaridad inversa, el extremo del electrodo entraría rápidamente en fusión. Para soportar una corriente de 125 Amp. en polaridad inversa, y sin que se produzca la fusión del electrodo, sería necesario recurrir a un diámetro de unos 6mm, por lo menos.

La polaridad también afecta a la forma del cordón. Concretamente, la polaridad directa da lugar a cordones estrechos y de buena penetración. Por el contrario, la polaridad inversa produce cordones anchos y poco penetrados, ver figura No. 7.

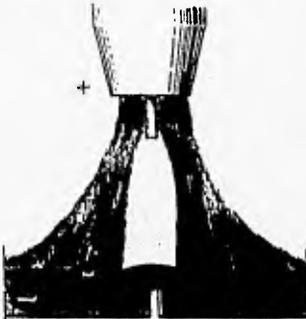
Por estas razones, la corriente continua con polaridad inversa no se utiliza nunca en el procedimiento TIG. Como excepción, se utiliza ocasionalmente en el soldeo de aluminio o magnesio.



LA CORRIENTE CONTINUA CON POLARIDAD DIRECTA PRODUCE PENETRACIONES PROFUNDAS DEBIDO A QUE CONCENTRA EL CALOR SOBRE LA PIEZA



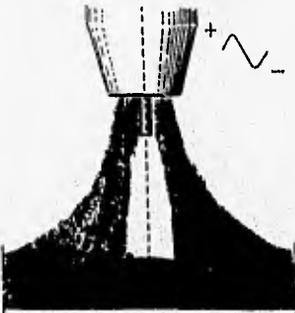
C.C. POLARIDAD DIRECTA
GRAN PENETRACION -- CORDON ESTRECHO



LA CORRIENTE CONTINUA CON POLARIDAD INVERSA DA UN BARRO MUY LIMPIO, PERO LA PENETRACION ES REDUCIDA



C.C. POLARIDAD INVERSA
PENETRACION REDUCIDA -- CORDON ANCHO



LA CORRIENTE ALTERNA COMBINA LAS VENTAJAS DE AMBAS POLARIDADES, LIMPIEZA EN EL SEMICICLO DE POLARIDAD INVERSA Y APORTACION DEL CALOR NECESARIO AL CAMBIAR LA POLARIDAD



CORRIENTE ALTERNA Y ALTA FRECUENCIA
CORDON ANCHO Y BIEN PENETRADO

FIGURA (7)

Corriente continua y polaridad directa

En general, es la que permite obtener mejores resultados, por lo que se emplea en la soldadura Tig de mayoría de metales y aleaciones siendo - preferible para los aceros inoxidable.

Puesto que la mayor concentración de calor se consigue en la pieza, el proceso de soldeo es más rápido, hay menos deformación del metal base y el baño de fusión es más estrecho y profundo que cuando se suelda con - polaridad inversa. Además, como la mayor parte del calor se genera en el baño de fusión, pueden utilizarse electrodos de menor diámetro.

Corriente alterna

La corriente alterna es una combinación de corriente continua con - polaridad directa e inversa; a menudo se superpone un generador de alta - frecuencia que asegura el cebado del arco a distancia, de esta forma se - evita el contacto del electrodo con la pieza y, por consiguiente, se su- - prime una de las causas de contaminación de la soldadura.

A falta de un generador de alta frecuencia, para cebar el arco puede utilizarse una placa de cobre o de carbono unida a la masa y colocada jun - to a los bordes que deben soldarse.

Los aceros inoxidable y especialmente los de la serie 300, son per- - fectamente soldables por el procedimiento TIG. La soldadura puede reali- - zarse con corriente continua y polaridad directa o con corriente alterna y estabilización por alta frecuencia.

El procedimiento es particularmente indicado para el soldeo de espe- - sores finos.

Cuando se emplea material de aportación, la varilla debe ser algo más - rica en cromo que el metal base.

En cuanto a los riesgos de fisuración, se reducen considerablemente - un precalentamiento de las piezas, a una temperatura comprendida entre 145 - y 260°C.

Como orientación sobre los parámetros de soldeo ver la tabla No. 8 y - 8a.

56
SELECCION DEL TIPO DE CORRIENTE

METAL A SOLDAR	CORRIENTE ALTERNA	CORRIENTE CONTINUA	
	Con estabilización por alta frecuencia	Polaridad Directa	polaridad Inversa
Acero Inoxidable (hasta 1.5 mm)	1	2	NR
Acero inoxidable (1,5mm ó más)	2	1	NR

- 1 - Procedimiento recomendado. Excelentes resultados.
 2 - Aunque puede dar buenos resultados, es menos recomendable.
 NR - No recomendable.

TABLA No. 8

IV.g.- DEFECTOS QUE PUEDEN SURGIR EN EL ARCO.

Si el arco no es estable. Y va de un lado para otro de la junta a soldar, no concentrando su foco de calor, esto es debido a que el tungsteno está contaminado; por introducir este dentro del baño de fusión a medida que se va realizando el cordón; lo que se debe hacer cuando se observe dicha contaminación es cortar lo contaminado y afilar de nuevo.

Causas de porosidad. Este defecto puede suceder cuando el gas no protege bien al cordón penetrado, lo cual se puede evitar con las siguientes precauciones:

Colocando un soporte con una apertura del ancho aproximado del cordón de penetración para que proteja perfectamente a este, o bien colocando una pieza de cobre, la cual evita considerablemente la porosidad (figura No. 8).

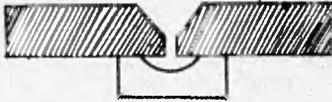


FIGURA No. 8

TABLA No. 8.2. SOLDADURA TIG EN LOS ACEROS INOXIDABLES

ESPOSOR PIEZAS (mm)	TIPO DE JUNTA	CORRIENTE CONTINUA POLARIDAD DIRECTA			DIAMETRO ELECTRODO (mm)	CAUDAL DE ARGON		DIAMETRO VARILLA (mm)
		AMPERIOS				litros/min	m ³ /hora	
		HORIZONTAL	VERTICAL Y CORNISA	TECHO				
1,5	A tope	80-100	70-90	70-90	1,5	5	0,30	1,5
	Solape	100-120	80-100	80-100	1,5	5	0,30	1,5
	Esquina	80-100	70-90	70-90	1,5	5	0,30	1,5
	Angulo interior	90-110	80-100	80-100	1,5	5	0,30	1,5
2,5	A tope	100-120	90-110	90-110	1,5	5	0,30	1,5
	Solape	110-130	100-120	100-120	1,5	5	0,30	1,5
	Esquina	180-120	90-110	80-110	1,5	5	0,30	1,5
	Angulo interior	110-130	100-120	100-120	1,5	5	0,30	1,5
3	A tope	120-140	110-130	105-125	1,5	5	0,30	2,5
	Solape	130-150	120-140	120-120	1,5	5	0,30	2,5
	Esquina	120-140	110-130	115-135	1,5	5	0,30	2,5
	Angulo interior	130-150	115-135	120-140	1,5	5	0,30	2,5
5	A tope	200-250	150-200	150-200	2,5	6	0,36	3
	Solape	225-275	175-225	175-225	2,5	6	0,36	3
	Esquina	200-250	150-200	150-220	2,5	6	0,36	3
	Angulo interior	225-275	175-225	175-225	2,5	6	0,36	3
8	A tope	275-350	200-250	200-250	3	6	0,36	5
	Solape	300-375	225-275	225-275	3	6	0,36	5
	Esquina	275-350	200-250	200-250	3	6	0,36	5
	Angulo interior	300-375	225-275	225-275	3	6	0,36	5

Protección de gas inadecuada.

Cuando el metal aportado no queda brillante, y su color es de un gris oscuro, esto nos indica que el gas argón no es el apropiado y que el metal aportado no va bien protegido; en estos casos tanto perjudica mucha cantidad de gas, como poca, porque con mucho caudal estamos expuestos a que se nos produzca un régimen turbulento, al mismo tiempo que una protección de gas inadecuada puede producir morderuras.

Partes oscuras en el tungsteno.

Este defecto puede producirse fácilmente cuando el tungsteno está oliente y es víctima de una corriente de aire. Esto puede ocurrir cuando - trabajamos con una baja presión de gas o que el tungsteno esta demasiado sacado y en este caso el gas no lo protege bien.

Falta de penetración.

Esto es debido al débil calor concentrado en la pieza, lo cual puede ser originado por las siguientes causas:

Baja tensión

Baja Intensidad.

Mucha velocidad de soldeo.

No es adecuado el diámetro de soldeo.

No es adecuado el diámetro de la varilla.

Demasiada aportación de varilla en el baño de fusión, la cual origina un rápido enfriamiento del baño, restándole penetración.

IV.h.- METODO OPERATORIO**Observaciones previas.**

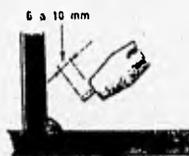
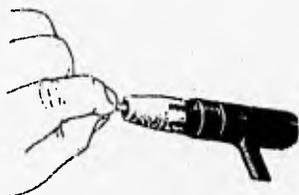
Antes de iniciar la soldadura hay que realizar las comprobaciones siguientes:

- 1.- Comprobar todas las conexiones del circuito de soldadura, para asegurar se de que estan correctas.
- 2.- Elegir el diámetro del electrodo adecuado (ver tabla de referencia).

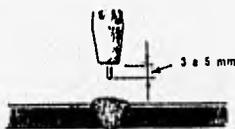
Diámetro del Tungsteno (mm)	Espesor de la pieza (mm)
0.8	Hasta 1
1.2	1 a 1.5
1.6	1.5 a 2

Diámetro del Tungsteno (mm)	Espesor de la pieza (mm)
2.4	2 a 2.5
3.2	3, 4, 5 y 6
4	6 a 10
5	10 a 15
6	15 a 20
8	20 a 30
9	30 en adelante

3.- Ajustar el electrodo en el porta electrodos, de forma que sobre salga la longitud adecuada al tipo de junta a realizar. En uniones a tope debe sobresalir entre 3 y 5mm; y en uniones en ángulo interior, unos 6 a 10mm. (figura No. 9).



SOLDADURA EN ANGULO INTERIOR



UNION A TOPE



SOLDADURA EN ANGULO EXTERIOR

- 4.- Comprobar que el electrodo está firmemente sujeto a la pinza..
- 5.- Ajustar el generador a la intensidad de corriente adecuada.
- 6.- Si se emplea portaelectrodos refrigerado por agua abrir el paso de - agua.
- 7.- Abrir el paso de gas inerte y regular el caudal adecuadamente.

Cebado del arco.

Cuando se utiliza corriente alterna, no es necesario tocar con el electrodo sobre la pieza para que ceba el arco, basta aproximar el electrodo a unos 3 mm, y en este punto, la corriente de alta frecuencia vence la resistencia del aire y se establece el arco.

Si se utiliza corriente continua, sujetar el portaelectrodos y aproximar, hasta tocar la pieza con electrodo, para establecer el arco, una vez, cebado el arco, retirar el electrodo hasta que quede a unos 3 mm de la pieza.

Para extinguir el arco, tanto en corriente alterna como en corriente continua, basta con retirar el electrodo hasta la posición horizontal mediante un rápido movimiento de muñeca. Este movimiento debe realizarse rápidamente a fin de evitar deterioros en la superficie de la soldadura.

V. LA SOLDADURA MIG EN ACEROS INOXIDABLES.

La denominación usual de este procedimiento (MIG - Metal Inerte Gas) - indica que se trata de un sistema en el que el metal del electrodo se funde en el arco en atmósfera de gas protector. Por lo tanto se asemeja al procedimiento TIG, con la diferencia de que aquí el electrodo está constituido - por un alambre fusible, destinado a rellenar la unión.

El paso del metal fundido por el arco puede realizarse de dos formas - distintas:

- Mediante una pulverización de finas gotitas: Es el procedimiento MIG clásico, llamada en "fina lluvia".
- Mediante un arco corto e interrumpido por frecuentes cortos circuitos, en forma de glóbulos que se desprenden uno a otro en cada corto circuito, en el instante en que el alambre-electrodo se hunde en el baño de soldadura: Es el procedimiento MIG de "arco pulsado" o "de gota gruesa".

En ambos casos que se adopta una densidad de corriente (considerablemente más elevada que en la soldadura con electrodos revestidos), que alcanzan los 200 Amp/mm^2 , añadiendo de 1 a 5% de oxígeno al gas de protección.

Estas dos variantes se prestan muy bien a la soldadura de los aceros - inoxidable, con un rendimiento que comparado con los otros métodos, resulta elevado.

7.a.- VENTAJAS ESPECÍFICAS DEL PROCESO.

- Tiene como ventaja común la de no producir escoria y disminuir la pérdida de elementos de aleación por oxidación del arco.
- El MIG en fina lluvia permite la soldadura a gran velocidad de chapas medias y gruesas.
- El MIG de gota gruesa permite la soldadura de chapas finas con una preparación más somera y un rendimiento mayor que por el procedimiento TIG.
- Gran velocidad de soldadura, especialmente si se compara con el soldo por arco con electrodos revestidos. Puesto que la aportación se realiza mediante un hilo continuo, no es necesario interrumpir la soldadura para cambiar el electrodo. Esto no solo supone una mejora en la productividad, si no que también disminuye el riesgo de defectos. Hay que tener en cuenta que las interrupciones, y los correspondientes empalmes, son, con frecuencia, origen de defectos tales como inclusiones de escoria, faltas de fusión o fisuraciones en el cráter.
- La gran velocidad del procedimiento MIG también influye favorablemente en el aspecto metalúrgico de la soldadura. Al aumentar la velocidad de avance, disminuye la amplitud de la zona afectada por el calor, hay menos tendencia al aumento del tamaño de grano, se aminoran las transformaciones de estructura en el metal base y se reducen considerablemente las deformaciones.
- Las buenas características de penetración del procedimiento MIG permite la preparación con bordes más cerrados, con el consiguiente ahorro en material de aportación, tiempo de soldadura y deformación.

V.b.- PROCEDIMIENTO MIG (EN FINA LLUVIA).

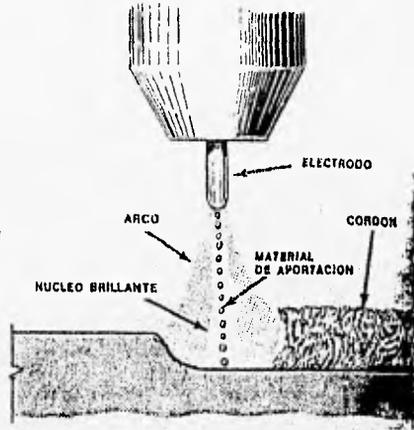
En este procedimiento el transporte se lleva a cabo por pulverización, el material de aportación pasa desde el extremo del hilo electrodo a la pieza, a través del plasma de arco en forma de gotas muy pequeñas, que se proyectan rápidamente y en la dirección del hilo. Mientras se verifica el transporte, las partículas metálicas que se desplazan a través del arco no interrumpen la circulación de corriente, por lo que el arco es más estable y la pulverización es prácticamente ininterrumpida.

Puesto que el transporte de material se debe a una fuerza direccional de mayor intensidad que la acción de la gravedad, el transporte por pulverización es efectivo incluso en posiciones distintas a la horizontal.

Este tipo de transporte es particularmente indicado para la soldadura de espesores gruesos. Por el contrario, y debido a su gran poder de penetración, no es recomendable para el soldado de espesores finos, por el peligro de perforación de las piezas. Ver figura No. 10.

TRANSPORTE POR PULVERIZACION

FIGURA No. 10



Gas de protección.

Son aceptables el argón y el helio.

A igualdad de intensidad, el argón produce menos calor y da lugar a una unión más estrecha. Así pues se utilizará, en general, con preferencia al helio, adicionándole con un 1 a un 5% de oxígeno.

Esta adición de oxígeno mejora la estabilidad del arco, asegura una mejor penetración y da lugar a una forma más adecuada del cordón, evitando las mordeduras a lo largo de la unión. Por otra parte, el 5% de oxígeno es un valor máximo que no debe sobrepasarse, para evitar una pérdida excesiva de los elementos de aleación oxidantes.

Para los inoxidables, es aconsejable la adición de anhídrido carbónico que puede tener un doble efecto oxidante y carburante, y que, aunque favorezca la penetración, puede dar lugar a fisuras.

La siguiente figura No. 11 esquematiza las formas de cordón que pueden realizarse con las distintas fórmulas:

FIGURA No. 11

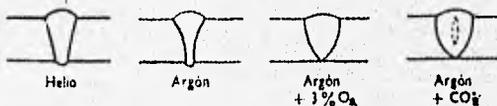


TABLA No. 9 GASES DE PROTECCION P.-RA SOLDADURA MIG

MATERIAL	GAS MAS ADECUADO	OBSERVACIONES
Acero Inoxidable	Argon + 1% oxígeno	El oxígeno elimina las mordeduras cuando se trabaja con C.C. y polaridad inversa.
	Argón + 5% oxígeno	Cuando se suelda con C.C. y polaridad directa, el 5% de O_2 mejora la estabilidad del Arco.

CORRIENTE DE SOLDADURA

El tipo de corriente tiene una gran influencia sobre los resultados de la soldadura. La corriente continua con polaridad inversa es la que permite obtener mejores resultados. (Ver figura No. 12).

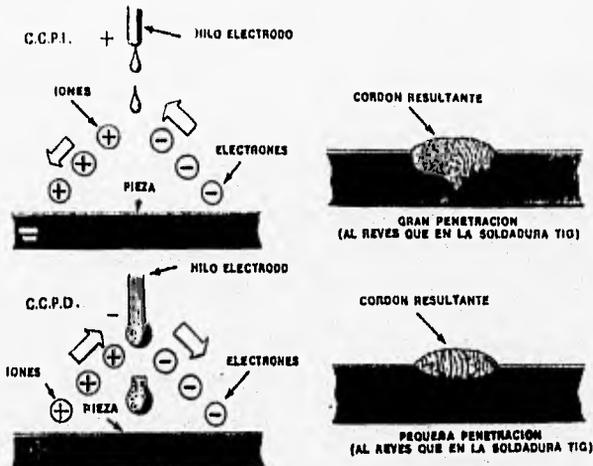


FIGURA No. 12

INFLUENCIA DE LA
POLARIDAD EN LA
SOLDADURA MIG.

En este caso, la mayor parte del calor se concentra sobre el baño de fusión - lo que mejora la penetración de la soldadura. Además, la corriente continua con polaridad inversa, ejerce una enérgica acción de limpieza sobre el baño de fusión, por lo que tiene una gran importancia en la soldadura de metales que dan óxidos pesados y difíciles de reducir, como en el caso del aluminio y el magnesio.

La soldadura MIG con polaridad directa resulta impracticable por diversas razones: da cordones muy anchos y de pequeña penetración; produce excesivas proyecciones, y no presenta la acción de limpieza que se menciona en polaridad inversa.

Material de aportación.

Los hilos de aportación para la soldadura MIG suelen ser de composición similar a la del metal base. En la siguiente tabla No. 10 figuran distintos materiales de aportación, así como sus aplicaciones más típicas. Estos materiales se designan según el sistema de clasificación AWS.

TABLA No. 10 Metal de aportación para soldadura de acero inoxidable

ER-308L	Para soldadura de acero 304, 308, 321, 347.
ER-308L-Si	Para los tipos 301, 304.
ER-309	Para el acero 309 y aceros al cromo, cuando no es posible un tratamiento térmico. También para placados con aceros 304.
ER-310	Para aceros tipo 310, 304 placados y aceros endurecibles.
ER-316	Para el soldeo de aceros tipo 316.
ER-347	Para el 321 y 347, cuando se requiere la máxima resistencia a la corrosión.

En general, será ligeramente más rico en elementos oxidantes que el metal base y con bajo contenido en carbono o estabilizado.

Para los tipos ferríticos o martensíticos, se elegirá preferentemente un alambre austenítico.

Velocidad de alimentación.

La intensidad de la corriente de soldadura obliga a mantener la velocidad de alimentación dentro de ciertos límites. No obstante, la velocidad puede variarse siempre que no se salga de estos límites. Así, para un cierto valor de la intensidad, una velocidad de alimentación elevada origina arcos cortos; y una velocidad pequeña contribuye a lograr arcos largos, para valores de velocidad ver la tabla No. 11.

Preparación y Ejecución de la Soldadura.

Siguiendo la regla común a todos los procedimientos de soldadura de los inoxidables, para obtener una buena calidad es indispensable una perfecta limpieza tanto del material que se utilice como de los bordes que se van a soldar.

El método de arco largo, con alambre de 1.6 mm de diámetro y elevadas intensidades de corriente, suele conseguir muy buenos resultados.

Generalmente, los aceros inoxidable se sueldan por el método a "izquierdas", y con un movimiento de balanceo adecuado, según sea el espesor a soldar, ver figura No. 13.

Para espesores finos y en posiciones como vertical o techo, da mejores resultados el método de soldadura por arco corto

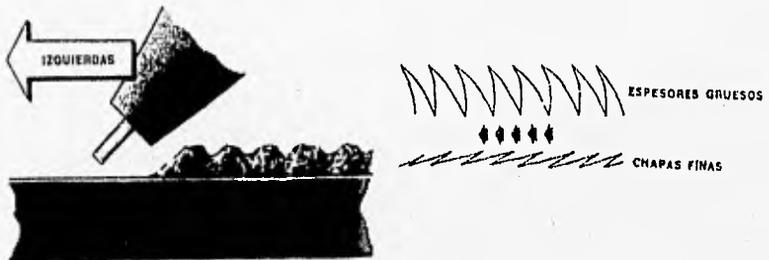


FIGURA 13 MOVIMIENTOS DE LA PISTOLA, PARA LA SOLDADURA MIG de los aceros inoxidable.

La tabla No. 11 especifica las condiciones de trabajo para el soldeo de los aceros inoxidable.

Así como la figura No. 13 a. Muestra la instalación del equipo para realizar soldadura MIG.

TABLA No. 11 SOLDADURA MIG DE LOS ACEROS INOXIDABLES POR EL METODO DE ARCO LARGO

ESPESOR PIEZAS (mm)	TIPO DE JUNTA Y PREPARACION DE BORDES	DIAMETRO DEL HILO (mm)	CAUDAL DE GAS (litros/min)	C. CONTINUA POL. INVERSA (amperios)	VELOCIDAD ALIMENTACION (m/min)	VELOCIDAD SOLDADURA (cm/min)	NUMERO DE PASADAS
3	A tope, bordes rectos con soporte.	1,6	18	200-250	2,8-3,8	50	1
6	Bordes en V a 60°, - con talón.	1,6	18	250-300	3,8-5,1	38	2
10	Bordes en V a 60°, - con talón de 1,5 mm.	1,6	(1% O ₂)	275-325	5,7-6,3	51	2
12	Bordes en V a 60°, - con talón de 1,5 mm.	2,4	(1% O ₂)	300-350	1,9-2,1	12	3-4
20	Bordes en V a 90°, - con talón de 1,5 mm.	2,4	(1% O ₂)	350-375	2,1-2,4	10	5-6
25	Bordes en V a 90°, - con talón de 1,5 mm.	2,4	(1% O ₂)	350-375	2,1-2,4	5	7-8

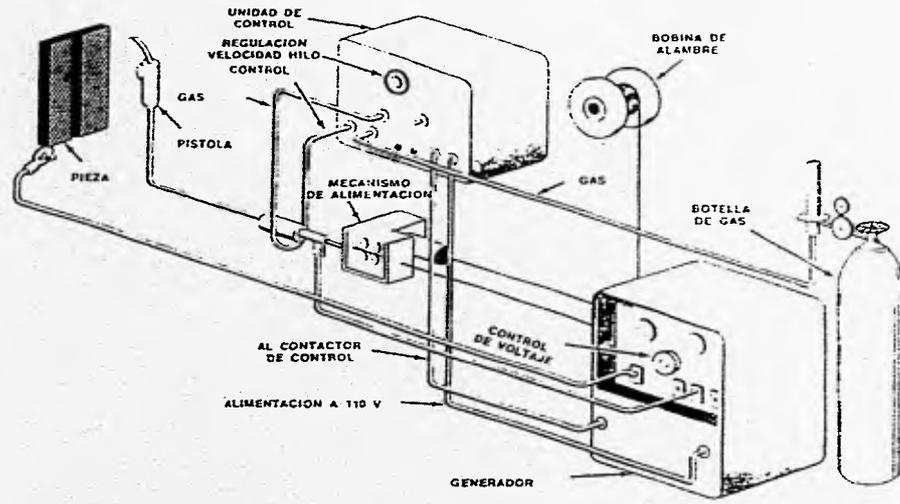


FIGURA No. 13 a. INSTALACION Y EQUIPO PARA SOLDADURA MIG.

V. PROCEDIMIENTO MIG CON ARCO PULSADO (O DE GOTA GRUESA)

El transporte por cortocircuitos permite la soldadura de espesores muy finos, con una gran facilidad, además facilita el control de baño de fusión, por lo que es el más adecuado para el soldeo de todas posiciones. Otra característica importante de este procedimiento se encuentra en su reducido poder de penetración. Generalmente, para la soldadura con arco corto se trabaja con intensidades inferiores a 200 amp y con hilos de 1.2 mm de diámetro, o menos.

El empleo de hilos de pequeño diámetro da lugar a baños de fusión reducidos, que resultan fáciles de controlar y permiten la soldadura en todas posiciones. En las figuras siguientes se indica la forma en que se verifica este tipo de transporte.

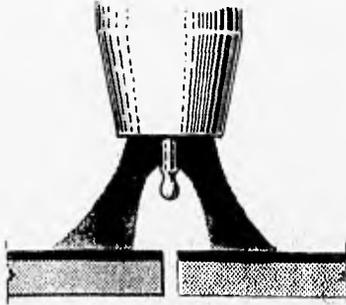


FIGURA No. 14 a Comienzo del ciclo de transporte por ARCO CORTO. La elevada temperatura del arco va fundiendo el extremo de hilo, en el que se empieza a formar una gota. El hilo avanza automáticamente a través de la boquilla. La energía del arco se regula en el generador del soldeo. (Linde Co.).

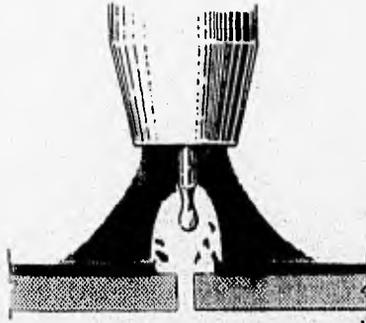


FIGURA No. 14 b El hilo avanza hacia el baño de fusión. Observar la acción de limpieza. Las mezclas a base de argón, desarrolladas para arco corto, protegen el metal fundido, facilitan el reencendido del arco, reducen las proyecciones y mejoran la calidad de la soldadura. (Linde Co.).

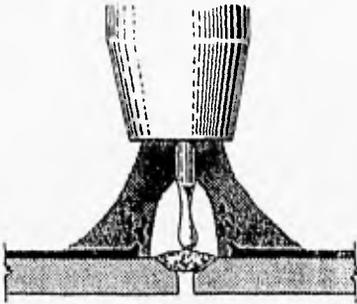


FIGURA No. 14 C El extremo del hilo entra en contacto con las piezas y - se produce un cortocircuito. El arco se extingue momentaneamente permiti^{endo} un ligero, enfriamiento del - baño. El número de cortocircuitos - oscila entre 20 y 200 por segundo. - (Linde Co.)

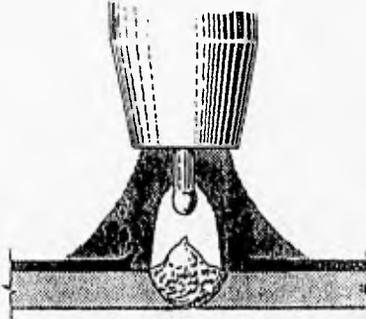


FIGURA No. 14 D La gota fundida en el extremo del hilo se desprende del mismo y se restablece el arco. La - separación de la gota se produce por un efecto de estricción. Las características de este efecto de estricción pueden regularse en la fuente - de alimentación. (Linde Co.)

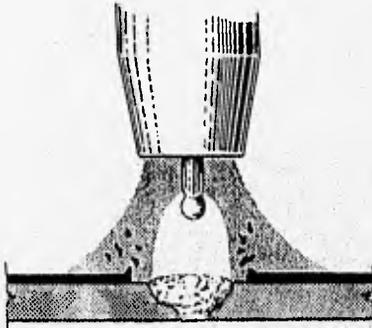


FIGURA No. 14 E Una vez restablecido el arco comienza un nuevo ciclo. La precisión en el control de las características del arco, el régimen relativamente frío y la uniformidad de - la operación con ARCO CORTO, permite obtener soldaduras perfectas en espesores hasta unos 0.3mm, en aceros al carbono e inoxidables. (Linde Co)

El número de cortocircuito por segundo oscila entre 20 y 200, en función de los parámetros de soldadura. Actuando sobre la frecuencia de los cortocircuitos se controla la aportación de calor y pueden obtenerse baños pequeños y relativamente fríos, con lo que se reduce el peligro de perforación de las piezas.

Gas de protección.

Se utilizará el argón y, como el arco desprende relativamente poco calor, se dispondrá de un cierto margen para añadirle oxígeno o gas carbónico.

Para regular estas adiciones se recordará que la relación de disociación de los gases poliatómicos en el arco crece con la dilución de éstos.

La mezcla argón + 1 a 5% de oxígeno resulta satisfactoria.

La mezcla argón + CO₂ asegura una excelente humectación y, al aumentar el desprendimiento de calor en el arco, permite disminuir la intensidad o aumentar la velocidad de soldadura.

Sin embargo no se aconseja para la soldadura de los austeníticos con contenido muy bajo en carbono ($\leq 0.030\%$), debido a los riesgos de carburación.

Corriente de soldadura.

Se adoptará la corriente continua, polaridad inversa (alambre electrodo positivo).

Procedimiento de soldadura.

Para el soldeo de espesores inferiores a 1.5mm es recomendable el empleo de soportes de cobre. Otra recomendación importante, encaminada a conseguir uniones de calidad, es la de proteger el reverso de la junta de la acción nociva del oxígeno y el nitrógeno del aire. Esta protección se le conseguirá aplicando argón por la parte inferior de la junta.

Observar en la tabla No. 12 siguiente, las condiciones de trabajo para Arco Corto de Aceros Inoxidables.

TABLA No. 12 SOLDADURA MIG DE LOS ACEROS INOXIDABLES POR EL METODO DE ARCO CORTO.

ESPEJOR PIEZAS (mm)	TIPO DE JUNTA Y PREPARACION DE BORDES	DIAMETRO DEL HILO (mm)	CAUDAL DE GAS litros/min.	C.CONTINUA POL. INVERSA (amperios)	VOLT. ALIMENTAC.	VELOCIDAD SOLDADURA (m/min)	VELOCIDAD SOLDADURA (cm/min)	NUMERO DE PASADAS
1.5	Solape o ángulo interior.	0,8	8-10	85	15	4,6	46	1
1,5	A tope, bordes rectos.	0,8	(2% O ₂)	85	15	4,6	51	1
2	Solape o ángulo interior	0,8	(2% O ₂)	90	15	4,8	35	1
2	A tope, bordes rectos	0,8	(2% O ₂)	90	15	4,8	30	1
2,5	Solape o ángulo interior	0,8	(2% O ₂)	105	17	5,9	38	1
3	Solape a óngulo interior	0,8	(2% O ₂)	125	17	7,1	40	1

V. ↓-REALIZACION DE LA SOLDADURA.

En general, para soldar por el procedimiento MIG hay que seguir un determinado orden de operaciones, independientemente del tipo de trabajo que se realice.

Básicamente, pueden resumirse en las siguientes:

- 1.- Ajustar el voltaje, la velocidad de alimentación y el caudal de gas protector a los valores requeridos por el tipo de soldadura que se pretenda realizar. La exigencia de un mayor o menor aportación de calor, puede obligar a modificar la velocidad de alimentación, durante la operación de soldadura.
- 2.- Regular al valor adecuado de la longitud de la parte terminal del hilo.
- 3.- Cebiar arco y desplazar la pistola a lo largo de la junta, con una velocidad uniforme y manteniéndola en la posición correcta.
- 4.- Soltar el pulsador, o el gatillo de la pistola, al llegar al final del cordón. Esto interrumpe la circulación de corriente y la alimentación de alambre. No obstante, debe mantenerse la pistola sobre la soldadura mientras sigue circulando gas, con vistas a proteger el metal fundido hasta la solidificación del baño.
- 5.- Para poner el equipo fuera de servicio, una vez finalizada la soldadura, seguir el siguiente proceso.
 - a) Apagar el interruptor del sistema de alimentación de alambre.
 - b) Cerrar la botella de gas protector.
 - c) Pulsar el gatillo de la pistola, para descargar las canalizaciones.
 - d) Colgar la pistola y desconectar el generador de soldadura.

Cebado del arco.

El cebado de un arco eléctrico para un proceso de soldadura depende de tres factores fundamentales el contacto eléctrico adecuado, voltaje y tiempo.

Para conseguir un cebado fácil es necesario que se establezca un contacto perfecto, entre el electrodo y la pieza. Ya que al, aumentar la longitud de la parte terminal del hilo, aumenta la dificultad de cebado. (figura No. 15).

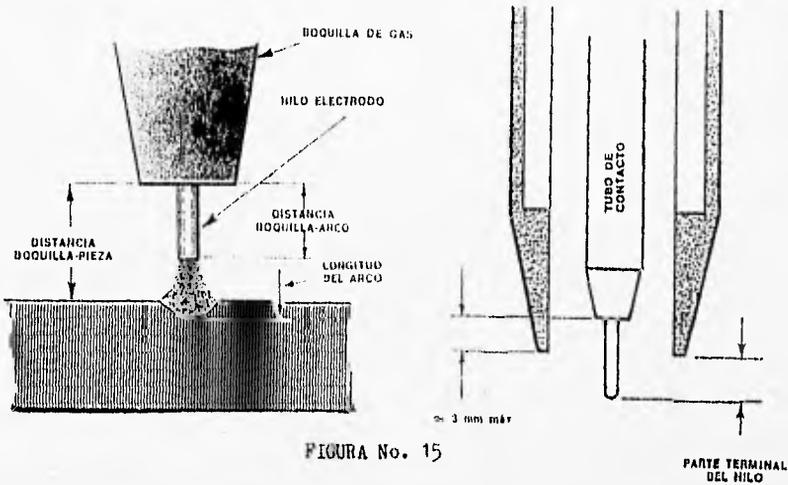


FIGURA No. 15

Dependiendo del tipo de instalación, el arco puede cebarse por dos procedimientos: accionando el hilo hasta que se estrelle contra la pieza o raspando el extremo del hilo sobre la misma. Otra método consiste en utilizar una chapa de cebado y trasladar rápidamente el arco hacia la zona de soldadura (figura No. 16).

Al finalizar el cordón, suele realizarse el invertir el sentido de avance, para disminuir el tamaño del cráter final.



CHAPA AUXILIAR DE CEBADO

FIGURA No. 16 UTILIZACION DE UNA CHAPA AUXILIAR DEL CEBADO.

7.2.- DEFECTOS TÍPICOS EN LA SOLDADURA MIG

En la soldadura MIG, como en cualquier otro procedimiento, deben controlarse tanto los parámetros como la técnica operatoria, para conseguir buenas soldaduras y de la calidad adecuada.

A continuación se citan algunos de los defectos más típicos que suelen presentarse durante el proceso de aprendizaje.

Faltas de fusión.

Normalmente se presentan cuando el arco no llega a fundir suficientemente al metal base, con lo que el baño de fusión se establece sobre zonas de la pieza relativamente frías. Cuando se trabaja con baños muy grandes aumenta la probabilidad de que se produzca este tipo de defectos. Para conseguir una fusión correcta, el arco debe dirigirse hacia la parte delantera del baño. De esta forma se evita que el metal fundido adelante al arco y se deposite sobre zonas frías. También conviene recordar que el baño de fusión puede reducirse aumentando la velocidad de avance o reduciendo la velocidad de alimentación.

Porosidad superficial.

Este tipo de defecto suele presentarse como consecuencia de la contaminación atmosférica, originada por una protección inadecuada. Se produce cuando el caudal de gas protector es insuficiente o excesivo, si es insuficiente porque no logra desplazar todo el aire existente en la zona de soldadura; y si es excesivo, porque origina turbulencias que pueden introducir aire en la corriente de gas protector.

Porosidades o fisuras en el cráter.

Los defectos en el cráter se producen, principalmente, por retirar la pistola y, por consiguiente, el chorro de gas protector sin esperar a una completa solidificación del baño. También pueden producirse por soldar sobre piezas que no estén suficientemente limpias, o por trabajar con una distancia excesiva entre la boquilla y la pieza.

Faltas de penetración.

Las faltas de penetración se producen por trabajar con una aportación de calor insuficiente o por no dirigir el arco correctamente. Si la aportación de calor es muy baja, debe aumentarse la velocidad de alimentación de -

alambre, para obtener un aumento de intensidad de corriente.

Penetración excesiva.

Este defecto, que puede traducirse en un desfondamiento del baño, o en una perforación de las piezas, suele presentarse cuando la aportación de calor es demasiado fuerte. La aportación de calor puede reducirse disminuyendo la velocidad de alimentación del hilo, con lo que también disminuye la intensidad de corriente. La penetración excesiva también puede evitarse aumentando la velocidad de avance.

Trosos de hilo pegados al cordón.

Este defecto se produce cuando el extremo del hilo se introduce en el baño y queda soldado con el cordón. La mejor forma de evitarlo es reduciendo la velocidad de avance, aumentando ligeramente la distancia de la boqui-lla a la pieza, o reduciendo la velocidad de alimentación.

CONCLUSIONES:

Los aceros inoxidable son soldables aplicando algunas reglas básicas, algunas reglas son diferentes a las de la soldadura de bajo carbono, pero - esto no significa que sean completamente distintas. La diferencia entre - una soldadura de acero dulce y una soldadura de acero inoxidable está en la temperatura que debe ser estrictamente controlada, en estos casos hay que - tener los conocimientos necesarios acerca de la limitación de temperatura en los aceros inoxidable.

Es muy reconocido que un buen soldador de aceros de bajo carbono en un lapso muy breve puede convertirse en un buen soldador de aceros inoxidable si observa las siguientes reglas.

- 1.- Utilizar bajos amperajes de soldadura y electrodos de pequeño diámetro (Según el tipo de trabajo).
- 2.- Saber elegir el tipo de electrodo que sea adecuado al tipo de acero que se va a soldar, esto se simplifica con los catálogos que el fabricante proporciona, para emplear el electrodo según las especificaciones que indique.
- 3.- Tener los conocimientos necesarios acerca del tipo de acero que debe soldar.
- 4.- Tipos de corriente y gases a emplear según sea el proceso que halla sido el adecuado para el soldeo.

A continuación se hacen unas pequeñas observaciones para cada proceso a emplear.

Por arco con electrodo revestido:

- Realizar con corriente continua polaridad inversa, asegura una mayor penetración y una fusión más completa.
- El electrodo con recubrimiento de rutilo tiene menos penetración que el - básico.
- Para la soldadura que no se horizontal es mejor el básico.
- Preferentemente deba emplearse en espesores mayores a 1.5 mm.

Proceso TIG.

- Se puede emplear en todas posiciones, cuando se emplea argón da mejores resultados en horizontal.
- Para mayores penetraciones da mejor resultado el helio en chapas gruesas y en chapas finas el empleo será de argón.
- Si se emplean electrodos de Tungsteno toriados es mejor por que se desgastan menos.
- La corriente recomendable para este proceso es: la corriente continua - polaridad directa o la corriente alterna a alta frecuencia, ya que permiten gran penetración.

Para C.C.P.D hasta espesores mayores de 1.5 mm y

Para C.A. es mas recomendable hasta espesores no mayor a 1.5 mm.

Proceso MIG.

- MIG (en fina lluvia).- Es aceptable el argón y el helio. En cuanto a la corriente, da mejor penetración la C.C.P.I (corriente continua polaridad inversa), la C.A no es recomendable para los aceros inoxidable en este proceso, es mejor la soldadura a izquierdas.

Es recomendado para espesores mayores a 3 mm.

- MIG (con arco puldado).- El gas más adecuado es el argón, acompañado con oxígeno o gas carbónico.

La corriente más satisfactoria para este proceso es la C.C.P.I. ya que asegura una excelente penetración.

Este proceso de soldeo es básicamente recomendable para espesores inferiores a 3 mm.

En todos los procesos deben controlarse los parametros de amperaje, buen diseño de las juntas, y su tratamiento térmico si lo requiere, selección de electrodo etc., por lo que todas las tablas anteriores presentadas en este texto dan una referencia para ser llevada acabo satisfactoriamente.

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

- SOLDADURA DE LOS ACEROS INOXIDABLES
F. Delattre
Ed. Urmo
- MANUAL DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL TOMO II
L.C. Morrow
Ed. Cía. Editorial Continental, S.A. de C.V. México.
- SOLDADURA ELECTRICA MANUAL 2a ed.
Massimo Viadimiro Piredda G.
Ed. Limusa Noriega
- TECNOLOGIA ELEMENTAL DE LA SOLDADURA POR ARCO ELECTRICO 4a ed.
Antonio Guadilla López
Ed. Dossat, S.A.
- TECNICA Y PRACTICA DE LA SOLDADURA
Joseph W. Giachino - William Week
Ed. Reverté, S.A.
- SOLDADURA ELECTRICA Y SISTEMAS TIG Y MIG
José Ma. Rivas Arias
Paraninfo S.A. (madrid)
- MANUAL DE SOLDADURA MODERNA
Tomo 2 Howard B. Cazy
- SOLDADURA
James A. Pender
Ed. Mo. Crow Hill
- SOLDADURA APLICACIONES Y PRACTICA
Henry Horwitz
Ed. Alfa Omega, S.A. de C.V.
- SOLDADURA AL ARCO
Luigi Mazzilli
Ed. Científico - Médica
- TRATADO DE SOLDADURA
Lancaster
Ed. Tecnos Madrid

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- ACEROS Y ALIACIONES

(Propiedades, aplicaciones y soldabilidad)

Ing. Constancio Figueroa Ruano

Ed. Gráfica Turrilee, S.A. de C.V.

- ELECTRODOS DE ACERO INOXIDABLE

Electrodos Infra (Catálogo)

Electrodos Infra, S.A. de C.V.