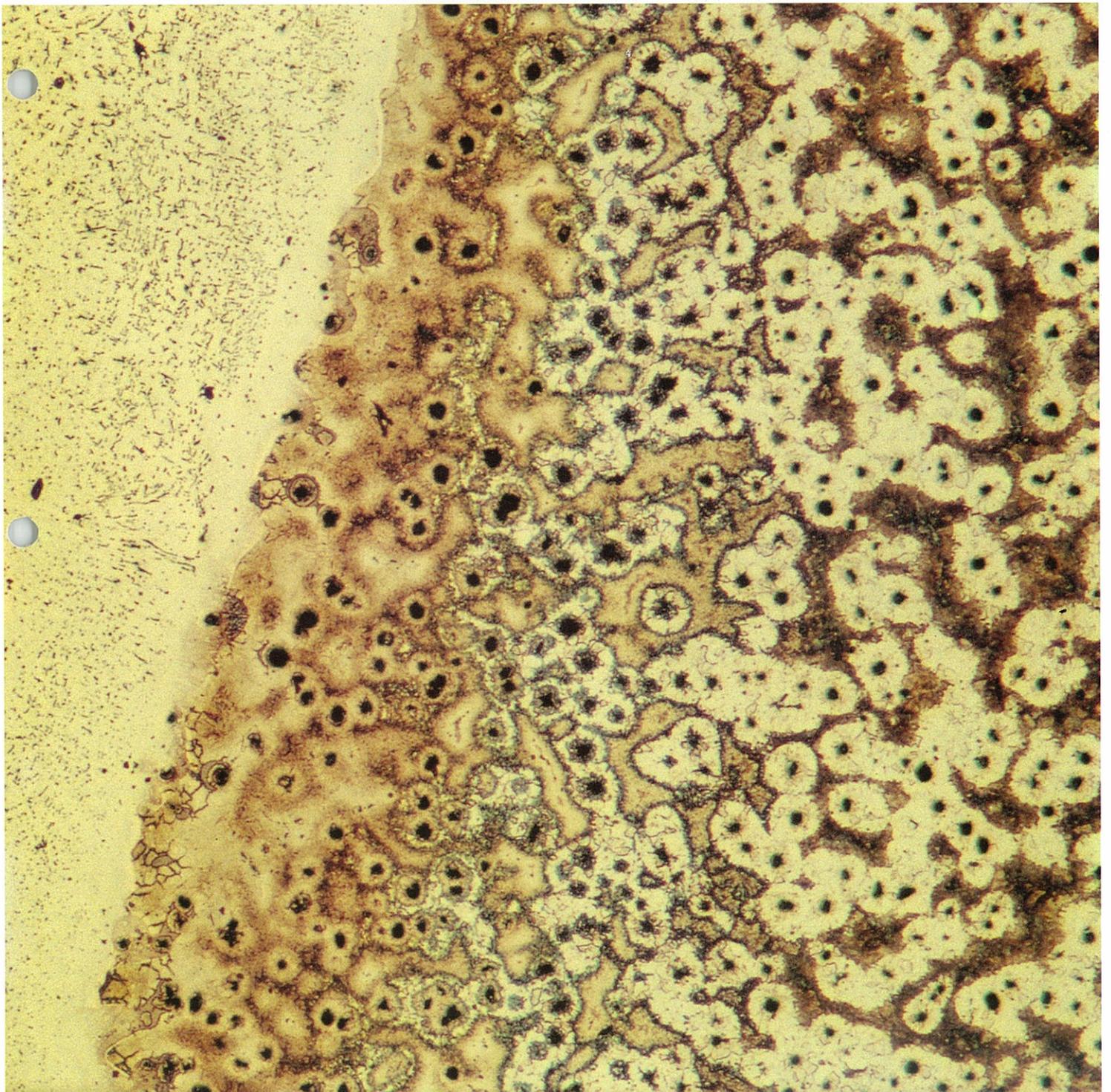


Soldadura de la fundición de hierro



Contenido

1. ¿Qué es la fundición de hierro?

- 1.1. Generalidades
- 1.2. Fundición gris
- 1.3. Fundición blanca
- 1.4. Fundición dúctil
- 1.5. Fundición de grafito compacto
- 1.6. Fundición maleable
- 1.7. Fundiciones aleadas

2. Factores que afectan la soldabilidad

- 2.1. Generalidades
- 2.2. Tensiones debidas al enfriamiento
- 2.3. Forma irregular
- 2.4. ZAT y línea de fusión
- 2.5. Absorción de carbono del metal base
- 2.6. Impregnación de la fundición con aceite

3. Como controlar estos factores

- 3.1. Tensiones debidas al enfriamiento
- 3.2. Forma irregular
- 3.3. ZAT y línea de fusión
- 3.4. Absorción de carbono del metal base
- 3.5. Impregnación de la fundición con aceite

4. Procedimientos de soldadura

- 4.1. Limpieza
- 4.2. Preparación de las juntas
- 4.3. Pre calentamiento
 - 4.3.1. Métodos de pre calentamiento
 - 4.3.2. Niveles de pre calentamiento
- 4.4. Soldadura
 - 4.4.1. Generalidades
 - 4.4.2. Capas de preparación
 - 4.4.3. Soldadura en una sola capa
 - 4.4.4. Soldaduras multicapa
- 4.5. Tratamiento térmico tras la soldadura
- 4.6. Enfriamiento

5. Algunas aplicaciones corrientes

- 5.1. Defectos de fundición
- 5.2. Reparaciones
 - 5.2.1. Generalidades
 - 5.2.2. Grietas (ligeros esfuerzos)
 - 5.2.3. Fracturas (grandes esfuerzos)
 - 5.2.4. Defectos de fundición (faltas de material, rechupes, cavidades)
 - 5.2.5. Fundiciones quemadas
 - 5.2.6. Secciones delgadas

6. Materiales de aportación

- 6.1. Generalidades
- 6.2. Electrodo con base de hierro
- 6.3. Electrodo con base de níquel
- 6.4. Electrodo con base de cobre

1. ¿Qué es la fundición de hierro?

1.1. GENERALIDADES

Mediante la aleación del hierro puro con carbono puede disminuirse la temperatura de fusión desde los 1.534 °C del hierro puro a los 1.147 °C del hierro con 4,3% C. Esta reducción de temperatura se utiliza industrialmente para producir fundición de hierro. Por lo tanto, la fundición de hierro tiene un elevado contenido de carbono (entre el 2 y el 5%), lo que afecta considerablemente a su soldabilidad. Además de esto, el contenido en fósforo y azufre es generalmente mayor que en los aceros ordinarios, lo que afecta aún más a su soldabilidad.

El hierro puro, aleado principalmente con un 2 a 5% de carbono, tiene muy poca ductilidad, baja dureza y baja resistencia, y es por lo general muy quebradizo. Para mejorar estas propiedades (y para conferirle otras propiedades, como resistencia al calor, a la corrosión y al desgaste), las fundiciones de hierro se alean a menudo y/o se tratan térmicamente. La numerosa diversidad de aleaciones así creadas pueden dividirse en los siguientes grupos:

- Fundición gris
- Fundición blanca
- Fundición dúctil
- Fundición con grafito compacto (fundición CG)
- Fundición maleable
- Fundición aleada

1.2. FUNDICION GRIS

La fundición gris es el tipo más corriente de fundición (alrededor del 70% de todas las fundiciones de hierro son fundición gris). La microestructura consiste en láminas de grafito distribuidas en una matriz de ferrita, de perlita o de ambas. El grafito posee una resistencia igual a cero, y por lo tanto las roturas aparecen siempre por esta fase, y puesto que el grafito es de color gris, la superficie de la fractura aparecerá con este color; de ahí su nombre. La fundición gris generalmente tiene hasta un 4,5% C y hasta un 3% Si. Se forma mediante un enfriamiento lento de la colada. Algunos tipos antiguos pueden contener considerables cantidades de azufre y de fósforo, lo cual puede dificultar la soldadura. No obstante esto ocurre raramente en las fundiciones modernas, y casi siempre puede utilizarse la soldadura sin complicaciones.

1.3. Fundición blanca

La fundición blanca se valora por su dureza y resistencia al desgaste, y se utiliza especialmente para esas aplicaciones. Tiene una composición similar a la fundición gris pero con un contenido menor de silicio. Algunas veces se alea también con estabilizadores del carbono como cromo, molibdeno y vanadio. Las microestructuras consisten en carburos distribuidos en una matriz martensítica o perlítica. Los carburos son duros y frágiles y confieren a la superficie de la fractura un aspecto blanquecino. De ahí procede el nombre. Se forma mediante un enfriamiento rápido con «enfriadores». Hay que considerar que no es soldable, aunque se han conseguido soldaduras superficiales con éxito en rodillos de prensa utilizando OK Autrod 12.51. La dureza se obtuvo mediante la absorción por el metal de aportación de acero suave de carbono de la fundición blanca. No obstante, no se recomienda la unión de fundición blanca mediante soldadura.

1.4. FUNDICION DUCTIL

La fundición dúctil tiene una composición similar a la fundición gris, pero generalmente mayor pureza. La adición de pequeñas cantidades de magnesio hace que el gráfico tome forma de pequeñas esferas dispersadas uniformemente a través

de la estructura, en lugar de en láminas como en la fundición gris. Esto, en estado recocido, confiere a la fundición dúctil propiedades mecánicas similares a las del acero suave. Por lo tanto, la soldadura raramente es difícil en estas fundiciones. Sin embargo, el violento calentamiento que tiene lugar en una soldadura, juntamente con la dilución del grafito de la fundición, requiere que se empleen electrodos especiales y una cuidadosa planificación del proceso de soldadura.

1.5. FUNDICION DE GRAFITO COMPACTO (FUNDICION CG)

La fundición de grafito compacto (fundición CG) puede considerarse intermedia entre la fundición dúctil y la fundición gris. Se produce mediante la adición controlada de cantidades de magnesio, titanio y cerio a una fundición de composición similar a la fundición gris. La soldadura debe efectuarse como si se tratase de fundición gris.

1.6. FUNDICION MALEABLE

Las fundiciones maleables se obtienen mediante tratamientos térmicos de las fundiciones blancas para hacerlas más dúctiles que las fundiciones grises. Tienen menor contenido de carbono y silicio que las fundiciones grises, para asegurar la solidificación en fundición blanca. La microestructura consta de agregados un tanto irregulares de nódulos de grafito distribuidos en una matriz de ferrita, perlita o martensita templada. Las propiedades mecánicas son similares a las de la fundición dúctil. La soldadura de la fundición maleable puede producir una fina zona de fundición blanca en la soldadura y en el área de la ZAT (zona afectada por la temperatura) adyacente al metal soldado. Esto no reviste gravedad en la mayoría de las aplicaciones, pero en piezas que se destinan a ser soldadas a menudo da buenos resultados la aplicación de un tratamiento térmico previo de descarburación de la zona a soldar.

1.7. FUNDICIONES ALEADAS

Para mejorar propiedades como la resistencia al calor, a la corrosión y al desgaste, así como para aumentar la resistencia a la tracción, se añaden elementos de aleación. Como ejemplos están el «Ni-resist» (resistente a la corrosión), «nicrosilal» (resistente a elevadas temperaturas) y el «meehanite» (de alta resistencia). Estas fundiciones tienen una soldabilidad similar a la de la fundición dúctil.

Sin embargo, un tipo especial de fundición aleada, «Ni-hard», es muy parecida a la fundición blanca, y por lo tanto debe considerarse no soldable.

2. Factores que afectan a la soldabilidad

2.1. GENERALIDADES

La fundición blanca y los tipos «Ni-hard», debido a su extrema fragilidad, se agrietan generalmente cuando se intenta soldarlas. También se encuentran problemas cuando se sueldan fundiciones maleables de núcleo blanco, debido a las porosidades originadas por el gas retenido en este tipo de fundiciones. Otros tipos de fundiciones de hierro se sueldan con éxito todos los días, siempre que se utilice el procedimiento adecuado. El éxito en la soldadura de la fundición depende principalmente de que pueda reducirse al mínimo la influencia de los siguientes factores:

- Tensiones debidas al enfriamiento
- Forma irregular de la pieza fundida
- Endurecimiento de la zona afectada por la temperatura (ZAT)
- Absorción de carbono del metal base
- Impregnación de la fundición con aceite

2.2. TENSIONES DEBIDAS AL ENFRIAMIENTO

Durante el enfriamiento se contraerá el metal de aportación. Esta contracción es generalmente mayor que la correspondiente a la fundición. Debido a la fragilidad del hierro fundido, si se quiere evitar el agrietamiento, el metal de aportación tendrá que absorber las tensiones de contracción.

2.3. FORMA IRREGULAR

Las fundiciones de hierro se diseñan generalmente de modo que tengan gran rigidez. Rara vez son de sección uniforme, y por lo general tienen forma intrincada, con bruscos cambios de sección. Así, no se acomodarán fácilmente a las contracciones locales, y debido a su baja ductilidad es presumible que se produzcan nuevas fracturas (la fundición de grafito esferoidal, debido a su buena ductilidad, no es tan sensible a este efecto).

2.4. ZAT Y LINEA DE FUSION

La zona de la fundición afectada por la temperatura adyacente a una soldadura se endurecerá durante la ejecución de ésta, debido al elevado contenido de carbono. La dureza de la parte no fundida de la ZAT depende de la velocidad de enfriamiento, y su anchura depende principalmente de la cantidad de calor aplicado.

La porción de la ZAT más próxima a la línea de fusión contendrá materiales parcialmente fundidos. La microestructura de esta zona es muy compleja y consiste en una mezcla de martensita, austenita, carburos primarios y ledeburita, que rodean nódulos o láminas de grafito parcialmente disueltos. Esta porción es la zona más dura de la soldadura.

La extensión y dureza de esta zona depende principalmente de la temperatura máxima alcanzada, la aportación de calor y la velocidad de enfriamiento durante la soldadura. Puesto que la temperatura máxima es sensiblemente constante en la soldadura manual con electrodo de varilla, cualquiera que sea el tipo de electrodo, también en este caso las propiedades dependerán principalmente de la aportación de calor y la velocidad de enfriamiento.

2.5. ABSORCION DE CARBONO DEL METAL BASE

La dilución con el metal base originará la absorción de carbono por el metal soldado. También originará un aumento en el metal soldado del contenido de fósforo y azufre, si estos componentes estaban presentes en el hierro fundido.

2.6. IMPREGNACION DE LA FUNDICION CON ACEITE

El aceite puede absorberse por el grafito y los micro-poros, penetrando por lo tanto muy profundamente en la fundición. Durante la soldadura, este aceite se vaporizará originando porosidades en el metal soldado.

3. Cómo controlar estos factores

3.1. TENSIONES DEBIDAS AL ENFRIAMIENTO

Las tensiones del enfriamiento pueden reducirse mediante:

Utilización de los parámetros de soldadura correctos

Suelde con cordones estrechos de poca longitud y con bajo amperaje, y planifique las secuencias de la soldadura.

Cuanto menor sea el volumen que tenga que enfriarse, menores serán las tensiones debidas al enfriamiento. Por consiguiente, los cordones cortos son preferibles a los cordones largos.

La oscilación lateral de la pinza dará por resultado un cordón ancho, con mayores partes de la soldadura a enfriar, con lo que aumentarán las tensiones de enfriamiento. Por tanto, son preferibles los cordones estrechos.

En soldaduras con varias capas, cada una de ellas calentará las capas anteriores, con lo cual se alivian en parte las tensiones acumuladas durante la soldadura de la capa anterior.

Para reducir aún más la aportación de calor, particularmente si se sueldan secciones de poco espesor, se ha demostrado que es mejor soldar en posición vertical descendente. Esto es posible utilizando el OK Selectrode 92.58.

Utilización de consumibles que producen un metal de aportación dúctil

Los niveles de las tensiones residuales en el metal de aportación están generalmente en la región de su límite elástico. Por consiguiente, para reducir las tensiones residuales o tensiones de enfriamiento deben preferirse metales de aportación con un bajo límite elástico, en vez de los que tengan un elevado límite elástico.

Pre calentamiento

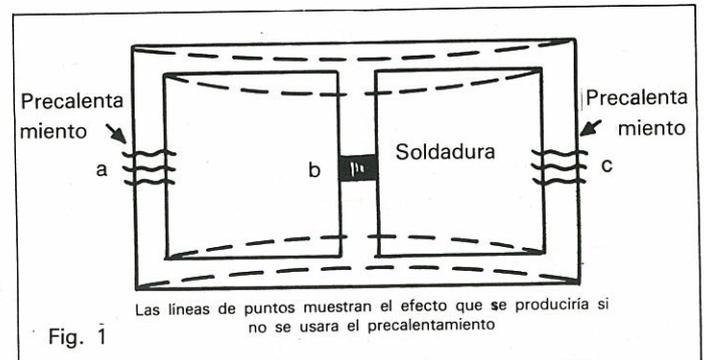
El límite elástico de cualquier material generalmente disminuye al aumentar la temperatura. Por consiguiente, si las tensiones de contracción que se originan en la soldadura pudieran absorberse totalmente en el metal de aportación a una temperatura mayor que la temperatura ambiente, las tensiones residuales serán menores. Por lo tanto, el pre calentamiento puede disminuir la influencia de las tensiones del enfriamiento.

Martilleado

El martilleado introducirá esfuerzos de compresión en el metal soldado, en lugar de los esfuerzos de tracción que se introducen durante la operación de soldadura. Este es el mejor método para evitar agrietamientos en las soldaduras de las fundiciones de hierro.

3.2. FORMA IRREGULAR

Para evitar el agrietamiento en las partes asociadas a una soldadura efectuada en una pieza de fundición debido a los esfuerzos de contracción que se producirán durante el enfriamiento, a menudo es útil dilatar esas partes con objeto de equilibrar esos esfuerzos. Este tipo de pre calentamiento se conoce generalmente como pre calentamiento indirecto. La Fig. 1 muestra la aplicación de este pre calentamiento. Como regla general, cuando se utiliza este proceso es mejor pre calentar una gran zona a una baja temperatura que calentar una zona pequeña a temperatura elevada. No obstante, si se desea obtener una soldadura que luego sea mecanizable, aún será preciso efectuar un elevado pre calentamiento local en la zona de la unión.



Cuando se suelde una fundición de forma intrincada, con bruscos cambios de sección, debe mantenerse el precalentamiento general a una temperatura justamente por debajo del rojo cereza. Cuando esto no es posible, pueden hacerse muchas reparaciones satisfactoriamente con un precalentamiento general sin llegar al rojo, y un precalentamiento local de la junta. Todos los precalentamientos deberán efectuarse muy lentamente para conseguir una distribución uniforme del calor en toda la pieza fundida. El precalentamiento general hasta alcanzar unos 600 °C puede efectuarse en algún horno o estufa improvisada utilizando gas o carbón.

Finalmente, cuanto más intrincada sea la pieza, mayor será la necesidad de conseguir un precalentamiento uniforme.

3.3. ZAT Y LINEA DE FUSION

La dureza de la ZAT puede disminuirse mediante el precalentamiento. No obstante, para alcanzar una reducción sustancial de la dureza sería necesario precalentar la pieza hasta unos 500 °C.

La dureza de la zona parcialmente refundida próxima a la línea de fusión de la soldadura puede disminuirse reduciendo el tiempo en que se encuentra a la temperatura máxima durante la soldadura (es decir, utilizando poca intensidad).

3.4. ABSORCION DE CARBONO DEL METAL BASE

En las soldaduras de la fundición siempre se producirá absorción de carbono del metal base. Hay dos formas principales para reducir al mínimo los efectos que ello origina:

1. Utilización de un alto precalentamiento en combinación con un enfriamiento lento, para evitar los efectos perjudiciales de la absorción de carbono. Esto es fundamental cuando se utilizan materiales de aportación con base férrica.
2. Utilización de materiales de aportación en los que la absorción de carbono no sea perjudicial. Este es, con mucho, el procedimiento más extendido, y los materiales de aportación utilizados son en su mayoría con base de níquel.

3.5. IMPREGNACION DE LA FUNDICION CON ACEITE

Cuando el aceite ha penetrado profundamente en la fundición, es imposible extraerlo mediante ningún producto desengrasante, ya que éste únicamente tiene efectos sobre el aceite superficial.

En su lugar, el aceite ha de quemarse mediante un tratamiento térmico relativamente largo a temperaturas del orden de 500 °C. El tiempo normal de calentamiento puede ser de 4 a 8 horas.

En muchas ocasiones no es posible hacer esto, y en esos casos el descarnado previo con OK Selectrode 21.03 puede proporcionar una solución suficientemente buena. Si aún así persistiese la porosidad, el mejor modo de producir soldaduras sanas es soldar y levantar la soldadura con muela de esmerilar, y volver a soldar hasta que no haya porosidades.

4. Procedimientos de soldadura

4.1. LIMPIEZA

Todas las superficies deberán limpiarse antes de soldarse. La fundición de hierro tiene por sí misma tan poca resistencia, que no hay que debilitar aún más la unión soldada omitiendo una precaución tan importante como la limpieza.

— Aceite, grasa, etc.

Las superficies deben desengrasarse químicamente en su totalidad; de lo contrario, se producirán porosidades.

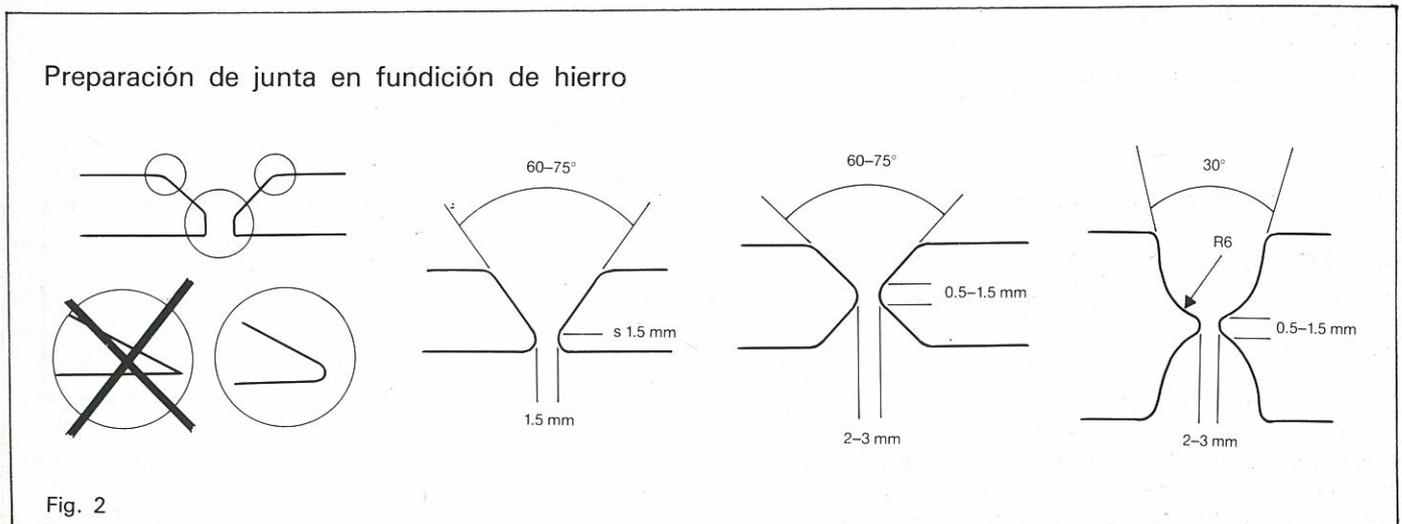
Si la fundición de hierro ha estado en contacto con aceite durante mucho tiempo (por ejemplo, engranajes inmersos en baño de aceite, o cárteres que tenían aceite), el grafito o los microporos pueden haber absorbido aceite. De este modo el aceite puede haber penetrado muy profundamente en la fundición. Para eliminar este aceite, que de lo contrario producirá vapores durante la soldadura, un desengrase químico no es suficiente. En su lugar, la fundición deberá calentarse para quemar el aceite. Esto se efectúa a unos 400-500 °C durante varias horas.

Es obvio que ello no siempre es posible, y en esos casos un descarnado con OK Selectrode 21.03 muy a menudo facilita una solución suficiente en forma de quemado local del aceite. Además, el descarnado proporciona la configuración más adecuada de la unión.

— Suciedad, cascarilla, pintura, etc.

La eliminación de residuos y contaminaciones como las señaladas forma parte de los procedimientos normales de cualquier soldadura. No obstante, los materiales de aportación con base de níquel, que son de utilización normal en las soldaduras de la fundición de hierro, son aún más sensibles a estas contaminaciones que los materiales de aportación de acero suave.

Por lo tanto, asegúrese de efectuar una limpieza concienzuda. Generalmente basta limpiar una zona de 20 mm desde la soldadura.



4.2. PREPARACION DE LAS JUNTAS

- Los ángulos en las uniones deben ser más amplios que para soldar en acero suave, de unos 60 a 75°.
- Todas las aristas vivas deben redondearse para reducir al mínimo las concentraciones de calor.
- Generalmente se prefieren las preparaciones en «U» de las juntas a las preparaciones en «V». Esta es la principal razón por la que el descarnado y acanalado es más beneficioso en comparación con otros métodos de preparar las uniones en la fundición de hierro.
- Las grietas deben abrirse totalmente para permitir un completo acceso. Sin embargo, deben dejarse unos 2 a 3 mm de separación en el lado de la raíz para permitir que las partes ajusten perfectamente. Utilice OK Selectrode 21.03 para la preparación de las juntas en todas las grietas.
- Las cavidades como sopladuras, etc. deberán abrirse y limpiarse totalmente.

4.3. PRECALENTAMIENTO

4.3.1. Métodos de precalentamiento

Aunque puede conseguirse una unión satisfactoria sin precalentamiento, el riesgo de agrietamiento debido a la rigidez o a la falta de ductilidad, especialmente en formas complicadas, se reduce considerablemente mediante el precalentamiento.

Hay tres métodos para aplicar precalentamiento a las fundiciones:

Precalentamiento local, para retrasar la velocidad de enfriamiento de la unión soldada.

Precalentamiento general, para aliviar las tensiones internas que estaban atrapadas y para retrasar la velocidad de enfriamiento de la soldadura. Si se eleva la temperatura por encima de 450 °C se produce una ligera mejora en la ductilidad, que se incrementa al aumentar la temperatura. Esto permite un cierto reajuste de las tensiones y disminuye grandemente las tendencias a la distorsión y el riesgo de agrietamiento en la junta que se va a soldar, además de reducir la dureza del metal depositado y la ZAT.

Precalentamiento indirecto, que es a menudo muy útil, si se emplea con precaución, para dilatar alguna parte de la pieza fundida con objeto de equilibrar las tensiones de contracción causadas por la soldadura.

4.3.2. Niveles de precalentamiento

Todos los niveles de precalentamiento son generalmente beneficiosos. No obstante, puede ser oportuno establecer ciertos «niveles críticos».

Temperatura ambiente

Al asegurarse de que la fundición está por lo menos a temperatura ambiente, se garantizará que en su superficie no se condensará la humedad del aire.

80-100 °C

El precalentamiento alrededor de 80-100 °C asegurará que están secas todas las superficies, y que por lo tanto no habrá aumento del contenido de hidrógeno debido a la humedad del aire.

200-250 °C

El precalentamiento a unos 200-250 °C se utiliza en la fundición dúctil para impedir la formación de martensita en la ZAT. No es necesario precalentar estas fundiciones a mayores temperaturas. Algunas veces puede ser incluso peligroso, ya que el precalentamiento en la región de 300-500 °C puede favorecer la precipitación de la cementita proeutectoide, lo cual reduce considerablemente su ductilidad.

Hasta 500 °C

El precalentamiento indirecto se utiliza en todos los niveles de temperatura hasta los 500 °C. Cuanto más elevados mejor, siempre que tanto el calentamiento como el enfriamiento se realicen lentamente.

500-600 °C

Se utiliza en la fundición gris y en la CG para conseguir el menor endurecimiento posible en la zona ZAT.

4.4. SOLDADURA

4.4.1. Generalidades

Tal como se ha dicho anteriormente, se puede efectuar la soldadura con diferentes niveles de precalentamiento. Como regla general, cuanto más elevado sea el precalentamiento menos rígidos será el procedimiento de soldadura. Para facilitar las recomendaciones, trabajaremos en estos ejemplos con tres niveles diferentes de temperatura:

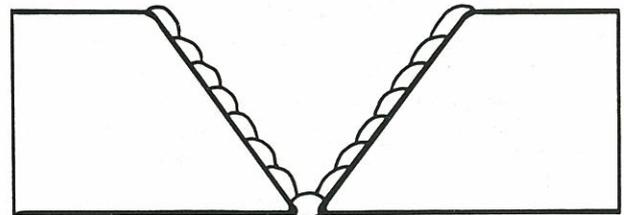
- A temperatura ambiente (soldadura fría)
- A 250 °C (soldadura semicaliente)
- A 500 °C (soldadura caliente)

Además necesitamos distinguir tres tipos distintos de soldadura:

- Soldadura con una capa de preparación
- Soldadura en una sola capa
- Soldadura en varias capas

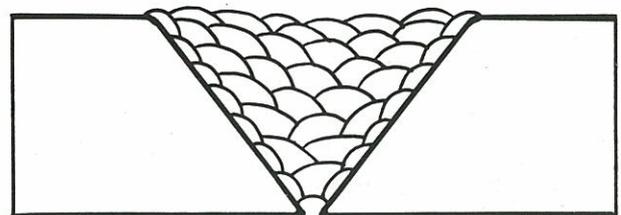
4.4.2. Capas de preparación

En algunas soldaduras, a menudo es beneficioso utilizar la técnica de la capa de preparación. Dicho en pocas palabras, esto significa que una de las caras que van a ser soldadas (o las dos) se recubren con soldadura previamente a la operación de soldadura de la unión. Las razones para utilizar esta técnica pueden ser metalúrgicas o mecánicas. Véase la Fig. 3A.



Capa de preparación

Fig. 3A



Soldadura pasada con capa de preparación

Fig. 3B

Razón metalúrgica

Evitar la formación de fases frágiles en soldadura de metales disimilares.

Razón mecánica

Permitir que las tensiones debidas al enfriamiento afecten más a la dúctil capa de preparación, que a la frágil ZAT del material base (lógicamente, la ZAT del metal base se verá afectada por las tensiones de enfriamiento de cada cordón de soldadura, pero se distribuirán sobre un área mayor, y las fases duras de la ZAT quedarán recocidas).

La técnica de la capa de preparación se emplea principalmente en:

Soldaduras multicapa, para permitir un proceso de soldadura menos rígido en las pasadas de relleno. Esto se debe principalmente a lo siguiente:

- Las tensiones de contracción por el enfriamiento del metal de aportación en las capas posteriores serán absorbidas por la capa de preparación, con lo que disminuirán el nivel de estas tensiones y el riesgo de agrietamiento.
- El calor de los cordones posteriores recocerá la ZAT en la pieza de fundición de hierro y hará disminuir el nivel de tensiones en los cordones depositados previamente.
- No se producirá desde la fundición dilución del carbono debido a la acción aislante de la capa de preparación.

Soldaduras entre hierro fundido y otros metales, como acero o aleaciones de cobre o níquel, para asegurar una buena unión entre estos materiales.

Reconstrucción de grandes defectos superficiales producidos por exceso de mecanizado, fallos en las operaciones de colada o fuerzas mecánicas, etc. Aquí la idea es limitar el defecto empleando cordones de soldadura cortos y estrechos y a continuación granallar o martillar inmediatamente. Entonces puede proseguir el resto de la reconstrucción por soldadura utilizando un procedimiento menos rígido.

Soldaduras realizadas bajo condiciones fuertemente restrictivas, como por ejemplo reparar un defecto de falta de material colocando un trozo de chapa de acero suave.

4.4.3. Soldadura en una sola capa

En las soldaduras a una sola capa todo el metal depositado por la soldadura está en contacto con la fundición de hierro. Además, no se producirá ningún tratamiento término de la ZAT por soldadura de posteriores cordones. Esto exige un procedimiento de soldadura particularmente rígido y/o precalentamiento.

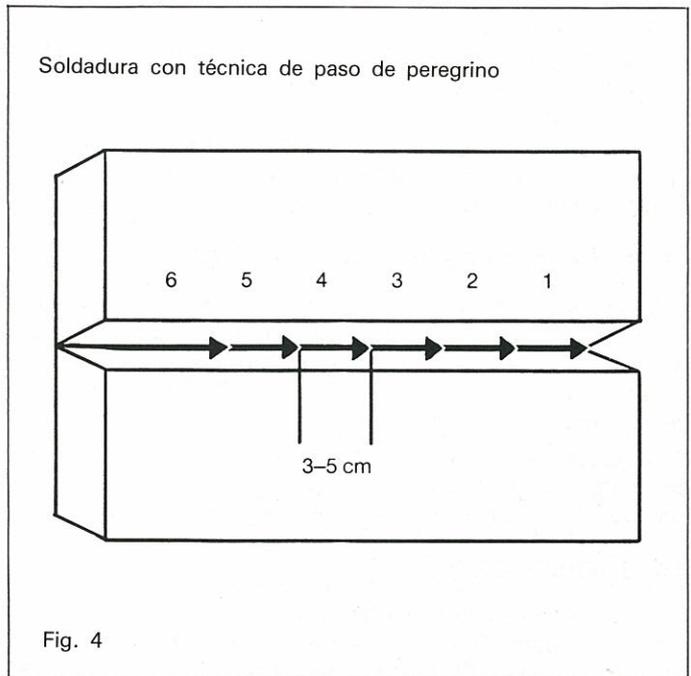
Soldadura fría

La dureza de la ZAT dependerá de la velocidad de enfriamiento. El único modo de disminuir esta velocidad sin efectuar un precalentamiento es aportar una gran cantidad de calor. Esto a su vez implica un mayor baño fundido y, por tanto, mayores tensiones durante el enfriamiento, lo cual es aún más perjudicial que la dureza en la ZAT.

Por lo tanto, ¡no utilice una gran aportación de calor! Por lo contrario, la ZAT deberá ser tan fina como sea posible para limitar el área peligrosa, y deben neutralizarse las tensiones del enfriamiento. Así pues, es extremadamente importante respetar las siguientes recomendaciones:

- Suelde con cordones estrechos y cortos (2 a 3 cm).
- Utilice electrodos de pequeño diámetro y suelde con baja intensidad.
- La soldadura con corriente continua en polaridad negativa dará por resultado una menor dilución del metal base y puede ser beneficiosa, en particular cuando se suelde sobre fundición gris con electrodos de níquel puro.

- Las temperaturas intermedias se mantendrán por debajo de 100 °C.
- Utilice la técnica de soldadura de paso de peregrino mostrada en la Fig. 4.
- Martillee la superficie del cordón con un puntero redondeado justo después de soldar. Cuanto más se permita que se enfríe el metal soldado mayor será el riesgo de agrietamiento, debido a las tensiones de enfriamiento. Por lo tanto, el martilleado debe efectuarse cuando el metal está aún al rojo. Es importante no martillar perpendicularmente al cordón de soldadura, sino más bien desde el final del cordón hacia el punto de comienzo, al objeto de evitar que se produzcan grietas por la misma acción del martilleado.



Soldadura semicaliente

Este nivel de precalentamiento se utiliza fundamentalmente para soldaduras en fundición dúctil, por lo que las recomendaciones que se dan más abajo se hacen para este material. El precalentamiento, como se ha mencionado antes, reducirá la velocidad de enfriamiento y, por consiguiente, la dureza de la ZAT. No obstante, con un nivel de precalentamiento de sólo 250 °C la reducción de la dureza, será marginal, por lo que las recomendaciones que se dan en el punto 3.1. son también válidas aquí, aunque algo menos rígidas.

- La temperatura entre pasadas deberá mantenerse a 250 °C.
- Deben emplearse cordones cortos (máximo 50 mm) estrechos (sin oscilación del electrodo).
- Es preferible la técnica de paso de peregrino que se muestra en la Fig. 4.
- Puede incrementarse la intensidad en relación con la soldadura fría, pero deben seguir empleándose electrodos de pequeño diámetro y moderadas intensidades de soldadura.
- Debe realizarse martilleado (véase la sección 3.1.).
- ¡Un enfriamiento lento es imperativo!

Soldadura caliente

Este nivel de precalentamiento se utiliza sobre todo en fundiciones de pequeño tamaño, debido a la dificultad de calentar piezas grandes. Las mayores ventajas se obtienen con soldadura caliente sobre fundición gris y fundición CG. Sin embargo en fundición dúctil el precalentamiento no debe exceder de 350 °C.

- La soldadura puede realizarse como si se tratase de un acero normal, con la excepción de que debe efectuarse martilleado.
- Debe preferirse la utilización de OK Selectrode 92.58 a la de OK Selectrode 92.18, ya que este precalentamiento a temperatura tan elevada incrementará notablemente la dilución desde el material base, y el electrodo OK 92.58 es el más tolerante a este respecto.
- ¡El enfriamiento lento es imperativo!

4.4.4. Soldaduras multicapa

- Todos los cordones de soldadura que estén en contacto físico con la pieza de fundición deberán efectuarse de acuerdo con el procedimiento señalado para las soldaduras en una sola capa.
- El último cordón no se deposita directamente sobre el hierro fundido, sino encima de algún otro cordón depositado anteriormente.
- Los mejores resultados en las soldaduras multicapa se obtienen siempre utilizando la técnica de la capa de preparación (véase la Fig. 3).

4.5. TRATAMIENTO TERMICO TRAS LA SOLDADURA

El tratamiento térmico más corriente después de la soldadura es el recocido para eliminación de tensiones. Se ha puesto en duda si este tratamiento mejora las propiedades de la soldadura o no, pero su uso está muy extendido y la experiencia general muestra que es bueno.

También puede recurrirse a un tratamiento térmico para reducir la dureza de la soldadura. Esto es particularmente útil cuando se utilizan electrodos con base férrica.

4.6. ENFRIAMIENTO

Debido a la poca dilatación térmica de las fundiciones de hierro, en comparación con la mayoría de los metales de aportación utilizados en la soldadura, así como a las intrincadas formas que tienen a menudo, un enfriamiento lento es esencial para todas las soldaduras en fundiciones de hierro.

El enfriamiento lento puede tener lugar bajo una cubierta de serrín, vermiculita, arena seca caliente, o en la misma estufa utilizada para el precalentamiento.

5. Algunas aplicaciones corrientes

5.1. DEFECTOS DE FUNDICION

Estos defectos son principalmente oquedades y sopladuras:

- Primeramente deberán abrirse y limpiarse de materias extrañas, arena atrapada, etc.
- Utilice OK Selectrode 92.18 ó 92.58 para rellenar los huecos.

5.2. REPARACIONES

5.2.1. Generalidades

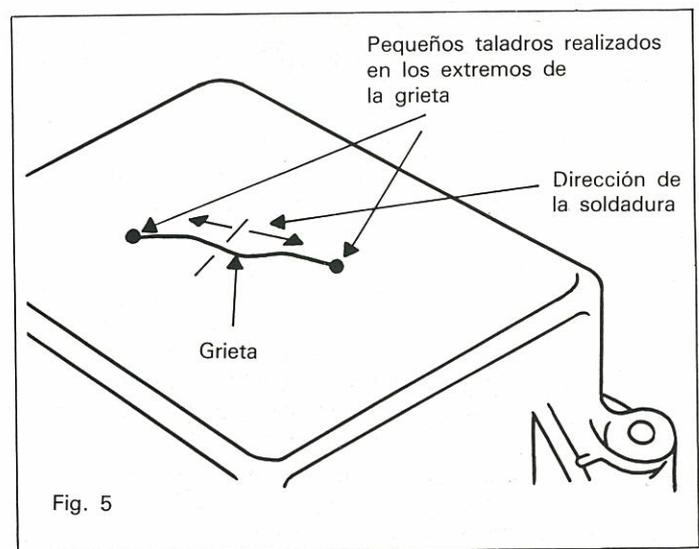
Las reparaciones en hierro fundido pueden clasificarse generalmente en dos grupos: aplicaciones sometidas a ligeros esfuerzos y a elevados esfuerzos.

Cuando la pieza defectuosa está sometida a esfuerzos ligeros, la reparación generalmente consiste en cortar y soldar la parte defectuosa sin añadir ningún material adicional de refuerzo. Cuando la parte defectuosa debe ser capaz de soportar grandes cargas, la reparación a menudo se consigue con la ayuda de otros medios mecánicos, debido a que la resistencia a la tracción de la fundición de hierro suele ser insuficiente.

5.2.2. Grietas (ligeros refuerzos)

Es esencial determinar la longitud exacta de una grieta. Una norma general de seguridad es resanar más material a lo largo de su longitud de lo que es realmente necesario, para tener la seguridad de que se ha eliminado la totalidad de la grieta.

A menudo da buenos resultados la práctica de taladrar un pequeño agujero (de unos 3 mm de diámetro) exactamente en los extremos de la grieta para impedir su propagación durante la reparación. Cuando cortar y soldar no implica mucho trabajo, a veces es aconsejable liberar un extremo de la grieta cortando totalmente hasta el borde de la pieza. Cuando la grieta se ha propagado ya hasta un borde, la soldadura debe partir del extremo fijo de la grieta y seguir hacia fuera hasta el borde. En casos distintos de los comentados, el punto desde el que ha de comenzarse la reparación deberá decidirse según la situación concreta. Un método típico de reparación de una grieta en el centro de una pieza se muestra en la Fig. 5.



Alineación de la pieza

Todas las superficies que tengan que unirse mecánicamente a otras deberán colocarse exactamente en esa posición durante la soldadura, pues de lo contrario cualquier desajuste entre ambas caras dará lugar a una fractura al montar la pieza reparada.

Un ejemplo muy corriente serían las fracturas en los apoyos de una carcasa de motor eléctrico (vea la Fig. 6). La soldadura de éstas sin la sujeción adecuada provoca a menudo que no quede en el mismo plano. Cuando se monte el motor, al apretar los pernos, se producirá una nueva fractura debido a la poca ductilidad del hierro fundido.

5.2.3. Fracturas (grandes esfuerzos)

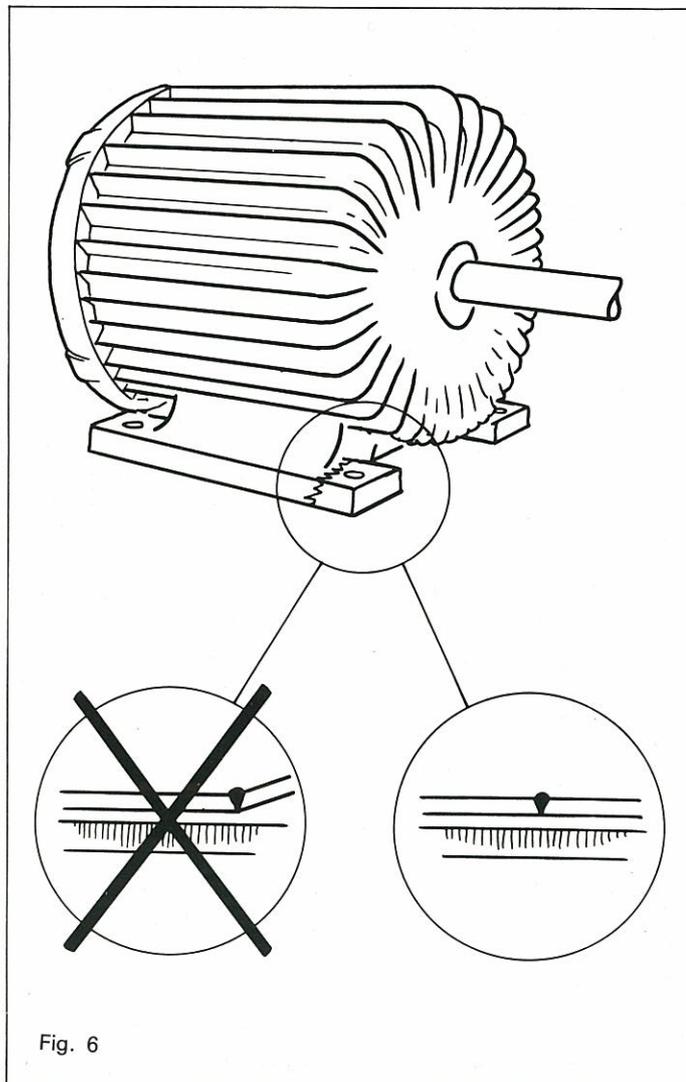
El fallo por fractura se debe generalmente a un aumento súbito de la carga de trabajo, y la reparación debe ser capaz de transmitir la carga soportada por las piezas en cuestión. Esto se logra a menudo por medios mecánicos, que consisten en reforzar la junta con algún tipo de pletinas sujetas por tornillos, o aún mejor encerrándola dentro de algún zuncho o banda que absorba los esfuerzos de tracción. Las fracturas que puedan afectar a áreas en secciones delgadas, tal como encamisados que contienen agua, a menudo se reparan mejor quitando todo el área dañada y soldando en su lugar un parche de chapa de acero suave.

Otra forma de reparación que a veces se utiliza con éxito, pero no siempre es recomendable, consiste en la introducción de espigas. En la fractura se introducen unas espigas de acero suave, que se sueldan a la fundición antes de comenzar el trabajo de unión de las diversas partes. Es esencial que las espigas estén roscadas y fijadas firmemente al metal base. La utilización de espigas en soldaduras a tope es un tanto ineficaz cuando intervienen esfuerzos de tracción, ya que la soldadura a veces tiene el efecto de aflojar las espigas. Sin embargo, para reforzar dientes de engranajes rotos, donde intervienen esfuerzos de cizallado, la utilización de espigas es un sistema de refuerzo muy útil.

5.2.4. Defectos de fundición (faltas de material, rechupes, cavidades)

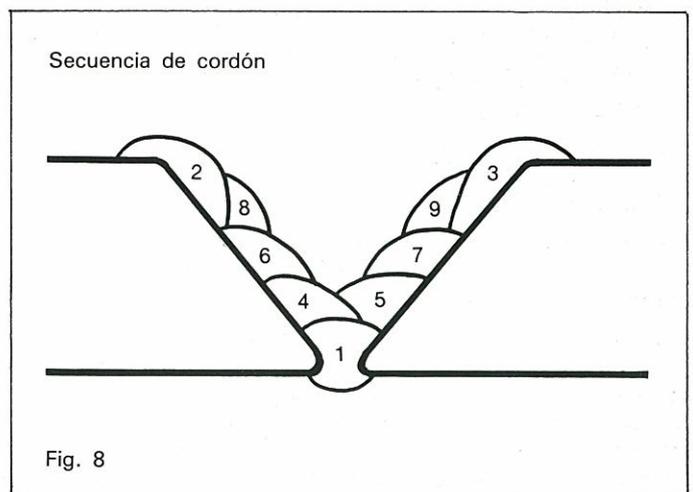
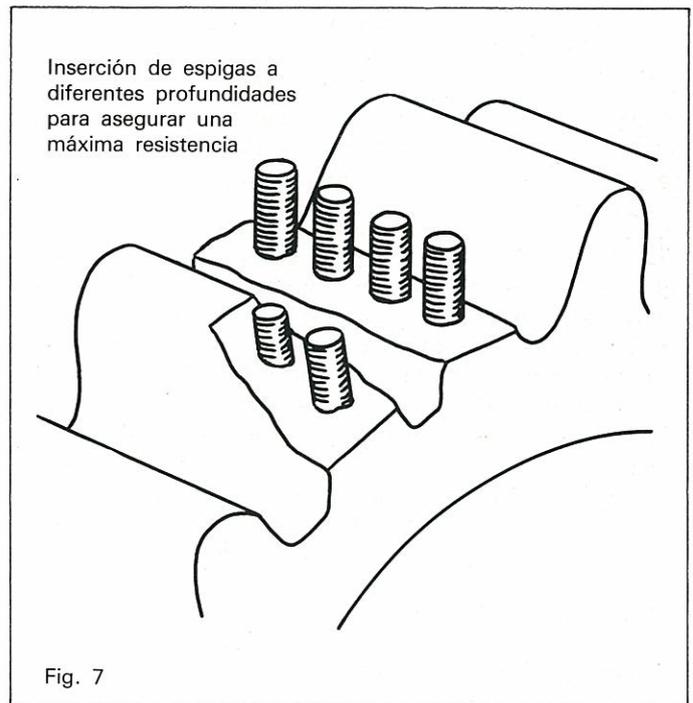
Estos defectos de falta de material pueden repararse del siguiente modo:

- Resane la zona afectada de la pieza fundida (preferiblemente mediante esmerilado).
- Redondee todas las aristas vivas.
- Esmerile los bordes de la pieza de hierro fundido a unos 45 °C.
- Deposite un cordón de preparación en los bordes con OK Selectrode 92.58 ó 92.18.



- Corte un trozo de chapa de acero suave que se ajuste a la sección hueca que ya ha sido preparada con electrodo. Debido a la gran diferencia en la dilatación térmica entre el acero y la fundición, es mejor utilizar una chapa de acero de mitad de espesor que la fundición. Esto reducirá además la cantidad de soldadura necesaria, facilitando la limitación del aporte de calor.
- Redondee los cantos del acero suave a unos 45° (deje unos 2 mm de cara en la raíz para facilitar el acoplamiento de las dos caras).
- Sujete por soldadura la pieza de chapa a la fundición de hierro.
- Suelde con cordones cortos y estrechos, utilizando la técnica de paso de peregrino. Deposite los cordones en el orden que se indica en la Fig. 8.
- Al martillar, golpee siguiendo la dirección del cordón, no perpendicularmente a la superficie de la soldadura, para evitar que se agriete.

Si en la operación de reparación es posible utilizar todas las piezas rotas de hierro fundido, no es necesaria la sustitución por las piezas de acero suave. También será posible entonces prescindir de la capa de preparación, aunque seguirá proporcionando una mejor soldadura.



5.2.5. Fundiciones quemadas

El término «fundición quemada» describe generalmente una fundición de hierro que está oxidada tanto en la superficie como dentro del material. Esta oxidación ocurre cuando la fundición ha estado expuesta a altas temperaturas de trabajo. Dependiendo del contenido de elementos de aleación, la oxidación puede comenzar a partir de los 400 °C.

Una fundición de hierro quemada se caracteriza por:

1. Formación de una película de óxido visible, en la superficie. Este óxido consistente en Fe_2O_3 , Fe_3O_4 y FeO . El Fe_2O_3 es el que tiene más oxígeno, por lo que ocupará la parte más externa de los tres. Como es lógico, en este complejo de óxidos pueden también encontrarse óxidos de los componentes de aleación.
2. Oxidación interna. El oxígeno penetra rápidamente en el material a lo largo de las láminas de grafito. Por razones termodinámicas, el resultado no es únicamente el quemado del grafito produciendo CO y CO_2 , sino también la formación de óxidos de hierro. Este óxido de hierro se formará en una zona alrededor de las lajas de grafito. Si hay exceso de oxígeno y la temperatura es adecuada, se quemará el grafito. El grafito es entonces reemplazado con óxido de hierro, o no se reemplaza en absoluto dejando un espacio vacío dentro de la estructura. Este proceso es continuo y seguirá hasta que se destruya el material. El óxido de hierro es más voluminoso que el hierro, lo que origina el «hinchamiento» de la fundición. La presencia de los óxidos de hierro también hará que aumente la dureza.

Todo esto, junto con la superficie áspera y sucia, hace que una fundición quemada sea muy difícil de soldar, a menos que se eliminen las partes deterioradas de la superficie. Por ello, en estas aplicaciones lo mejor es descarnar con muela esménil antes de soldar hasta llegar a una zona de material sano. No obstante, la práctica ha demostrado que es posible conseguir buenas soldaduras en moldes de lingotes de acero utilizando OK Selectrode 91.00 con intensidades elevadas (380 a 600 A). La razón parece ser que las elevadas intensidades permiten al electrodo profundizar en la fundición, creando así una buena ligazón con el metal sano. Además, muchas de las impurezas tienden a subir a la superficie del baño fundido de soldadura.

Como solución de emergencia en pequeñas piezas de fundición con superficies quemadas o corroídas, el siguiente procedimiento puede ayudar a crear una unión suficientemente buena:

- Limpie la superficie de suciedad y del material suelto deteriorado que tenga adherido. Esto puede hacerse con un cepillo de púas de alambre o una muela esménil.
- Utilice OK Selectrode 91.58 para raspar la superficie repetidas veces, del mismo modo que para encender una cerilla. Esto hará que parte del metal del electrodo se adhiera a la superficie deteriorada, facilitando así una mejor unión cuando se efectúe la soldadura.
- Utilice OK Selectrode 92.58 para la soldadura propiamente dicha.

La experiencia ha demostrado que OK Selectrode 94.25 puede proporcionar buenas soldaduras en casos en que hayan fracasado los electrodos con base de níquel. Así se han soldado con éxito, por ejemplo, colectores de escape en muchas ocasiones.

5.2.6. Secciones delgadas

En muchas fundiciones se encuentran secciones delgadas; por ejemplo, en bloques de cilindros, culatas de cilindros, válvulas, etc. El problema esencial es evitar aplicar demasiada soldadura, con objeto de reducir al mínimo las tensiones por

enfriamiento. Puede haber también dificultades en el martilleado, ya que puede por sí mismo rajarse la soldadura.

El mejor modo de aplicar la cantidad de soldadura necesaria es soldar en posición vertical descendente. Esto es posible utilizando OK Selectrode 92.58, que tiene un recubrimiento especial que permite soldar en esta posición.

Para evitar romper la fundición durante el martilleado, lo mejor es golpear en un ángulo de 45° hacia el cordón de soldadura, en vez de golpear perpendicularmente a la superficie de la soldadura.

6. Materiales de aportación

6.1. GENERALIDADES

Electrodos para soldadura de hierro fundido:

- OK Selectrode 91.00 - Composición de hierro fundido
- OK Selectrode 91.58 - Composición de acero suave
- OK Selectrode 92.18 - Composición de níquel puro
- OK Selectrode 92.58 - Composición de níquel-hierro
- OK Selectrode 94.25 - Composición de cobre-estaño

6.2. ELECTRODOS CON BASE DE HIERRO

El OK Selectrode 91.00 se ha desarrollado para la reparación de grandes piezas de fundición de hierro, como moldes para lingotes de acero, placas de fondo y cazos para la escoria. Deposita un metal de soldadura con una composición de hierro fundido, proporcionando un color similar y resistencia a la oxidación. El metal de soldadura será bastante duro si se sueldan sin precalentamiento.

El OK Selectrode 91.58 se utiliza para rellenar cavidades o defectos superficiales. El metal soldado es duro y quebradizo, por lo que no es recomendable para uniones. El color y las propiedades de resistencia a la oxidación son similares a las del hierro fundido. Se utiliza también para garantizar la unión satisfactoria de hierro fundido quemado, como el de colectores de escape de motores, puertas de los hornos Martín-Siemens hornos de coque, etc.

6.3. ELECTRODOS CON BASE DE NIQUEL

El OK Selectrode 92.18 se utiliza para soldadura de todas las fundiciones de hierro. El metal soldado es dúctil y muy fácilmente mecanizable. Se recomienda para rellenado de cavidades, reparaciones generales y donde se precisen soldaduras mecanizables en hierro fundido con durezas de alrededor de 150 HB. No debe soldarse en más de dos capas, por lo que para soldaduras multicapa hay que utilizar OK Selectrode 92.58 para las pasadas de relleno y OK Selectrode 92.18 para las pasadas encimeras. No es recomendable en hierros con gran contenido de fósforo o azufre.

El OK Selectrode 92.58 se utiliza para las soldaduras frías de todas las fundiciones. Es particularmente útil en la fundición dúctil, debido a su mayor resistencia. Se recomienda cuando se precisan soldaduras mecanizables en fundiciones de hierro con dureza de alrededor de 250 HB. Es más tolerante a la dilución con fósforo y azufre que el OK Selectrode 92.18.

6.4. ELECTRODOS CON BASE DE COBRE

El OK Selectrode 94.25 se utiliza principalmente para la soldadura de aleaciones de cobre. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que pueden conseguirse buenos resultados utilizando este electrodo en fundiciones de hierro con altos contenidos de azufre. En algunas ocasiones también ha sido útil en fundiciones quemadas de hierro en las que han fracasado los electrodos con base de níquel. Las posibilidades de mecanización no son tan buenas como con el OK Selectrode 92.18.